

# Efecto del Cambio Climático y el Deterioro del Hábitat en la Distribución del Corcovado Frenticolorado: Implicaciones para su Conservación

---

Elisa BONACCORSO

---

---

Pablo A. MENÉNDEZ GUERRERO

---

Centro de Investigación de la Biodiversidad  
y Cambio Climático  
Universidad Tecnológica Indoamérica  
Av. Machala y Sabanilla;  
Quito, Ecuador  
elisabonaccorso@gmail.com

Museo de Zoología QCAZ  
Escuela de Ciencias Biológicas  
Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
Av. 12 de Octubre 1076 y Roca;  
Quito, Ecuador  
pablo\_menendez@hotmail.com

## RESUMEN

*Estudiamos el efecto de la pérdida de hábitat y el cambio climático global en la distribución potencial del Corcovado Frenticolorado. Este corcovado es una especie de ave tímida y poco conocida que se distribuye en las tierras bajas del pacífico Ecuatoriano, el Chocó y el pie de monte andino desde el sur de Ecuador hasta Colombia. Los análisis se basaron en un mapa de distribución potencial, generado a través de un modelo de nicho ecológico. Para el análisis de pérdida de hábitat, se interceptó el mapa de distribución potencial con un mapa de cobertura y uso de suelo que resumía los tipos de hábitat en el rango de distribución de la especie. Para el análisis del efecto del cambio climático, se proyectó el modelo de nicho ecológico a un escenario de cambio climático para el año 2050. Los análisis revelaron que las amenazas potenciales para la conservación de la especie no tienen las mismas magnitudes a lo largo de su rango de distribución. Mientras que la pérdida de hábitat parece la amenaza más grave para las poblaciones que habitan en Ecuador, la pérdida de distribución potencial por efecto del cambio climático sería más dramática en Colombia. La situación podría ser similar para especies que tienen distribuciones geográficas parecidas y tienen los mismos requerimientos ecológicos que el Corcovado Frenticolorado.*

## PALABRAS CLAVE

*Odontophorus erythrops*, calentamiento global, Chocó, Odontophoridae, Ecuador, Colombia.



## ABSTRACT

*We studied the effect of habitat loss and global climate change on the potential distribution of the Rufous-fronted Woodquail, a shy and poorly known bird distributed in the lowlands of the Ecuadorian Pacific, the Chocó, and the foothills of the Andes in from southern Ecuador to Colombia. All analyses were based on a map of the potential distribution of the species, obtained via ecological niche modeling. To study the effect of habitat loss, we overlapped the map of potential distribution with a land-use land-cover map that summarizes the types of habitat along the geographic distribution of the species. To understand the effect of global climate change, we projected the ecological niche model into a scenario of climate change for year 2050. Our results reveal that potential conservation threats do not have the same magnitude along the species range. Whereas habitat loss is a major concern in the Ecuadorian portion of the range, loss of potential distribution in the future may be the most important threat for populations along the Colombian portion of the range. The situation is probably the same for other species that have similar distributions and live under similar ecological conditions as this woodquail.*

## KEYWORDS

*Odontophorus erythrops*, global warming, Choco, Odontophoridae, Ecuador, Colombia.

## 1. Introducción

La destrucción del hábitat es una de las causas más importantes en la declinación de las especies [1], particularmente aquellas que habitan los bosques tropicales y los “puntos calientes” (*hotspots*) de biodiversidad [2]. Se espera que el cambio climático tenga impactos negativos adicionales, exponiéndolas a un riesgo de extinción aún mayor [3]. A medida que las temperaturas se elevan, las especies deben desplazarse hacia las zonas donde puedan encontrar las condiciones ambientales adecuadas, o deben adaptarse a los nuevos ambientes; estas son las únicas dos alternativas a la extinción [4].

El Corcovado Frenticolorado, *Odontophorus erythrops*, podría ser una de las especies susceptibles a la acción sinérgica de la pérdida de hábitat y los efectos del cambio climático, debido a su poca capacidad de dispersión y su preferencia por sotobosques poco disturbados. Cuatro especies del género de *Odontophorus* han sido categorizadas como En Peligro, con base en sus pequeños rangos de distribución y el efecto de la pérdida de hábitat [5]. Sin embargo, las especies de *Odontophorus* que tienen rangos de distribución más amplios, han recibido menos atención (pero ver [6]). El Corcovado Frenticolorado es una de estas especies con amplia distribución que no está considerada como amenazada a nivel global, pero sí a nivel de Ecuador [6].

El Corcovado Frenticolorado habita los bosques húmedos tropicales y subtropicales a lo largo del piedemonte andino de Colombia y el occidente de Ecuador, así como las tierras bajas de la región del Chocó [7, 8], una de las áreas con la mayor tasa de deforestación en el continente americano [9]. Prácticamente no existe información sobre su ecología y comportamiento, a pesar de ser una especie ampliamente distribuida y aparentemente abundante [7]. Debido a su similitud con otras especies de *Odontophorus*, se asume que sus rasgos de historia natural deberían ser similares a los de las de otras especies en el género [10].

En este trabajo estimamos la distribución potencial del Corcovado Frenticolorado en base a modelos de nicho ecológico, exploramos las posibles reducciones en la distribución potencial de la especie debido a pérdida de hábitat, y tratamos de predecir su desplazamiento en respuesta al efecto del cambio climático global. Los resultados de este análisis permitirán conocer cómo estas amenazas podrían afectar el estatus de conservación de la especie.

## 2. Métodos

### 2.1. Datos de presencia y variables ambientales

Basándonos en revisiones de museos y literatura especializada, obtuvimos 41 datos de presencia de la especie. Para desarrollar el modelo de nicho ecológico, utilizamos 19 datos de presencia que correspondían a la cobertura temporal de las variables ecológicas obtenidas entre el 2000 y el 2050 (ver abajo). En casos en que la georeferencia de la localidad no estaba disponible, obtuvimos las coordenadas de bases de datos de libre acceso [11–14].

Los datos ambientales fueron basados en las 19 variables BioClim [15,16]. Estas coberturas en formato de sistemas de información geográfica (SIG) caracterizan los climas globales en el período 1950–2000 y resumen los promedios mensuales de temperatura y precipitación obtenidos de estaciones climáticas a nivel mundial. Estudios preliminares indican que estas variables pueden ser factores importantes en los patrones de distribución de las especies [17]. Utilizamos una resolución espacial de 2.5 minutos-arc (~4.6 km<sup>2</sup> en Ecuador), a fin de ajustarnos a la escala espacial de los datos de presencia. Debido a que las variables BioClim están altamente correlacionadas [18], redujimos el número de variables construyendo un árbol global de correlación en el programa BioMapper ver 4.0 [19]. Este procedimiento permitió escoger variables con un coeficiente de correlación menor a 0.85. En base a este procedimiento, las variables escogidas fueron:

temperatura media anual, rango diario de variación de la temperatura, isothermalidad, estacionalidad de la temperatura, precipitación, precipitación del mes más seco, estacionalidad de la precipitación, precipitación del trimestre más caliente y precipitación del trimestre más frío.

## 2.2. Modelo de nicho ecológico

Para la obtención del modelo utilizamos el método de máxima entropía en el programa Maxent 3.2.19. [20, 21]. La máxima entropía es un método para caracterizar una distribución de probabilidades a partir de información incompleta, que se puede aplicar a la modelización de distribuciones de especies [20]. Utilizamos parámetros previamente especificados por el programa (*default settings*), los cuales se consideran adecuados para la mayoría de análisis sencillos [22]. La respuesta del análisis fue obtenida en escala logística (0–1) en formato *ascii grid*, el cual fue importado a ArcView 3.2 (ESRI) para su visualización y procesamiento.

Para convertir la escala logística en un mapa de presencia-ausencia (0, 1) utilizamos el umbral de Máxima Sensibilidad y Especificidad de entrenamiento (MSE), provisto por Maxent. El uso de este umbral pretendía obtener predicciones relativamente conservadoras (o restrictivas), tal como ha sido recomendado cuando se aplican modelos de nicho ecológico a problemas de conservación [23].

Para probar el modelo implementamos una prueba de remuestreo (*jackknife*) específica para casos en que los modelos son desarrollados con menos de 25 localidades [24]. Para ello fue necesario obtener 19 modelos, en los cuales se omitía una de las 19 localidades cada vez. La significancia de la prueba se calculó con base en la habilidad de cada modelo para predecir la localidad omitida. El cálculo de la probabilidad asociada al éxito de predicción (tomando en cuenta los 19 modelos) fue realizado con el programa *P value* [24]. Una vez comprobada la significancia del modelo, lo proyectamos en la geografía de Colombia y Ecuador para obtener un mapa de la distribución potencial de la especie.

## 2.3. Pérdida de hábitat

Para estimar una posible reducción en el hábitat disponible para la especie en los últimos años, utilizamos una capa de SIG de 1 km de resolución que resume la cobertura y uso del suelo a nivel global y se basa en imágenes de satélite AVHRR tomadas entre 1981 y 1994 [25]. Esta capa distingue entre 14 tipos de coberturas del suelo, incluyendo formaciones naturales y paisajes alterados por el hombre. Para simplificar el análisis reclasificamos estos 14 tipos en dos categorías: (1) aquellas que contenían bosques naturales y (0) aquellas que contenían otros tipos de hábitat, así como paisajes alterados por el hombre. Para analizar la posible pérdida de hábitat, interceptamos el mapa de distribución potencial de la especie, con las zonas (1) en las que la especie podría mantener poblaciones. Con la ayuda de ArcView, calculamos el porcentaje del área disponible para la especie una vez eliminadas las zonas (0).

Es importante aclarar que, si bien el análisis de pérdida de hábitat se restringe a los datos tomados hasta 1994, es altamente probable que la degradación del hábitat sea mayor en la actualidad. En consecuencia, los resultados obtenidos de este análisis serían bastante conservadores.

## 2.4. Efecto del cambio climático

Para explorar posibles desplazamientos en la distribución potencial de la especie debidos al cambio climático, proyectamos el modelo de nicho ecológico a un escenario climático para el año 2050. Dicho escenario simula concentraciones de CO<sub>2</sub> con un incremento del doble con respecto a la concentración pre-industrial [26, 27]. Para evaluar la respuesta de la especie a estos cambios utilizamos tres modelos de dispersión: 1) dispersión universal—la especie podría desplazarse hacia las nuevas disponibles [28]; 2) no dispersión—la especie no se desplazaría y sólo podría sobrevivir en las áreas disponibles que quedaran dentro de su distribución potencial actual [28]; y 3) dispersión constante—la especie podría desplazarse hacia nuevas zonas disponibles a una tasa de 1000/año [30], o sea, 50 km en cualquier dirección entre

el 2000 y el 2050. Todas las áreas dentro de las capacidades de dispersión expuestas fueron asumidas como disponibles para la especie. Este análisis asume que la especie no evoluciona rápidamente en las características de su nicho ecológico [30], y no toma en cuenta otros procesos como competencia o depredación.

### 3. Resultados

#### 3.1. Modelos de nicho ecológico

El modelo obtenido resultó altamente predictivo. De un total de 19 modelos, 16 fueron capaces de predecir la localidad que había sido omitida; esta tasa de éxito corresponde a un alto nivel de significancia estadística ( $P = 0,00034$ ). Según el mapa de distribución potencial (Fig. 1), la especie tiene una alta probabilidad de encontrarse en una gran proporción de la Costa ecuatoriana.

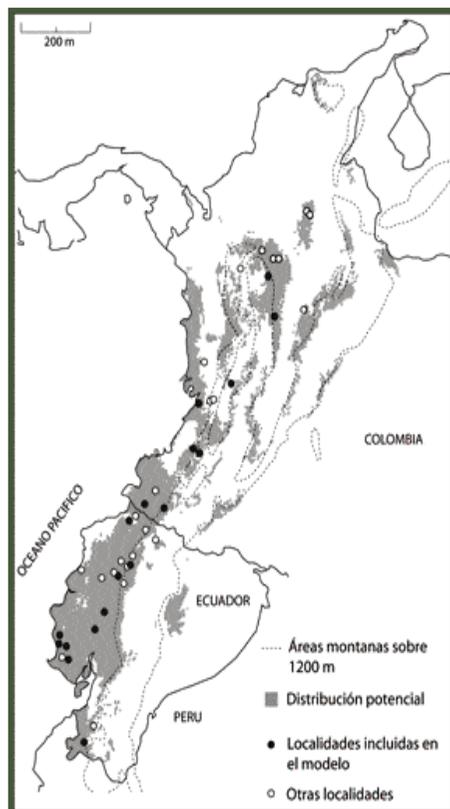


Figura 1. Mapa de distribución potencial del Corvocado Frenticolorado basado en el modelo de nicho ecológico.

En Colombia, estas áreas se concentraron en las vertientes de las cordilleras Oriental, Central y Occidental, la Serranía de San Lucas y parte del Chocó. También se observaron algunas áreas potencialmente adecuadas en la Sierra de Santa Marta y la Sierra de Perijá, en Colombia, y la Amazonía y la Isla Puná, en Ecuador. Sin embargo, no se conocen registros de la especie en estas áreas, por lo que podrían ser consideradas como zonas de sobre-predicción; así, estas fueron desestimadas en los análisis subsiguientes.

#### 3.2. Pérdida de hábitat

La intersección de la distribución potencial con la capa de cobertura y uso de suelo permitió obtener una idea más realista de la magnitud del área disponible para la especie. Estimamos que la destrucción de hábitat era responsable por una pérdida del 67% de las zonas disponibles para la especie. Mientras que el área de distribución potencial total correspondió a 170,275 km<sup>2</sup>, sólo 56,984 km<sup>2</sup> estaban cubiertas por el hábitat adecuado en 1994 (Fig. 2).

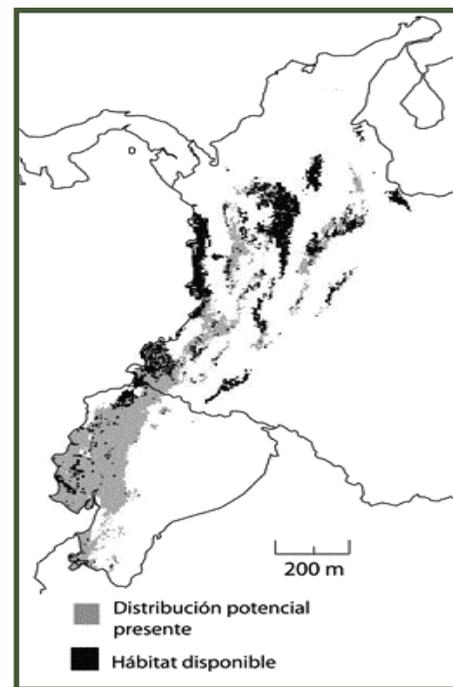


Figura 2. Ilustración de las áreas con hábitat disponible, dentro de la distribución potencial.

Para 1994, en Colombia la reducción había sido de 47%. Las zonas más afectadas por la pérdida de hábitat se ubican en la Cordillera Occidental y la vertiente occidental de la Cordillera Oriental. En Ecuador, la situación es aún más dramática, ya que se había perdido el 90% del hábitat que coincidía con la distribución potencial. Las pocas áreas remanentes se ubican en el noroccidente y en pequeños parches a lo largo de la costa y el piedemonte de la Cordillera Occidental (Fig. 3).

### 3.3. Efecto del cambio climático

La proyección del modelo ecológico en el escenario de cambio climático para el año 2050, reveló diferentes patrones de pérdida de distribución potencial. Bajo el modelo de dispersión universal, la distribución potencial de la especie se reduciría en 58%. Sin embargo, esta pérdida se repartió de manera asimétrica en el rango de distribución de la especie; mientras en Ecuador la pérdida sería del 27%, en Colombia sería del 57%. No encontramos diferencias entre el modelo de dispersión universal y el modelo de dispersión constante, dado que todas las nuevas áreas potencialmente disponibles en el futuro estaban dentro de los 25 km potencialmente disponibles en el presente. Cuando el modelo de no dispersión fue aplicado, se perdía el 46% de la distribución potencial (29% en Ecuador y 61% en Colombia).

## 4. Discusión

### 4.1. Modelos de nicho ecológico

Nuestros resultados proveen la primera revisión de la distribución geográfica del Corcovado Frenticolorado. Aunque reconocemos que el análisis podría refinarse en el futuro, esta es la primera vez que se utilizan modelos de nicho ecológico para analizar la distribución de un miembro del género *Odontophorus*, tomando en cuenta la pérdida de hábitat y el efecto del cambio climático. La naturaleza críptica de las especies en este género y, consecuentemente, la poca información de localidades en las colecciones de historia natural, hace de los modelos

de nicho ecológico un arma potencialmente muy poderosa para entender sus patrones geográficos y sus requerimientos ecológicos. Nuestro modelo de nicho ecológico probó ser estadísticamente significativo, por cuanto los análisis posteriores basados en el modelo pueden considerarse robustos, tomando en cuenta las limitaciones de los datos y el escenario de cambio climático.

Por otra parte, es importante recalcar que el modelo predijo algunas áreas donde la especie no ha sido registrada (i.e., áreas de sobre-predicción). Sin embargo, áreas correctamente predichas en la vertiente occidental de la Cordillera Oriental, pudieron haber sido consideradas sobre-predicciones antes de que se registrara allí la especie [31]. De este modo, el fenómeno de sobre-predicción no debe ser tomado como una falla del modelo, sino más bien como una fuente adicional de información que podría expandir nuestro conocimiento sobre el área de distribución de la especie [32], así como identificar limitaciones de dispersión que impiden la colonización de nuevas áreas [33]. Exploraciones futuras de estas áreas, al igual que un mejor conocimiento de los requerimientos ecológicos de otras especies de *Odontophorus*, permitirán comprender mejor los patrones geográficos encontrados en este estudio.

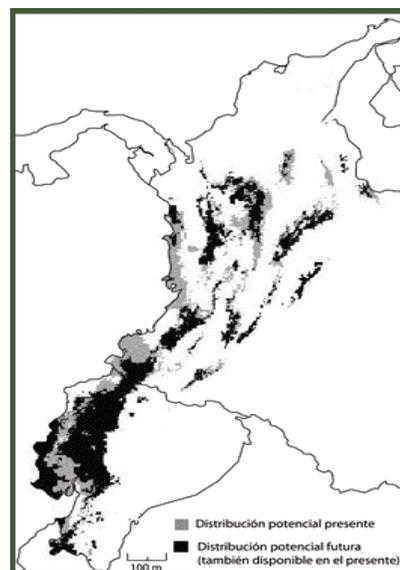


Figura 3. Distribución potencial del Corcovado Frenticolorado en el presente y en el año 2050.

### 3.2. Pérdida de hábitat

El tamaño del rango de distribución geográfica es el mejor estimador de la probabilidad de extinción de una especie [34]. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) aborda este factor usando dos métricas: Extensión de la Presencia (EDP) y Área de Ocupación (ADO). La EDP es el mínimo polígono convexo que incluye todas las localidades conocidas de una especie, mientras que la ADO representa el área realmente ocupada por la especie dentro de ese polígono [35]. Consideramos que la distribución potencial interceptada con la capa de uso y cobertura de suelo es una aproximación de la ADO. Esto es particularmente importante en Ecuador, donde los bosques de región Costa han sido dramáticamente devastados en los últimos 50 años [36], razón por la cual la EDO no es una justa representación del área efectiva ocupada por la especie.

Con base en las ideas anteriormente expuestas, el Criterio B2 de la UICN clasifica a una especie como vulnerable cuando su ADO es menor a 2,000 km<sup>2</sup> y cuando cumplan al menos dos de las siguientes condiciones: a) severa fragmentación del hábitat/pocas localidades; b) declinación continua; y c) fluctuaciones poblacionales extremas. Aunque en el análisis de disponibilidad de hábitat el ADO del Corcovado Frenticolorado excedió los 2,000 km<sup>2</sup>, la extensión y la calidad del hábitat podrían deteriorarse dramáticamente. Esto es especialmente cierto en Ecuador, si la tasa de deforestación de 1.2% [9] se mantiene en el futuro. En un análisis previo, Jahn y Mena-Valenzuela [6] clasificaron a esta especie como Vulnerable para Ecuador. Aunque, nuestro análisis independiente no apoya esta acción, respetamos su estimación basada en tamaños poblacionales y fragmentación del hábitat.

### 3.3. Efecto del cambio climático

El cambio climático está afectando poblaciones de plantas y animales a nivel mundial [37]. Se espera que este efecto sea más importante en regiones montañas, donde las áreas se reducen consistentemente con la altitud [38]. Estos pa-

trones parecen reflejarse en la distribución potencial futura del Corcovado Frenticolorado. A lo largo del rango de la especie, la mayor reducción en distribución potencial se observó en el pie de monte de los Andes de Colombia.

La correlación entre la reducción del área de distribución y las declinaciones poblacionales ha sido justificada por diversos estudios [39, 40]. Así, se espera que una reducción en el ADO, basada en la estimación de la distribución potencial futura, produzca declinaciones poblacionales; menos ADO implica una población más pequeña.

La UICN indica en su Criterio A1, que una especie puede ser considerada Vulnerable cuando se estima que su población ha declinado en 50% en 10 años o tres generaciones [35]. En el caso del Corcovado Frenticolorado, si equiparamos la pérdida de ADO por efecto del cambio climático a una declinación poblacional de igual magnitud, la población se reduciría en un 42% en 50 años (ó ~7 generaciones; [6]). Bajo este criterio, no podemos considerar a la especie en la categoría de Vulnerable a nivel global. En Colombia, sin embargo, la reducción de la distribución potencial en el futuro (54%), merece un análisis más detallado.

## 5. Conclusiones

Los modelos de nicho ecológico fueron estadísticamente significativos en la predicción de la distribución conocida del Corcovado Frenticolorado. Los análisis de pérdida de hábitat y efecto del cambio climático revelaron que las amenazas potenciales para la conservación de la especie no tienen las mismas magnitudes a lo largo de su rango de distribución. Mientras que la pérdida de hábitat parece la amenaza más grave para las poblaciones que habitan en Ecuador, la pérdida de distribución potencial por efecto del cambio climático sería más dramática en Colombia. La situación podría ser similar para especies que tienen distribuciones geográficas parecidas y tienen los mismos requerimientos ecológicos que el Corcovado Frenticolorado. Estudios más detallados basados en la fragmentación del hábitat, tamaño de rango de vi-

vienda, censos poblacionales y capacidades de dispersión, son cruciales para una evaluación del estatus de conservación del Corvocado Frenticolorado.

## 6. Agradecimientos

Agradecemos a N. Krabbe, K. Berg, J. V. Remsen, A. Cuervo, O. J. Cortéz, y S. Hilty por la información que nos brindaron sobre localidades de presencia; a F. A. Quiñonez por darnos acceso a la información depositada en la Universidad de Cali, y a C. Garzón y M. Altamirano por permitirnos revisar la colección de especímenes del Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales. Además agradecemos a los siguientes museos por haber permitido el acceso a sus datos a través de sus bases de datos, el portal ORNIS o el portal BioMap. Juan Guayasamin, J. P. Carroll y J. C. Eitner hicieron comentarios muy valiosos en este manuscrito, y la Universidad Tecnológica Indoamérica brindó apoyo financiero a través del proyecto: "Susceptibilidad de aves altoandinas al cambio climático global: aspectos genéticos y ecológicos".

## 7. Referencias

- [1] Pimm, S. L., Russell, G. J., Gittleman, J. L., and Brooks, T. M. 1995. The future of biodiversity. *Science* 269:347–350.
- [2] Tabarelli, M., Mantovani, W., and Peres, C. A. 1999. Effects of habitat fragmentation on plant guild structure in the montane Atlantic forest of southeastern Brazil. *Biological Conservation* 91:119–127.
- [3] Sala, O. E., Chapin III, F. S., Armesto, J. J., Berlow, R., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L. F., Jackson, R. B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D., Mooney, H. A., Oesterheld, M., Poff, N. L., Sykes, M. T., Walker, B. H., Walker, M., Wall, D. H. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287:1770–1774.
- [4] Holt, R. D. 1990. The microevolutionary consequences of climate change. *Trends Ecology and Evolution* 5:311–315.
- [5] IUCN. 2012. IUCN Red List of Threatened Species. Disponible en [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org) (consultado el 6 junio de 2012).
- [6] Jahn, O., y Mena-Valenzuela, P. 2002. *Odontophorus erythrops*. En Granizo, T., Pacheco, C., Ribadeneira, M. B., Guerrero, M. y Suárez, L. (Eds.) *Libro Rojo de las Aves del Ecuador*. SIMBIOE/Conservación Internacional/Ecociencia/Ministerio del Ambiente/UICN. Quito, Ecuador: Serie Libros Rojos del Ecuador, tomo 2. Quito, Ecuador. 462 p.
- [7] Ridgely, R. S., and Greenfield, P. J. 2001. *The birds of Ecuador. Vol. I. Status, distribution, and taxonomy*. Ithaca, New York, EEUU: Cornell University Press. 848 p.
- [8] Hilty, S. L., and Brown, W. L. 1986. *A guide to the birds of Colombia*. Princeton, New Jersey, EEUU: Princeton University Press. 878 p.
- [9] FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2003. *The State of the World's Forests*. Roma, Italia: Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Disponible en: <http://rmpportal.net/library/content/Deforestation/fao-2003-state-of-the-worlds-forests>.
- [10] Johnsgard, P. A. 1979. The American Woodquails *Odontophorus*. *World Pheasant Association* 3:93–99.
- [11] GEONAMES (<http://www.geonames.org>)
- [12] Fallingrain (<http://www.fallingrain.com/world>)
- [13] Alexandria Digital Library (<http://middleware.alexandria.ucsb.edu/client/gaz/adl/index.jsp>)
- [14] Google Earth (<http://earth.google.com>)
- [15] Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P., and Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25:1965–1978.

- [16] Global Climate Data (<http://www.worldclim.org>).
- [17] Cadena, C. D., and Loiselle, B. A. 2007. Limits to elevational distributions in two species of Emberizine finches: Disentangling the role of interspecific competition, autoecology, and geographic variation in the environment. *Ecography* 30:491–504.
- [18] Nakazato, T., Bogonovich, M., and Moyle, L. C. 2008. Environmental factors predict adaptive phenotypic differentiation within and between two wild Andean tomatoes. *Evolution* 62:774–792.
- [19] Hirzel, A. H., Hausser, J., and Perrin, N. 2007. Biomapper 4.0. Lausanne, Suiza: Laboratory for Conservation Biology, Department of Ecology and Evolution, University of Lausanne.
- [20] Disponible en: <http://www2.unil.ch/biomapper>
- [21] Phillips, S.J., Dudik, M., and Schapire, R. E. 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling. En: *Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning*, p. 655–662. New York, EEUU: ACM Press, New York.
- [22] Phillips, S.J., Anderson, R. P., and Schapire, R. E. 2006. Maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190:231–259.
- [23] Phillips, S. J., and Dudik, M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31:161–175.
- [24] Loiselle, B. A., Howell, C. A., Graham, C., Goerck, J. M., Brooks, T., Smith, K., and Williams, P. H. 2003. Identifying conservation priorities: Sensitivities to model selection. *Conservation Biology* 17:1591–1600.
- [25] Pearson, R. G., Raxworthy C., Nakamura, M., and Peterson, A. T. 2006. Predicting species' distributions from small numbers of occurrence records: A test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography* 34:102–117.
- [26] Geography Department of the University of Maryland (<http://www.glcfc.umiacs.umd.edu/data/landcover/>)
- [27] Duffy, P. B., Govindasamy, B., Milovich, J., Taylor, K., and Thompson, S. 2003. High resolution simulations of global climate, Part 1: Present climate. *Climate Dynamics* 21:371–390.
- [28] Govindasamy, B., Duffy, P. B., and Coquard, J. 2003. High-resolution simulations of global climate, part 2: Effects of increased greenhouse Gases. *Climate Dynamics* 21:391–404.
- [29] Peterson, A. T. 2003. Projected climate change effects on Rocky Mountain and Great Plains Birds: Generality of biodiversity consequences. *Global Change Biology* 9:647–655.
- [30] Malcolm, J. R., Markham, A., Neilson, R. P., and Garaci, M. 2002. Estimated migration rates under scenarios of global climate change. *Journal of Biogeography* 29:835–849.
- [31] Peterson, A. T., Soberón, J., and Sanchez-Cordero, V. 1999. Conservatism of ecological niches in evolutionary time. *Science* 285:1265–1267.
- [32] Cuervo, A. M., Hernández-Jaramillo, A., Cortés-Herrera, J. O., and Laverde, O. 2007. Nuevos registros de aves en la parte alta de la Serranía de las Quinchas, Magdalena Medio, Colombia. *Ornitología Colombiana* 5:94–98.
- [33] Raxworthy, C. J., Martínez-Meyer, E., Horning, N., Nussbaum, R. A., Schneider, G. E., Ortega-Huerta, M. A., and Peterson, A. T. 2003. Predicting distributions of known and unknown reptile species in Madagascar. *Nature* 426:837–841.
- [34] Soberón, J., and Peterson, A. T. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics* 2:1–10.
- [35] Harris, G., and Pimm, S. L. 2008. Range size and extinction risk in forest birds. *Conservation Biology* 22:163–171.

[36] IUCN. 2010. *Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria Version 8.1*. <http://intranet.iucn.org/webfiles/doc/SSC/RedList/RedListGuidelines.pdf>

[37] Mosandl, R., Günter, S., Stimm, B., and Weber, M. 2008. Ecuador Suffers the Highest Deforestation Rate in South America In: E. Beck et al. eds., *Gradients in a Tropical Mountain Ecosystem of Ecuador*, pp. 37–40. Berlin, Alemania: Springer-Verlag.

[38] Root, T.L., Price, J. T., Hall, K. R., Schneider, S. H., Rosenzweig, C., and Pounds, J. A. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421:57–60.

[39] Foster, P. 2001. The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews* 55:73–106.

[40] Dial, R. 1994. Extinction or miscalculation? *Nature* 105:104–105.

[41] Pimm, S. L., and Askins, R. A. 1995. Forest losses predict bird extinctions in eastern North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 92:9343–9347.