

## MAPEANDO LA DIVERSIDAD DE LAS AVES DE MÉXICO

Adolfo G. Navarro-Sigüenza<sup>a</sup>, Alejandro Gordillo-Martínez<sup>a</sup>  
y A. Townsend Peterson<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera”, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. <sup>b</sup>Museum of Natural History and Biodiversity Research Center, University of Kansas. E-mail: fcvg01@servidor.unam.mx

### RESUMEN

La presente contribución representa un estudio de caso en el cual se utilizó información obtenida de colecciones ornitológicas de todo el mundo, para realizar una serie de análisis sobre la distribución, sistemática y conservación de las aves de México. Se recopiló información sobre ejemplares mexicanos alojados en diversas colecciones científicas en México, Estados Unidos, Canadá y Europa. Esta información se conjuntó en una base de datos centralizada, la cual fue georreferida y a partir de la cual se realizaron diversos análisis para visualizar los patrones geográficos, incluyendo la aplicación del algoritmo GARP que basado en los puntos de ocurrencia, permite realizar modelos predictivos de la distribución de las especies. Estos modelos involucran la construcción y descripción de las áreas de distribución potenciales de las especies, así como el estudio de los patrones de riqueza de especies, endemismo y aplicaciones en conservación. El inventario de la avifauna mexicana está completo, pero muchas zonas están poco representadas en las colecciones. Estos resultados sugieren la posibilidad de desarrollar nuevas investigaciones basadas en los datos de puntos de ocurrencias alojados en ejemplares de las colecciones.

**Palabras Clave:** Aves, biodiversidad, biogeografía, México, modelado ecológico.

### ABSTRACT

The present contribution is a case study of the possibilities of using data from world scientific collections to understand the distribution, systematics, and conservation of Mexican birds. Information was gathered on specimens from Mexico housed in scientific collections in Mexico, the United States, Canada, and Europe. This information was compiled in a centralized data base; ArcView was used to visualize general geographic patterns, and predictive distributional models were generated using the GARP algorithm to address potential distributional areas of the species, patterns of species richness, endemism, and conservation applications. The avifaunal inventory of Mexico is complete, but many areas are still poorly represented in collections. These results suggest the possibility to do new research based on point occurrence data held in the specimens of the collections.

**Key words:** Birds, biodiversity, biogeography, Mexico, ecological modeling.

### INTRODUCCIÓN

La exploración de la diversidad biológica del mundo ha sido un proceso largo y muy desbalanceado. Por un lado, el gran almacén de la biodiversidad (la mayor riqueza de especies y presencia de taxones endémicos) está en los trópicos, mientras que los grandes almacenes de la información sobre biodiversidad, se encuentran principalmente

en los Estados Unidos y Europa<sup>1</sup>. Por otro lado, cada vez hay más estudios que tienen que ver con la diversidad y conservación de los recursos biológicos en los países que albergan la mayor riqueza biológica. Esa actividad ha contado con el apoyo de diversos gobiernos e instituciones y ya se cuenta con importantes sistemas de información sobre diversidad biológica generados y basados en los países megadiversos como México (CONABIO; <http://www.conabio.gob.mx>) y Costa Rica (InBio; <http://www.inbio.ac.cr>).

Nota: Artículo recibido el 02 de octubre de 2009 y aceptado el 04 de noviembre de 2009.

Estos esfuerzos han rendido frutos muy importantes tanto desde el punto de vista científico, como para la conservación. Sin embargo, esto ha implicado grandes costos tanto para lograr recopilar información de diversas fuentes como para ponerlas en formatos electrónicos y a disposición de una variedad de usuarios.

La mayoría de la información sobre biodiversidad está alojada en la forma de colecciones científicas (acervos de ejemplares preservados) en museos y universidades a través del mundo. Dado que los datos de cualquier región se encuentran dispersos entre 10 a 20 países, la comunicación y/o los viajes para consultarlos se vuelven difíciles para los usuarios

<sup>3</sup> importancia de contar con la información completa sobre la biodiversidad, se ilustrará con los datos que se ha acumulado para el *Atlas de las Aves de México*<sup>1,2</sup>.

## EL ATLAS, UN PROYECTO

La primera etapa para la elaboración del *Atlas* consistió en recopilar el contenido de aproximadamente 80 colecciones científicas y otras fuentes de datos de aves (ver Peterson *et al.*<sup>2</sup> y Navarro *et al.*<sup>1</sup>) en una base de datos centralizada. Esta base al final sumó cerca de 500 mil registros de especímenes mexicanos. Los datos de ejemplares de aves mexicanas fueron obtenidos de colecciones científicas en México, Estados Unidos, Canadá y varios países de Europa (Figura 1). El objetivo principal fue el de capturar los datos básicos de las etiquetas que incluyen la procedencia geográfica, fecha de obtención del ejemplar, colector y otros datos de campo, además de la identificación taxonómica correcta.

Los datos fueron obtenidos en diversos formatos dependiendo del estado en que estaba la información original en la colección (e. g., copias electrónicas en DBase, Excel, Access o ASCII). En colecciones no informatizadas, se consultaron los catálogos originales de la colección, y se comprobó la veracidad de los datos con especímenes reales. Algunas colecciones fueron examinadas a través de sus catálogos publicados en la literatura científica, especialmente aquéllos de especies extintas o ejemplares tipo. Lo más común, sin embargo, fue capturar información directamente de los especímenes, permitiendo la revisión detallada de la identificación, lugar, sexo y edad de los especímenes. Los datos de la literatura científica fueron obtenidos del examen de referencias sobre aves mexicanas producidos entre 1825 y 2005<sup>4</sup> (Navarro *et al.* in prep.). Una vez capturados los registros, se realizó un extracto de localidades únicas para obtener un diccionario geográfico o un archivo de autoridad geográfico que incluyó todas las combinaciones únicas de

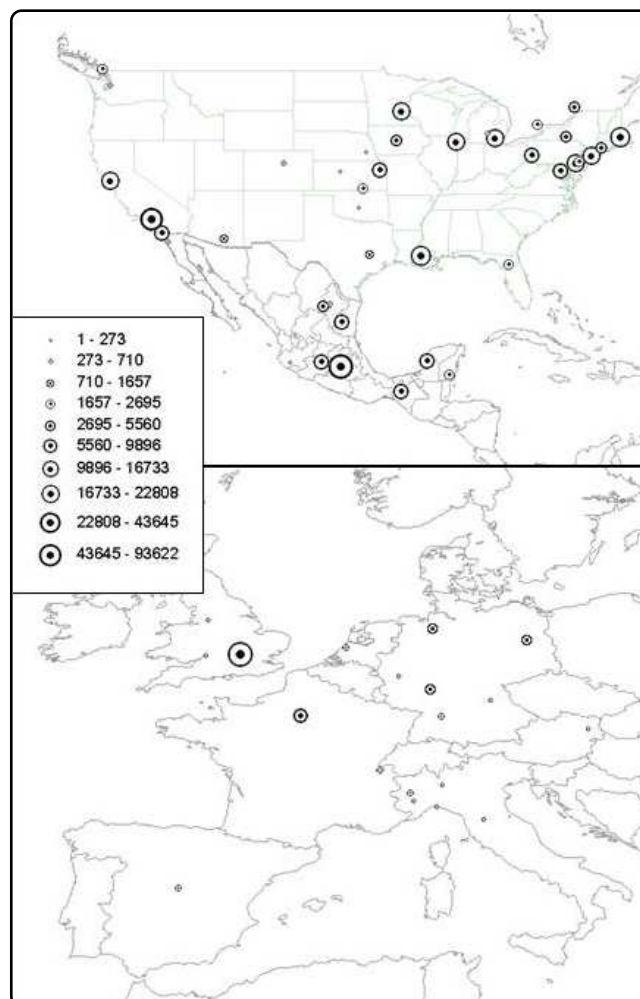


Figura 1. Localización geográfica y número de datos de las fuentes de información (museos) contenidos en el *Atlas de las Aves de México*<sup>1</sup>.

estado, lugar y elevación. Los datos de la latitud y longitud (grados, minutos y segundos) para cada lugar único fueron calculados usando los mapas de México escala 1:250,000<sup>5</sup> y con ayuda de gaceteros en línea. Una vez que la base de datos fue depurada taxonómica y geográficamente, se realizó una selección de los registros para los cuales la identificación y la localidad no eran dudosas. Esta selección ha sido utilizada para desarrollar varios análisis posteriores (Figura 2). Para visualizar patrones geográficos generales se utilizó ArcView<sup>6</sup> y la cartografía digital disponible a través del portal de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, <http://www.conabio.gob.mx>).

## DATOS DE EJEMPLARES Y ANÁLISIS DE DISTRIBUCIONES GEOGRÁFICAS

Las grandes bases de datos conformadas por ejemplares de diversas fuentes proveen un panorama más completo de las localidades puntuales de presencia de un taxón en un lugar y

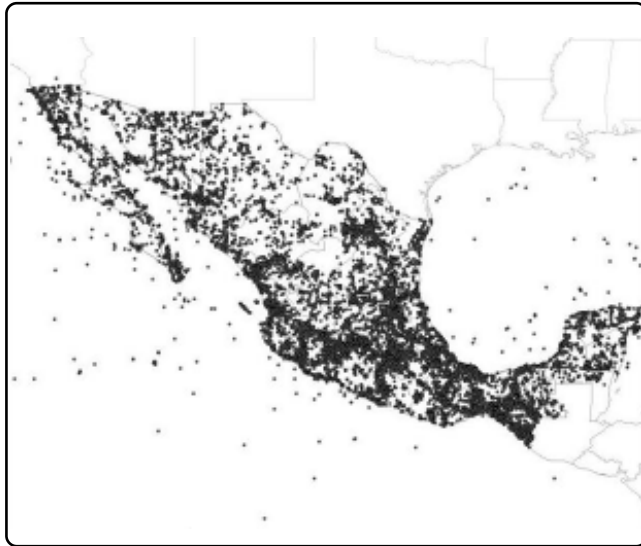


Figura 2. Distribución geográfica de las localidades de colecta de los registros de aves contenidos en el Atlas de las Aves de México<sup>1</sup>.

tiempo dado. A su vez, el conjunto de las localidades dan una idea aproximada de la distribución geográfica del taxón. Por ello, tradicionalmente, los análisis de distribuciones geográficas se basan en localidades individuales y registros puntuales de las especies. Sin embargo, esto en cierto modo limita el conocimiento adecuado de la distribución de los taxones, ya que para la mayoría de las especies se carece de un número adecuado de especímenes colectados o de observaciones fidedignas. Como resultado, nuestro conocimiento biogeográfico es a menudo fragmentario<sup>7</sup> y se requiere de una variedad de métodos disponibles para delinear con más certeza la distribución de un taxón.

Una alternativa para este problema, discutida recientemente por varios autores, es la posibilidad de construir mapas precisos de la distribución de las especies utilizando modelos del nicho ecológico fundamental con base en puntos de ocurrencia y elementos del paisaje. Uno de ellos funciona a través de un algoritmo genético conocido como Algoritmo Genético para Producción de Conjuntos de Reglas (GARP, por las siglas en

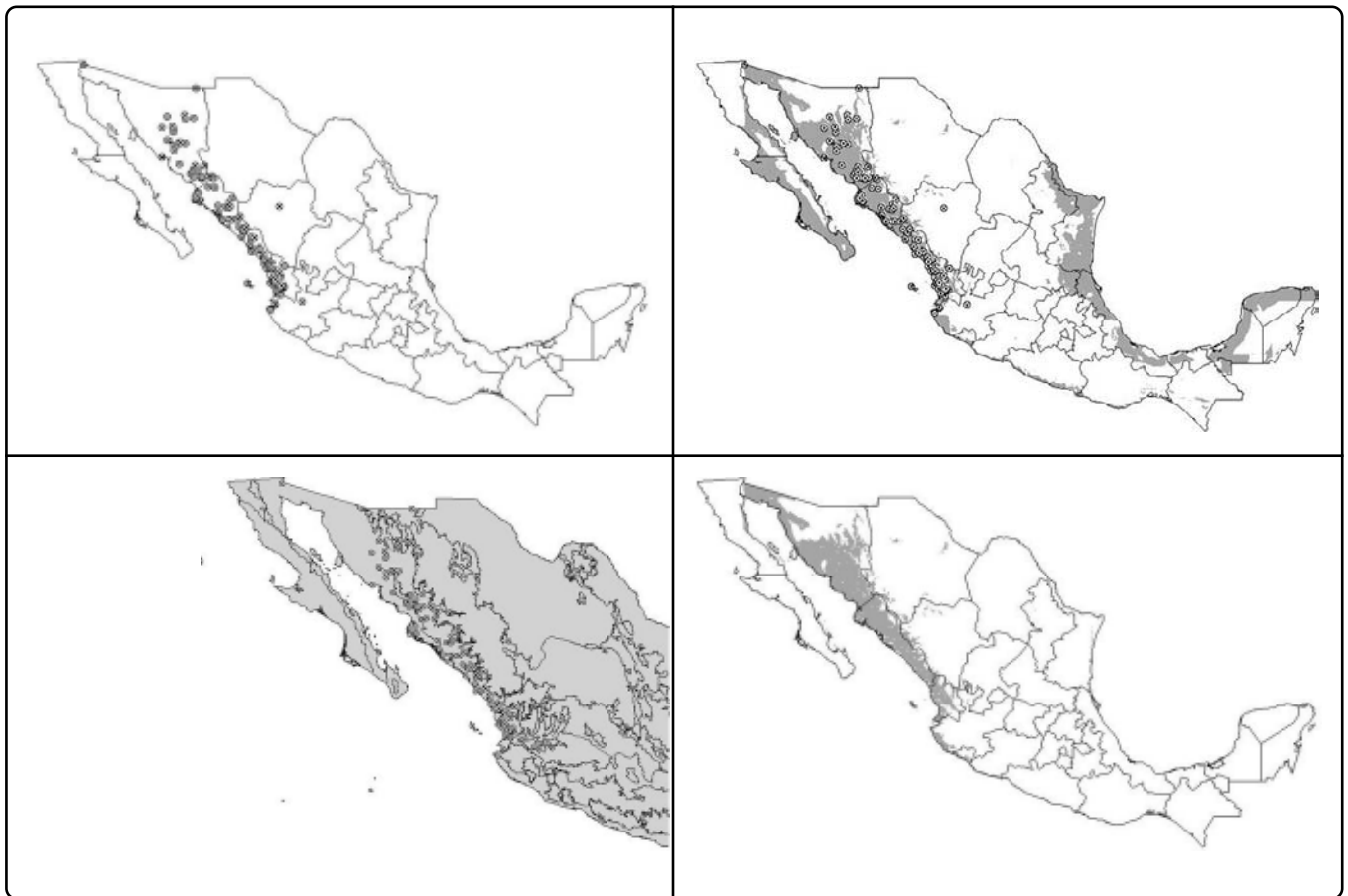


Figura 3. Pasos seguidos para la obtención de la predicción de la distribución de la codorniz elegante (*Callipepla douglesi*), especie endémica del noroeste de México. (a) Representación de la ocurrencia primaria (especímenes) utilizando las bases de datos de las colecciones científicas; (b) modelado de la distribución de hábitat óptimo de la especie generado por el GARP; (c) sobreposición de las localidades puntuales de los especímenes de las colecciones sobre la cobertura de las ecoregiones<sup>8</sup>, para corregir la predicción; (d) área de distribución corregida.

inglés)<sup>8</sup>. Este programa relaciona las características ecológicas de los puntos de ocurrencia para producir una lista de reglas condicionales que predicen la presencia o ausencia de la especie a través de todo el paisaje, y se puede extrapolar a una distribución geográfica potencial del taxón. La veracidad de los resultados radica en la interacción de la información procedente de diversas fuentes (colecciones, bases de datos observacionales, mapas digitales), con el conocimiento de atributos biológicos de las especies. En los ejemplos presentados a continuación, el conocimiento preciso de la distribución geográfica es crítico para el entendimiento del proceso biológico analizado.

La aplicación más evidente del modelaje con GARP es la de producir distribuciones geográficas potenciales con base en puntos conocidos de presencia<sup>3</sup>. La Figura 3 muestra los pasos seguidos para elaborar un mapa con la distribución potencial de la codorniz elegante (*Callipepla douglasii*)<sup>10</sup>, modelando su nicho ecológico fundamental y partiendo desde los datos puntuales de ocurrencia (Figura 3a), el modelado ecológico y su edición (Figuras 3b y 3c), hasta su expresión en un mapa final proyectado sobre la geografía actual de México (Figura 3d). Con la aplicación de modelos predictivos de distribución de especies a la conservación, se reduce el margen de error ocasionado por la escasez de las colectas, además de poder elaborar estrategias para la ubicación de taxones raros o difíciles de localizar<sup>11</sup>. Por otro lado, es posible manejar la información de los mapas individuales de las especies para generar sumatorias que muestren los patrones geográficos de los conjuntos de especies en superficies de riqueza como se verá en la siguiente sección.

## LOS PATRONES DE RIQUEZA DE ESPECIES Y ENDEMISMO

La avifauna de México se compone por alrededor de 1060 especies registradas en el país, que representan aproximadamente el 10% de las especies de aves del mundo<sup>12</sup>. El número de especies de aves en México tiene algunos componentes fundamentales: las residentes permanentes, que son las que se encuentran durante todo el año dentro de las fronteras nacionales y conforman aproximadamente el 70% de la avifauna mexicana, y las residentes temporales que se encuentran en México sólo durante alguna época del año<sup>13</sup>.

El ejemplo de la Figura 4, se generó a través de una sumatoria de los mapas predictivos de cerca de 1000 especies de aves de México para las que se tenían datos puntuales suficientes para realizar el modelaje y generar mapas predictivos<sup>14</sup>. En el mapa de las regiones con mayor riqueza de aves en México (Figura 4) se muestra que estas regiones se encuentran en las tierras bajas de la planicie costera del Golfo, en la Península de Yucatán y en una pequeña área de la costa del Pacífico de Oaxaca.

Un componente importante son las especies endémicas, pues México ha sido un importante centro de diversificación y evolución de muchas aves. Los patrones de riqueza de especies y endemismo en México muestran diferencias asombrosas.

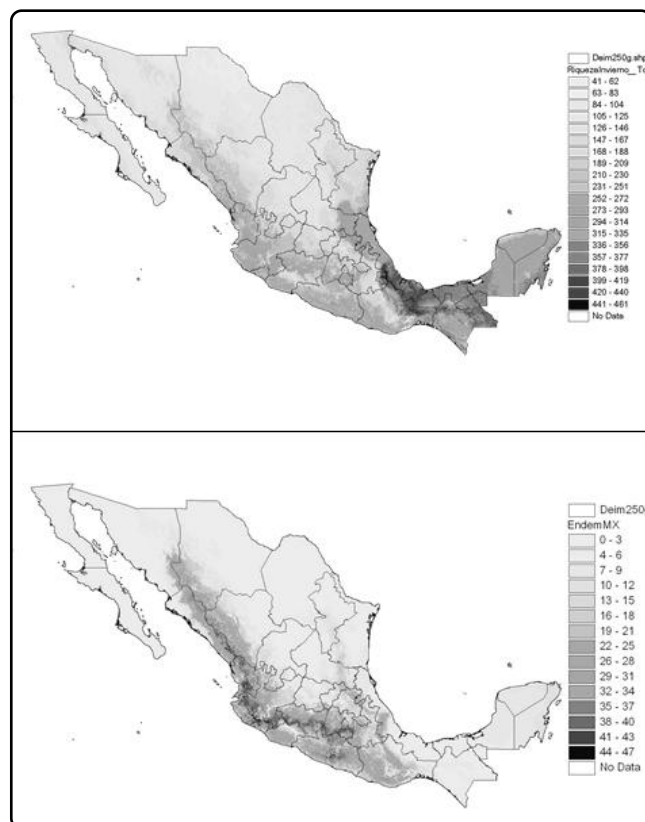


Figura 4. Patrones de distribución de la riqueza de especies de aves de México con base en los mapas predictivos generados en GARP<sup>14</sup>. En el mapa de la parte superior se muestra la riqueza total y en la parte inferior la riqueza de especies endémicas de México.

Mientras que el mayor número de especies de aves se encuentra en el sur y sureste del país, las regiones con mayor número de especies endémicas se encuentran en la costa del Pacífico, en la Sierra Madre Oriental, la Sierra Madre Occidental, el Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur<sup>15</sup> (Fig. 4).

## CONCLUSIONES

Lo presentado en este escrito muestra muy brevemente los avances en un campo emergente de las ciencias biológicas que puede llamarse Informática de la Biodiversidad<sup>16</sup>. Este campo innovador reúne a la informática, la cual ha ayudado a promover el acceso eficiente a la información de la biodiversidad, y a la biología, la cual genera ideas y nuevos enfoques de análisis y entendimiento de los patrones y procesos que generan y mantienen la diversidad biológica, y que necesita de herramientas para los análisis de diferentes conjuntos de datos. Este enfoque permite avances en una variedad de campos que requieren del manejo preciso de áreas de distribución. Por ejemplo, la biogeografía<sup>17</sup> y la conservación<sup>18</sup>.

## AGRADECIMIENTOS

Principalmente agradecemos a los responsables de las colecciones y bases de datos por su invaluable ayuda al permitir

nuestro acceso a la información. A CONABIO, CONACyT, DGAPA-UNAM, British Council México, Fondo Sectorial SEMARNAT-CONACyT y National Science Foundation, que han asignado recursos financieros para la realización de este proyecto en diversas etapas. A Claudia Abad, Elsa Figueroa, Blanca Hernández, Hesiquio Benítez, Jorge Soberón y multitud de colegas y estudiantes en la Facultad de Ciencias de la UNAM, que nos han apoyado en este esfuerzo.

## REFERENCIAS

1. Navarro-Sigüenza, A.G., Peterson, A.T. & Gordillo-Martínez, A. Museums working together: The atlas of the birds of Mexico. *Bulletin of the British Ornithologists' Club* **123A**: 207-225 (2003).
2. Peterson, A.T., Navarro, A.G. & Benítez, H. The need for continued scientific collections: A geographic analysis of Mexican bird specimens. *Ibis* **140**: 288-294 (1998).
3. Navarro-Sigüenza, A.G., Peterson, A.T., Nakazawa, Y. & Liebig-Fossas, I. Colecciones biológicas, modelaje de nichos ecológicos y los estudios de la biodiversidad. In Una perspectiva Latinoamericana de la Biogeografía (eds. Morrone, J.J. & Llorente, J.) 115-122 (Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F., 2003).
4. Rodríguez-Yáñez, C., Villalón C., R. & Navarro S., A.G. Bibliografía de las aves de México (1825-1992). *Publ. Esp. Mus. Zool. Fac. Cienc. UNAM*. **8**: 1-153 (1994).
5. INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). Carta de México Topográfica 1:250,000. INEGI, México (1988).
6. ESRI. Arc View GIS Ver. 3.2. Environmental Systems Research Inc., USA (1999).
7. Peterson, A.T., Ball, L.G. & Cohoon, L.G. Predicting distributions of Mexican birds using ecological niche modelling methods. *Ibis* **144**: e27-e32 (2002).
8. Stockwell, D.R.B. & Peters, D.P. The GARP modelling system: Problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographic Information Systems* **13**:143-158 (1999).
9. CONABIO. Ecorregiones de México. Escala 1:1,000,000. México (1999).
10. Gordillo-Martínez, A. Modelling distributions of Mexican Odontophoridae: implications in conservation. In Proceedings of the 2nd International Galliformes Symposium. Kathmandu, Nepal, 2000. Págs. 79-85.
11. Peterson, A.T., Egbert, S.L., Sánchez-Cordero, V. & Price, K.P. Geographic analysis of conservation priorities using distributional modelling and complementarity: Endemic birds and mammals in Veracruz, Mexico. *Biological Conservation* **93**: 85-94 (2000).
12. Howell, S.N.G. & Webb, S. A guide to the birds of Mexico and Northern Central America (Oxford University Press, 1995).
13. Navarro, A.G. & Benítez, H. Riqueza y endemismo de las aves de México. *Ciencias No. Esp.* **7**: 45-54 (1993).
14. Navarro-Sigüenza, A.G. & Peterson, A.T. Mapas de las aves de México basados en WWW. Informe final SNIB-CONABIO. Proyecto No. CE015. México D.F. (2007).
15. Escalante, P., Navarro, A.G. & Peterson, A.T. 1993. A geographic, historical and ecological analysis of land bird diversity in Mexico. In Biological diversity in Mexico. Origins and distributions (eds. Ramamoorthy, T.P., Bye, R., Fa, J. & Lot, A.) 281-307 (Oxford University Press, New York, 1993).
16. Soberón, J. & Peterson, A.T. Biodiversity informatics: Managing and applying primary biodiversity data. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* **359**: 689-698 (2004).
17. Rojas-Soto, O., Alcántara, O. & Navarro, A.G. Regionalization of the avifauna of the Baja California peninsula, Mexico: a parsimony analysis of endemism and distributional modeling approach. *Journal of Biogeography* **30**: 449-461 (2003).
18. Ramírez-Bastida, P., Navarro-Sigüenza, A.G. & Peterson, A.T. Aquatic bird distributions in Mexico: Designing conservation approaches quantitatively. *Biodiversity and Conservation* **17**: 2525-2558 (2008).