

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Biogeografía y estado de conservación de dos especies de aves amenazadas en el
Chocó Biogeográfico

Eliana Fierro Calderón

Tesis de grado como requisito para la obtención del título de Magíster en Sistemas de
Información Geográfica

Quito, Diciembre de 2012

Universidad San Francisco de Quito
Colegio de Posgrados

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

Biogeografía y estado de conservación de dos especies de aves amenazadas en el
Chocó Biogeográfico

Eliana Fierro Calderón

Richard Resl, PhD(c)

Director de UNIGIS en América Latina

Director de tesis

Pablo Cabrera, MSc

Miembro del Comité de tesis

Stella de la Torre, PhD

Decana de Colegio de Ciencias

Biológicas y Ambientales

Víctor Viteri, PhD

Decano del Colegio de Postgrados

Quito, Diciembre de 2012

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art.144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

Nombre: Eliana Fierro Calderón

C. I.: 67026833

Fecha: Enero 24 de 2013

*Toda historia tiene un final,
pero en la vida cada final es un nuevo comienzo*

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de esta tesis no habría sido posible sin la ayuda del equipo técnico de la Asociación Calidris. Muchas gracias por las discusiones, los comentarios y las críticas constructivas a cada uno de los proyectos y la propuesta de tesis. Especialmente a la Iniciativa Especies Focales y a todas las personas que nos acompañaron durante las jornadas de campo en Anchicayá. A Diana Eusse por guiarme en el maravilloso y complejo mundo de los SIG, por su ayuda y apoyo moral durante dos años de estudio.

Un enorme gracias a Karolina por ser la mejor crítica de mi trabajo; por su amor, paciencia y comprensión, por ayudar a convertirme en una mejor bióloga y una mejor mujer. A mi madre que me siguió la corriente desde el principio, sin ella nada de esto hubiera sido posible. A mi padre, mi hermano, abuelas, tíos, tías y primas que estuvieron siempre atentos de mi proceso, motivándome para llegar al final. Un agradecimiento especial a Rita, Guillermo y Adrian que estuvieron conmigo estos años, soportando cada entrega, con las palabras adecuadas y los abrazos requeridos. Por ser mi bastón durante estos últimos meses tan densos y difíciles.

Gracias a todos los biólogos, ornitólogos y observadores de aves que contribuyeron con sus observaciones, comentarios y artículos al desarrollo de esta tesis. A Jorge Velásquez, María Ángela Echeverry, Sergio Córdoba, Alex Córtes, Fernando Ayerbe, entre muchos otros. Finalmente, gracias al Dr. Thomas E. Martin por sus enseñanzas y valiosos comentarios, y a todos los profesores y el equipo de UNIGIS en Colombia y Ecuador que fueron parte esencial de esta gran experiencia.

RESUMEN

El Paragüero del Pacífico y la Pava del Baudó son aves amenazadas y endémicas que habitan los bosques del Chocó Biogeográfico en la costa Pacífica de Colombia y Ecuador. El poco conocimiento que se tiene de la distribución y ecología de estas especies ha dificultado su estudio y la generación de acciones encaminadas a su conservación. Con el uso de herramientas SIG y de modelos basados en el concepto de nicho ecológico se determinó la distribución potencial de estas especies, su distribución remanente y su estado de conservación en todo el Choco Biogeográfico.

La distribución predicha para la Pava del Baudó fue de 107.199 km², 27% es considerada distribución remanente pues se encuentra en áreas boscosas y sólo 8% de esta distribución remanente se encuentra dentro de áreas protegidas. La distribución predicha para el Paragüero del Pacífico fue de 101.387 km², el 17% de esta distribución es remanente y 11% se encuentra en áreas protegidas. Alrededor del 30% de la distribución remanente de ambas especies, se encuentra en áreas de riesgo antropogénico bajo, a más de 10 km de vías principales y centros poblados, el 70% restante se encuentra a menos de 10 km de estas áreas por esta razón se catalogaron como de riesgo medio y alto.

Estas especies se ven amenazadas fuertemente por la cacería para subsistencia y la fragmentación de los bosques de tierras bajas y del piedemonte en el Chocó Biogeográfico, principalmente en el departamento de Nariño en Colombia y la provincia de Esmeraldas en Ecuador. Para el Paragüero del Pacífico existe una amenaza no evaluada en las áreas intervenidas, donde se han encontrado nidos y leks de la especie, que se han visto afectados por cazadores locales, observadores de aves y turistas.

ABSTRACT

The Long-wattled Umbrellabird and the Baudó Guan are threatened and endemic birds that inhabit forests of the Chocó Biogeographic on the Pacific coast of Colombia and Ecuador. We have scarce knowledge of the distribution and ecology of these species and it has hindered their study and the development of actions for their conservation. By using GIS tools and ecological niche modeling, it was determined the potential distribution of these species, their remaining distribution and their conservation status in the Chocó Biogeographic.

The predicted distribution for Baudo Guan was 107,199 km², 27% is considered remaining distribution because it is found in wooded areas and only 8% of the distribution is within protected areas. The predicted distribution for Pacific Umbrella was 101,387 km², 17% of this distribution is found in wooded areas and 11% of the remaining distribution is within protected areas. Around 30% of the remaining distribution for both species is in anthropogenic low risk areas, in a distance greater than 10 km from main roads and urban areas, the remaining 70% within 10 km from these areas is classify like medium and high risk.

These species are highly threatened by hunting for subsistence and fragmentation of lowland forests and foothills in the Chocó Biogeographic, mainly in the department of Nariño, Colombia and the province of Esmeraldas, Ecuador. Nests and leks of the Long-wattled Umbrellabird have been found close to human settlements, and it is unknown the impact of local hunters, birdwatchers and tourists over Umbrellabird populations.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Problema	4
1.3. Hipótesis	5
1.4. Pregunta de investigación	6
1.5. Objetivos	6
1.6. Contexto y marco teórico.....	7
1.6.1. Propósito del estudio	7
1.6.2. Significado del estudio	7
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA	10
2.1. Pasos y géneros de la revisión	10
2.2. Formato de la revisión	10
2.2.1. Biogeografía y Concepto de Nicho	11
2.2.2. Modelamiento de Nicho Ecológico	12
2.2.2.1. Modelo de Máxima Entropía.....	14
2.2.2.1. Algoritmo Genético para la Predicción basada en Sets de Reglas	14
2.2.3. Implicaciones en Conservación	15
2.2.4. Especies Focales	17
2.2.4.1. Paragüero del Pacífico.....	17
2.2.4.2. Pava del Baudó.....	19
3. ÁREA DE ESTUDIO.....	21
4. MÉTODOS.....	23
4.1. Recopilación de Registros.....	25
4.2. Variables e Información Geográfica.....	27
4.3. Selección de variables.....	33
4.4. Generación de Modelos	33
4.5. Generación de Mapas.....	35
5. RESULTADOS.....	36

5.1. Registros y Localidades	36
5.2. Distribución Potencial.....	39
5.3. Factores que afectan la distribución.....	42
5.4. Estado de Conservación.....	46
5.5. Intervención antropogénica.....	47
5.6. Evaluación de los métodos.....	49
6. DISCUSION.....	52
6.1. Distribución y conservación de las especies focales.....	52
6.2. Consideraciones metodológicas.....	59
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
8. BIBLIOGRAFIA.....	62
ANEXO A. Estructura de la base de datos.	71
ANEXO B. Variables ambientales, topográficas y antropogénicas.	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Rangos de distancia y nivel de riesgo para la clasificación categórica desde los centros poblados y las vías principales.....	28
Tabla 2. Categorías de uso de suelo y sus características físicas.	29
Tabla 3. Pesos de las variables sobre los componentes en el PCA del Paragüero del Pacífico.	44
Tabla 4. Pesos de las variables sobre los componentes en el PCA de la Pava del Baudó.....	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Macho del Paragüero del Pacífico. Foto tomada por Murray Cooper en Ecuador. ...	18
Figura 2. La Pava del Baudó. Foto tomada por Eliana Fierro-Calderón en el PNN Farallones de Cali, Colombia.	20
Figura 3. Diagrama de flujo de los procedimientos y métodos utilizados.	24
Figura 4. Proporción de varianza (barras) y varianza acumulada (línea) de cada componente en el PCA del Paragüero del Pacífico.	43
Figura 5. Proporción de varianza (barras) y varianza acumulada (línea) de cada componente en el PCA de la Pava del Baudó.	45
Figura 6. Porcentaje de distribución remanente clasificada de riesgo bajo, medio y alto.	48
Figura 7. Curva ROC y estadístico AUC generado por Maxent para la distribución predicha del Paragüero del Pacífico.	50
Figura 8. Curva ROC y estadístico AUC generado por Maxent para la distribución predicha de la Pava del Baudó.	51
Figura 9. Factores que afectan la distribución del Paragüero del Pacífico.	57
Figura 10. Factores que afectan la distribución de la Pava del Baudó.	58

LISTA DE MAPAS

Mapa 1. Límites del Chocó biogeográfico, desde el océano Pacífico hasta la divisoria de aguas de los Andes Occidentales en Colombia y Ecuador.	22
Mapa 2. Distribución de bosques remanentes (categoría 2, 5 y 6) en el Chocó Biogeográfico.	31
Mapa 3. Áreas protegidas de Colombia y Ecuador.	32
Mapa 4. Registros del Paragüero del Pacífico en el Chocó Biogeográfico antes y después de 1950.	37
Mapa 5. Registros de la Pava del Baudó en el Chocó Biogeográfico, antes y después de 1950.	38
Mapa 6. Distribución predicha por los modeladores Maxent y Garp para ambas especies focales, y la suma de ambos modelos.	40
Mapa 7. Distribución predicha y remanente de las especies focales en el Chocó Biogeográfico.	42
Mapa 8. Área de distribución remanente y áreas conservadas de las especies focales.	47
Mapa 9. Distribución de área remanente de las especies focales según su nivel de riesgo.	49

ABREVIATURAS

CALIDRIS: Asociación para el estudio y conservación de las aves acuáticas en Colombia

CI: Conservación Internacional

ENM: Ecological Niche Modelling – Modelamiento de Nicho Ecológico

IAvH: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt

IGAC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi

IUCN: International Union for Conservation of Nature and Nature Resource – Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

PCA: Principal Component Analysis – Análisis de Componentes Principales

RNOA: Red Nacional de Observadores de Aves de Colombia

SIG: Sistema de Información Geográfica

WWF: World Wild Fund - Fondo Mundial para la Naturaleza

1. INTRODUCCION

El estudio de la ecología de las especies es un tema central en la biología, este conocimiento permite comprender a escala local y global los procesos relacionados con la biodiversidad, como el número de especies en un área determinada, sus abundancias, sus interacciones y su papel ecológico en los ecosistemas. Sin embargo desde la segunda mitad del siglo XX este conocimiento se convirtió en una necesidad debido al aumento de las actividades antrópicas. La creación de vías intermunicipales, el crecimiento de la urbanización y la expansión de la agricultura y la ganadería han provocado uno de los conflictos más grandes a los que se ha enfrentado la humanidad (Hoekstra, Boucher, Ricketts, & Roberts, 2005; Loreau et al., 2006).

Aunque la extinción es un proceso natural, durante las últimas décadas la desaparición de especies ha aumentado dramáticamente. Las tasas de extinción actuales son entre 100 y 1000 veces mayores que en épocas pre-humanas (Pimm, Russel, Gittleman, & Brooks, 1995) y el número de especies desaparecidas se considera subestimado, pues muchas especies no han sido formalmente descritas (Barnosky et al., 2011). Estas observaciones sugieren que la raza humana está provocando la llamada ‘sexta gran extinción’ a través de la fragmentación de hábitats, la introducción de especies exóticas, la dispersión de patógenos, matando individuos directamente y el cambio climático global (Barnosky et al., 2011)

Buena parte de la diversidad biológica en mayor riesgo de extinción se localiza en los países megadiversos, que están atravesando cambios sociales, económicos, territoriales y ambientales rápidos y quizá drásticos, resultado de un desarrollo económico y regional no muy acorde con las necesidades de conservación de ecosistemas y especies (Albarrán, 2005). Por lo tanto, la conservación y la gestión de esta diversidad representan un compromiso de gran magnitud

para las generaciones actuales y futuras; por eso determinar la distribución geográfica de una especie o de un grupo de especies es necesario para establecer prioridades de conservación (Albarrán, 2005).

1.1. Antecedentes

Durante las últimas décadas han sido desarrolladas una gran variedad aplicaciones geográficas que ofrecen nuevas posibilidades para el estudio y la comprensión de la biodiversidad. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) por ejemplo, hacen posible la construcción de mapas de riqueza de especies y endemismos, para priorizar áreas de protección y evaluar las redes de áreas protegidas existentes (Peterson, 2001). Así mismo, son una herramienta útil para analizar procesos relacionados con la conservación como la identificación de hábitats adecuados para especies raras, predicciones de cambio climático, evaluación del estatus de conservación de especies poco conocidas, entre otras (Brito, Acosta, Álvares, & Cuzin, 2009).

En ecología existe un campo creciente relacionado con modelamiento de nicho ecológico para predecir las distribuciones geográficas de las especies (Scott, Heglund, & Morrison, 2002). Estos modelos permiten el análisis de una amplia variedad de fenómenos como la distribución geográfica de las especies, predicciones de distribución futura bajo diferentes escenarios de cambio climático, invasión de especies, daño en agricultura por pestes, entre otras (Gaubert, Papeş, & Peterson, 2006; Jayat & Pacheco, 2006; Mota-Vargas & Rojas-Soto, 2012; Pearson & Dawson, 2003; Peterson et al., 2001; Torres & Jayat, 2010). La combinación de estos modelos predictivos basados en el concepto de nicho ecológico y los SIG ha inducido estudios

de biología de la conservación con métodos analíticos más robustos (Guisan & Zimmermann, 2000).

A pesar de estos grandes avances, aún existe un gran vacío de información sobre las especies y su ecología, principalmente en los países tropicales. En el Chocó biogeográfico, al occidente de Colombia y Ecuador, existen cerca de 1080 especies de aves (Álvarez, Aguirre, Castro, & Guzmán Victoria, 2009), 50 de ellas tienen rango de distribución restringido (endémicas), 33 de las cuales están catalogadas como amenazadas (Birdlife Internacional, 2012a).

El Paragüero del Pacífico y la Pava del Baudó hacen parte de este grupo de aves endémicas y amenazadas del Chocó Biogeográfico, el Paragüero del Pacífico ha sido ampliamente estudiado en Ecuador, de donde proviene la mayor parte de la información ecológica que se conoce de la especie, como algunos aspectos relacionados con la reproducción (Karubian et al., 2003; Karubian, Carrasco, Cabrera, Cook, & Olivo, 2007) y la alimentación (Berg, 2000; Birdlife Internacional, 2012b; Jahn, Vargas Grefa, & Schushmann, 1999). Por el contrario, la información que se conoce de la Pava del Baudó ha sido obtenida en observaciones dispersas por diferentes autores principalmente en Colombia (Brooks, 2006; E. Fierro-Calderón, Zamudio, & Tello, 2012; K. Fierro-Calderón, Fierro-Calderón, & Tello, 2011; O. Cortés, obs. pers.).

En lo relacionado con su distribución, los mapas de distribución existentes para estas especies fueron generados manualmente o usando técnicas básicas de SIG, sin considerar los factores que podrían estar afectándolos. En el caso de la Guía de Aves de Colombia (Hilty & Brown,

1986) se dibujó un polígono restringido al área de presencia de la especie y a sus rangos altitudinales. Aunque el método utilizado para los Libros Rojos (Renjifo, Franco-Maya, Amaya-Espinel, Kattan, & López-Lanús, 2002) fue más estructurada, donde se consideraron hábitats originales y remanentes para definir el área de ocurrencia de las especies, la delimitación original del área fue realizada de manera manual generando un polígono que abarcara todos los registros utilizados. Se sabe que para la segunda edición del Libro Rojo de Aves de Colombia se utilizó el modelador Maxent y 19 variables bioclimáticas (J. Velásquez, com. pers.), pero se desconoce la extensión geográfica y el número de registros utilizados.

Debido que estos mapas fueron pensados ‘a nivel nacional’, tanto en Colombia como Ecuador, la información geográfica de la especie se encuentra fragmentada por los límites internacionales. Es necesario resaltar también que los registros u otra información utilizada, además de su preparación y depuración, probablemente fue diferente en todos los casos. Este estudio es la primera aproximación a la distribución potencial de estas especies en todo su rango de ocurrencia, usando herramientas SIG y de modelamiento ecológico, además de diferentes variables bioclimáticas, topográficas y usos de suelo ajustados para toda el área.

1.2. Problema

El vacío de información en cuanto a la ecología y distribución de las especies es una oportunidad de investigación biológica, sin embargo está afectando la comprensión de procesos locales y globales relacionados con la biodiversidad y sus interacciones con el medio ambiente. En la práctica, la falta de información es un dilema para quienes tienen que tomar

decisiones encaminadas a la conservación y el manejo de vida silvestre en los países tropicales (Da Fonseca et al., 2000).

Más allá de saber dónde se encuentran las especies, es necesario identificar porqué se encuentran allí. Debemos conocer qué factores y de qué forma están afectando la distribución, ya sea positiva o negativamente. De esta forma se pueden fomentar acciones que las beneficien, prevenir aquellas que van en detrimento de las poblaciones o estimar las consecuencias que puede conllevar una acción determinada.

Con las especies amenazadas y endémicas el problema es aún mayor, pues el desconocimiento de su distribución y la falta de acciones de conservación efectivas pueden llevar a extinciones locales de algunas poblaciones y en casos extremos la extinción de la especie. Tal es el caso del Zambullidor Cira (*Podiceps andinus*) una especie de ave endémica de Colombia, que habitaba los humedales entre 2500 y 3100 m en el centro del país (Renjifo et al., 2002). Se cree que la desaparición de los humedales por colmatación y drenaje, y la contaminación del agua debido a los fertilizantes y plaguicidas fueron los factores determinantes para la extinción de la especie (Renjifo et al., 2002). El Zambullidor Cira fue registrado por última vez en Febrero de 1977 en la Laguna de Tota, departamento de Boyacá (Hilty & Brown, 1986).

1.3. Hipótesis

La falta de información relacionada con la distribución de las especies focales y los factores que determinan esta distribución, están afectando la toma de decisiones relacionadas con la conservación de las especies y los ecosistemas que habitan. Si se logra estimar las áreas de

distribución potencial, sería posible generar estudios que determinen la presencia de las especies en aquellas áreas predichas por los modelos y que no han sido exploradas con anterioridad; y generar proyectos encaminados a la protección de las especies y los ecosistemas a lo largo de su distribución. Por otra parte, si se tiene conocimiento de los factores que están afectando esta distribución se podrían evaluar las amenazas directas en sitios específicos, generar acciones dirigidas a mejorar cierta condición o prevenir acciones que perjudiquen a las poblaciones de las especies.

1.4. Pregunta de investigación

¿Cuál es la distribución potencial del Paragüero del Pacífico y la Pava del Baudó; y qué factores están afectando su distribución en el Chocó Biogeográfico?

1.5. Objetivos

- Estimar la distribución potencial de dos especies de aves amenazadas, el Paragüero del Pacífico y la Pava del Baudó en el Chocó Biogeográfico.
- Determinar los factores que están afectando la distribución de las especies focales en el Chocó Biogeográfico.
- Evaluar el estado de conservación de las especies focales a lo largo de su distribución en el Chocó biogeográfico.

1.6. Contexto y marco teórico

Este estudio está dirigido a responder una pregunta relacionada con la ecología de las especies focales, cuyos resultados pueden ser útiles para ampliar el conocimiento que se tiene de las mismas y mejorar su conservación; por esta razón se plantea principalmente un escenario biológico, considerando la historia natural de las especies y sus restricciones fisiológicas (e.g. rango de altura). Sin embargo, el trasfondo metodológico con el que se busca cumplir los objetivos propuestos fue concebido en base a los conceptos y las herramientas SIG para la manipulación de datos geográficos, tanto de las especies como de las variables bioclimáticas, topográficas y antropogénicas; el análisis de los resultados y la proyección final de los mismos.

1.6.1. Propósito del estudio

Se espera obtener un mapa de distribución potencial para cada especie focal, que refleje las áreas donde se encuentran o podrían encontrarse actualmente. Además de determinar cuáles factores de los evaluados están afectando en mayor proporción la distribución de las especies y de qué forma. Finalmente esperamos obtener un mapa que refleje el estado de conservación de las especies en base a la cantidad de área protegida declarada a lo largo de su distribución. Para esto, se diseñó una metodología paso por paso que permite obtener estos resultados.

1.6.2. Significado del estudio

Este estudio está enmarcado en el proceso que la Iniciativa Especies Focales de Calidris viene desarrollando, en busca de obtener un mayor conocimiento para promover la conservación de estas especies. Desde el año 2010 la Iniciativa ha contado con becas internacionales como el

Fondo de especies amenazadas de Rufford Small Grants, Mohamed bin Zayed y la Sociedad Zoológica de Chicago para el estudio del Paragüero del Pacífico y la Pava del Baudó en el Parque Nacional Natural Farallones de Cali en el Pacífico Colombiano.

La Asociación Calidris (<http://calidris.org.co/>) es una organización sin ánimo de lucro con más de 20 años de experiencia, dedicada al estudio y conservación de las aves acuáticas en Colombia. La Iniciativa Especies Focales que hace parte de Calidris tiene como objetivo estudiar y promover la conservación de las aves que presentan algún grado de amenaza o endemismo en Colombia.

Se espera que este estudio aporte a investigaciones futuras de las especies focales en todo su rango de distribución; así mismo a organizaciones nacionales e internacionales y los gobiernos de Colombia y Ecuador para la toma de decisiones relacionadas con la conservación en el Choco Biogeográfico.

Finalmente, esta investigación pasa a ser parte de una gran variedad de trabajos que se están desarrollando en el Chocó Biogeográfico con el objetivo de conservar las especies y sus ecosistemas. Una de las estrategias más conocidas es el Corredor de Conservación Chocó-Manabí (CCCM) una iniciativa propuesta por CI, con el respaldo financiero del Fondo de Alianzas para Ecosistemas Críticos (CEPF). El objetivo de esta iniciativa era generar un área de conservación entre Colombia y Ecuador, a través de corredores de conservación que asegurara la persistencia de las especies amenazadas a nivel global y áreas claves para la biodiversidad. CCCM inició en el 2001 y se encuentra en su segunda fase de desarrollo que termina en 2012.

Se muestra a continuación la revisión de literatura de los temas más importantes en el desarrollo de este estudio, donde se presentarán los conceptos teóricos, metodológicos y biológicos necesarios para su comprensión. Posteriormente en los métodos, resultados, discusión y conclusiones se desarrolla el tema respondiendo a la pregunta y los objetivos planteados.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Pasos y géneros de la revisión

La revisión de literatura se realizó por temas, usando palabras claves y eligiendo los documentos que aportaban información importante. Por ejemplo, para el tema de los ‘Modelamiento de Nicho Ecológico’ se utilizaron palabras claves como Maxent, Garp, modelación ecológica, entre otras. Se siguieron también las referencias de los artículos más importantes para llegar a otras fuentes y se revisaron otros artículos del mismo autor si este ha trabajado ampliamente en el tema (e.g. A. Townsend Peterson y Richard G. Pearson).

La búsqueda fue realizada principalmente a través de internet utilizando plataformas como Google Scholar (<http://scholar.google.com/>), Searchable Ornithological Research Archive SORA (<http://elibrary.unm.edu/sora/>), Springer (<http://link.springer.com/>), Scielo (<http://www.scielo.org/>), PlosOne (<http://www.plosone.org/>), y muchas más. La literatura provino principalmente de revistas indexadas y libros publicados. Sin embargo, se consideraron también páginas de internet de fuentes confiables o de organizaciones reconocidas a nivel internacional.

2.2. Formato de la revisión

A continuación se presenta la revisión de la literatura siguiendo los temas más importantes en el desarrollo de este estudio.

2.2.1. Biogeografía y Concepto de Nicho

La biogeografía es definida como “la ciencia que estudia la distribución de los seres vivos, tanto en el tiempo como el espacio; considerando los procesos que la han originado, la modifican y que la pueden hacer desaparecer” (Acevedo Rosas & Hernández Galaviz, 2003; Contreras Medina, Luna Vega, & Morrone, 2001). En este sentido la biogeografía abarca tres procesos fundamentales: evolución, dispersión y extinción (Palacios, 2012).

Como disciplina científica involucra una serie de preguntas a las que intenta dar respuesta: ¿Por qué las especies están confinadas a un rango de distribución? ¿Qué papel juega el clima, el paisaje y las interacciones con otros organismos en la delimitación de la distribución de las especies? y ¿De qué manera, eventos históricos tales como la deriva continental, la glaciación Pleistocénica y los recientes cambios climáticos modelaron la distribución de las especies? (Palacios, 2012).

El estudio de la biogeografía se ha dividido en dos grandes ramas. La *biogeografía histórica* busca explicar la distribución de los organismos en base a su historia evolutiva y la historia del lugar donde se encuentran. El primero se refiere a los cambios en las características genéticas y características intrínsecas de cada organismo. Mientras el segundo se refiere a los cambios geológicos, tectónicos, geográficos, climáticos u otros factores extrínsecos de las especies (Ramírez Mella, 2007).

Por otra parte, la *biogeografía ecológica* “trata de explicar los patrones de distribución en términos de interacciones entre organismos y su ambiente físico y biótico actual o en el pasado reciente” (A. A. Myers & Giller, 1988). “La biogeografía ecológica analiza patrones de

distribución individual o poblacional, a una escala local; tiene en cuenta procesos de adaptación al ambiente y de relación con otras poblaciones o especies” (Morrone, Espinosa Organista, & Llorente-Bousquets, 1996).

En el marco de la biogeografía es necesario comprender el concepto de ‘nicho’. El término de *nicho ecológico* fue utilizado por primera vez a principios del siglo XX y fue descrito como “el hábitat donde vive una especie” (Grinnell, 1917). A mediados de siglo, el concepto fue desarrollado y definido como un espacio multidimensional (“híper-volumen”), donde las dimensiones representan “las condiciones ambientales y los recursos que definen los requerimientos de una especie para vivir” (Hutchinson, 1957). Así mismo se introdujeron los conceptos de *nicho fundamental*, que se refiere al área total donde las condiciones abióticas son favorables para la especie; y *nicho realizado*, que se refiere al área del nicho fundamental que realmente ocupa una especie dada la presencia de otras especies (Hutchinson, 1957; Soberón & Peterson, 2005; Wiens & Graham, 2005).

2.2.2. Modelamiento de Nicho Ecológico

Con el Modelamiento de Nicho Ecológico (Ecological Niche Modelling, ENM) se identifican y proyectan las regiones ‘adecuadas’ para una especie utilizando la asociación entre los puntos de ocurrencia conocidos y datos climáticos, topográficos, edáficos, entre otras variables ecológicas (Soberón & Peterson, 2005). Los algoritmos modeladores extrapolan en base a las asociaciones entre los puntos de ocurrencia y los datos ambientales, para identificar áreas de

presencia en el mapa; estas áreas son similares ecológicamente a aquellas donde se sabe que ocurre la especie (Pearson, Raxworthy, Nakamura, & Townsend Peterson, 2007; Soberón & Peterson, 2005). La premisa central de esto, es que la distribución observada de la especie provee información valiosa de sus requerimientos ambientales (Pearson & Dawson, 2003).

En la mayoría de los casos, los algoritmos de ENM son ejecutados utilizando exclusivamente variables ambientales (factores abióticos) debido a las dificultades que supone obtener y representar información ecológica relacionada con interacciones interespecíficas (factores bióticos) como la competencia, el mutualismo y la depredación. En estos casos, los resultados obtenidos están estimando el nicho fundamental de la especie (Soberón & Peterson, 2005).

Existen varios supuestos ecológicos en las variables ambientales que se usan para la generación de estos modelos (Phillips, Anderson, & Schapire, 2006), por esta razón se deben seleccionar las capas de información adecuadas, de forma que exista una correspondencia temporal entre las localidades de ocurrencia y las variables ambientales (Anderson & Martínez-Meyer, 2004).

Existen también una gran variedad de algoritmos modeladores que pueden ser utilizados de acuerdo a los objetivos del estudio y los datos que se tengan. Algunos algoritmos requieren datos tanto de presencia como de ausencia verdadera de la especie, como las Redes Neuronales, los Modelos Lineales Generalizados o los Modelos Aditivos Generalizados (García Mateo, 2008). Los algoritmos modeladores GARP y Maxent requieren solo datos de presencia y generan “pseudo-ausencias” para cada modelo, ambos permiten el uso de datos

tanto categóricos como continuos y demuestran tener mejores resultados predictivos que otros algoritmos (García Mateo, 2008; Mota-Vargas & Rojas-Soto, 2012; Tsoar, Allouche, Steinitz, Rotem, & Kadmon, 2007).

2.2.2.1. Modelo de Máxima Entropía

Maxent (Maximum Entropy Theory) estima la distribución potencial del nicho ecológico de la especie con base en la localización de la distribución de máxima entropía (más cercana y uniforme), considerando que los valores esperados para cada una de las características analizadas bajo la distribución estimada, coinciden en su valor empírico promedio. Para el modelado de la distribución de las especies, las localidades de ocurrencia sirven como los puntos de muestreo, la región geográfica de interés es el espacio donde la distribución será definida y las características son las variables ambientales (Phillips et al., 2006).

Maxent genera un mapa en formato raster con la probabilidad de distribución de la especie. El usuario también puede seleccionar la salida de curvas de respuesta y el estadístico Jackknife, que muestra el aporte de cada variable ambiental en la generación del modelo. Maxent alcanza mejores tasas de éxito predictivo que otros algoritmos modeladores, particularmente con muestras pequeñas (Pearson et al., 2007).

2.2.2.1. Algoritmo Genético para la Predicción basada en Sets de Reglas

GARP (Genetic Algorithm for Rule-Set Prediction) es un algoritmo genético basado en aprendizaje automático (“learning machine”). Los algoritmos genéticos (concepto desarrollado por Holland en 1975) son un sistema de análisis robusto que han sido utilizados en campos

(e.g. inteligencia artificial) donde los clásicos métodos estadísticos no son útiles (Stockwell & Peters, 1999).

Este algoritmo busca correlaciones no aleatorias de las características ecológicas de los puntos de ocurrencia con otros puntos tomados aleatoriamente del área de estudio, desarrollando una serie de reglas que reflejan los factores ambientales asociados con la presencia de la especie. Funciona iterativamente aplicando distintas reglas de modelado, generando y evaluando un modelo de distribución binario distinto en cada ocasión. Para evaluar si una regla es incorporada o no al modelo de nicho se utilizan los cambios (incremento) en la precisión de predicción de una repetición a otra, con base en 1000 repeticiones o hasta que la adición de nuevas reglas no pueda incrementar más la precisión predictiva del modelo (Stockwell & Peters, 1999).

Finalmente, GARP permite obtener los mejores modelos con base en ciertos umbrales para el error de omisión, que se refiere a las áreas predichas por el modelo como ausente cuando en realidad la especie está presente, y el error de comisión, el modelo predice que la especie está presente cuando en realidad está ausente (Lira, Barve, Soberón, & Peterson, 2012).

2.2.3. Implicaciones en Conservación

La conservación de especies requiere un conocimiento detallado de historia natural y biología, pero también información acerca de la disponibilidad de hábitats adecuados donde estas especies puedan sobrevivir (Papeş & Gaubert, 2007). Durante las últimas dos décadas los ENM han sido utilizados ampliamente para predecir la distribución geográfica potencial de

especies migratorias, amenazadas, endémicas o dentro de áreas protegidas en todo el mundo (Brito et al., 2009; Gaubert et al., 2006; Jayat & Pacheco, 2006; Mota-Vargas & Rojas-Soto, 2012; Papeş & Gaubert, 2007).

La predicción de distribuciones como superficies continuas puede proveer una cobertura espacial completa de la distribución potencial, incluso en áreas donde no hay datos disponibles (Stockwell & Peters, 1999; Thorn, Nijman, Smith, & Nekaris, 2008). Estas predicciones pueden ser utilizadas como base para estudios relacionados con conservación (Guisan & Zimmermann, 2000; Stockwell & Peters, 1999), destacando poblaciones desconocidas y áreas claves para su búsqueda (Papeş & Gaubert, 2007; Pearson et al., 2007), áreas adecuadas para la reintroducción de las especies (Bolívar Cimé, 2009; Cavero & Angulo Pratolongo, 2011) y mejorar la evaluación de estado de riesgo en listas de protección a nivel nacional e internacional (Granizo, Pacheco, Ridabeneira, Guerrero, & Suárez, 2002; IUCN, 2012; Renjifo et al., 2002).

Permite también identificar áreas importantes para la biodiversidad como Hotspots (N. Myers, Mittermeier, Mittermeier, Da Fonseca, & Kent, 2000), Áreas de endemismo de Aves (Birdlife Internacional, 2012a) y Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves AICA (Devenish, Díaz Fernández, Clay, Davidson, & Yépez Zabala, 2009). La conservación de estas y otras áreas puede realizarse ya sea de manera directa, con su declaración como área protegidas a nivel nacional o internacional, o indirectamente a través de actividades de divulgación, educación y empoderamiento de las comunidades locales.

2.2.4. Especies Focales

El Paragüero del Pacífico (*Cephalopterus penduliger*) y la Pava del Baudó (*Penelope ortonii*) son especies declaradas como amenazadas a nivel mundial (IUCN, 2012) y están catalogadas como endémicas, lo que significa que son especies con rangos de distribución restringido, en este caso en particular, las especies se encuentran confinadas al Chocó Biogeográfico al occidente de Colombia y Ecuador.

Ambas especies son aves de gran tamaño, y se alimentan principalmente de frutos en el estrato más alto del bosque, esta característica las hace particularmente sensibles a la extinción por fragmentación; se ha demostrado que las aves frugívoras de dosel es uno de los gremios más afectados por la pérdida de hábitats en los trópicos (Kattan, Alvarez-Lopez, & Giraldo, 1994; Renjifo, 1999).

2.2.4.1. Paragüero del Pacífico

Pertenece a la familia de las Cotingas y Fruteros (Cotingidae) y es conocida también como Ave Toro, Pájaro Sombrilla o Pájaro Corbatudo. Esta especie está catalogada en la categoría de Vulnerable (VU) a nivel internacional (IUCN, 2012) debido principalmente a la destrucción y pérdida de hábitat, la cacería y el comercio ilegal lo que ha ocasionado una rápida disminución en sus poblaciones. Se estima que el tamaño poblacional de la especie actualmente está en el rango de 10000 a 19000 individuos (Birdlife Internacional, 2012b).

El Paragüero del Pacífico usa generalmente los estratos altos de interior y borde de bosques húmedos y lluviosos, en tierras bajas de la zona pacífica, piedemonte y zonas subtropicales de la vertiente occidental de los Andes (Karubian et al., 2003; Renjifo et al., 2002). Su

distribución altitudinal varía entre 80 y 1800 m; algunos autores han sugerido que la especie puede realizar migraciones altitudinales debido que los registros en tierras bajas son ocasionales, sin embargo en áreas donde se han desarrollado estudios a largo plazo de la especie no se han observado indicios de esto (Berg, 2000; Jahn et al., 1999; Karubian et al., 2003).



Figura 1. Macho del Paragüero del Pacífico. Foto tomada por Murray Cooper en Ecuador.

Esta especie mide entre 45 y 51 cm, y generalmente los machos son más grandes que las hembras. Es de color negro con lustres azulosos y una peculiar cresta negra en forma de sombrilla, el macho tiene bajo su garganta una “corbata” redonda y emplumada que mide entre 28 y 33 cm (Figura 1). Las hembras y juveniles no tienen corbata y la cresta es menos desarrollada (Hilty & Brown, 1986).

2.2.4.2. *Pava del Baudó*

Pertenece a la familia de las Pavas, Pavones y Chachalacas (Cracidae) que se encuentra distribuida exclusivamente en América. Está clasificada como una especie En Peligro (EN) a nivel internacional (IUCN, 2012) debido a la deforestación y fragmentación del hábitat, y la caza no regulada, las cuales afectan incluso las áreas protegidas y zonas de amortiguación donde se encuentra la especie (Granizo et al., 2002; Renjifo et al., 2002). En base a un estudio realizado en la provincia de Esmeraldas, Ecuador en 1997-2006 se estimó la población mundial de la especie entre 7000 y 21000 individuos (Birdlife Internacional, 2012c).

La Pava del Baudó ha sido registrada localmente en bosques húmedos de los piedemontes y laderas en el Chocó Biogeográfico, principalmente entre 70 y 1500 m, aunque existen registros hasta 3100 m (Birdlife Internacional, 2012c). Esta pava utiliza todos los estratos del bosque: en el dosel se alimenta, vocaliza y hace despliegues de cortejo y reproducción; mientras que el estrato medio lo usa para esconderse de depredadores, y en el estrato bajo busca alimento y se desplaza a través de caminos (Brooks, 2006; Hilty & Brown, 1986). A comparación de otras Pavas es una especie generalmente silenciosa (obs. pers.)

Esta es una pava pequeña a comparación de otras especies de su familia, mide aproximadamente 66 cm. Tiene el área ocular de color azul, gula roja prominente y patas rojo opaco. La cabeza y el alto cuello son café grisáceo, el resto del cuerpo es principalmente café intenso (Figura 2). Las plumas del pecho y la parte anterior del cuello están marginadas de blanquecino (Hilty & Brown, 1986). No existen diferencias morfológicas (dimorfismo sexual) entre los machos y las hembras.



Figura 2. La Pava del Baudó. Foto tomada por Eliana Fierro-Calderón en el PNN Farallones de Cali, Colombia.

3. ÁREA DE ESTUDIO

La Provincia biogeográfica del Chocó (Leyva, 1993) también conocida como el *Chocó Biogeográfico* es una región de América tropical caracterizada por la presencia de variados ecosistemas y hábitats que concentran una inusitada diversidad de especies de plantas y animales. Sus límites difieren de acuerdo con la interpretación de diferentes autores y así mismo una variedad de nombres han sido utilizados para su reconocimiento; el Hotspot de biodiversidad Tumbes-Chocó-Magdalena (Conservación Internacional, 2012), la ecorregión Chocó-Darién-Ecuador Occidental (N. Myers et al., 2000; WWF, 2012) y el Área de Endemismo de Aves Chocó (Birdlife Internacional, 2012a) son algunos de ellos.

La mayoría de autores coincide en que abarca desde la provincia del Darién al occidente de Panamá, hasta la provincia de Manabí, en la costa noroccidental del Ecuador y atraviesa toda la costa Pacífica de Colombia (Álvarez et al., 2009). Su límite occidental está definido claramente por el Océano Pacífico, el límite oriental está demarcado, para algunos autores, por las estribaciones occidentales de la cordillera de Los Andes con altitudes inferiores a 1000 metros y para otros, por la divisoria de aguas de los Andes Occidentales de Colombia y Ecuador que alcanza elevaciones por encima de 4000 m (Álvarez et al., 2009).

En este estudio se toma como límite oriental la divisoria de aguas de los Andes en Colombia y Ecuador (Mapa 1). De este modo, la extensión total del Chocó Biogeográfico es alrededor de 175000 km², aproximadamente 2% de la superficie terrestre que alberga cerca del 10% de la biodiversidad del planeta. El Chocó biogeográfico es una de las áreas con mayor cantidad de endemismos, los estudios más recientes señalan que 100 especies de anfibios (Lynch & Suárez-Mayorga, 2004), 26 especies de reptiles (Castaño-M., Cárdenas-A., Hernández-R., &

Castro-H., 2004) y más de 50 especies de aves (Birdlife Internacional, 2012a) se encuentran restringidas a esta área. Se estima también que para las plantas superiores, se han identificado solo dos terceras partes del total esperado, que ha sido calculado en unas 8000 especies (Halffter, 1992).



Mapa 1. Límites del Chocó biogeográfico, desde el océano Pacífico hasta la divisoria de aguas de los Andes Occidentales en Colombia y Ecuador.

4. MÉTODOS

Los métodos establecidos están orientados a responder la pregunta de investigación, a través de la solución de cada uno de los objetivos propuestos. Varios autores han abordado ya este tema con diferentes grupos biológicos (Barker et al., 2007; Gaubert et al., 2006; Papeş & Gaubert, 2007; Pearson et al., 2007; Thorn et al., 2008; Vega Rivera, Ortega-Huerta, & Guerrero, 2008; Vega Rivera, Ortega-Huerta, Sarkar, & Rappole, 2010) y en base a sus conclusiones se adoptaron los procesos y algoritmos de modelación que se consideraron convenientes. Sin embargo, debido a la variabilidad que presentan los mapas predictivos finales de acuerdo al número de registros y variables utilizadas, se consideró adecuado realizar un análisis preliminar que permitiera depurar la información y optimizar los métodos.

El análisis preliminar y un Análisis de Componentes Principales (PCA por sus siglas en inglés) demostró que las variables topográficas y antropogénicas eran las que afectaban en mayor proporción los modelos; las variables topográficas fueron incluidas y por el contrario, las variables antropogénicas fueron excluidas del modelado. Para responder a los objetivos del estudio se realizó un PCA posterior sólo con las variables bioclimáticas.

En la Figura 3 se muestra el diagrama de flujo de todo el proceso. Los cuadros punteados representan operaciones realizadas en ArcGIS, los pentágonos muestran el desarrollo de procesos en otros programas y los cuadros delineados de negro representan los productos finales. Los asteriscos representan las partes del proceso que responden a los objetivos planteados.

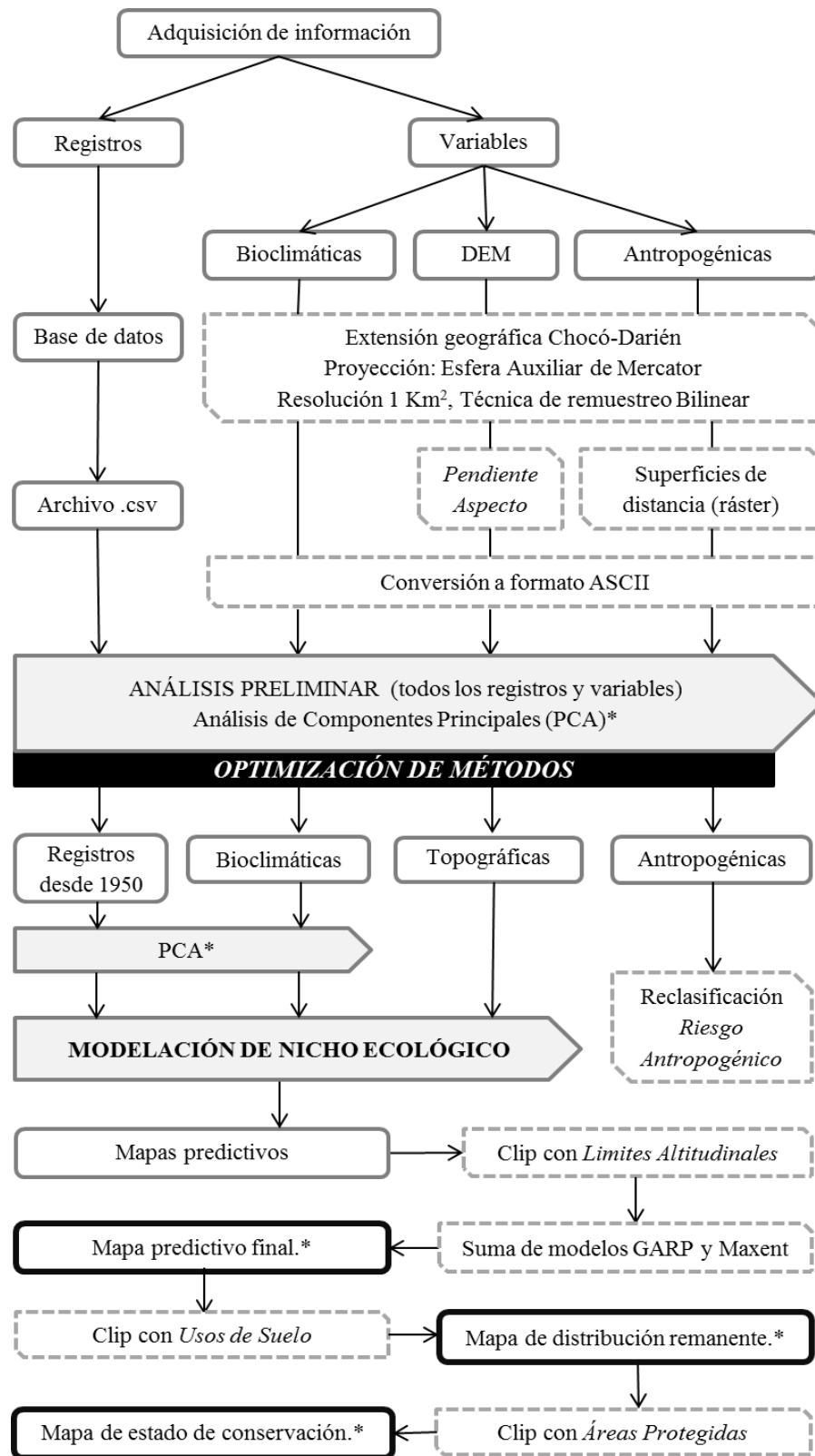


Figura 3. Diagrama de flujo de los procedimientos y métodos utilizados.

4.1. Recopilación de Registros

Se realizó una búsqueda intensiva de los registros del Paragüero del Pacífico la Pava del Baudó a través de documentos especializados, bases de datos en línea y comunicación personal con otros ornitólogos y observadores de aves. Se compiló información de 15 referencias bibliográficas que incluye artículos científicos en revistas como *Ornitología Neotropical* (Greeney et al., 2006), *Cotinga* (Berg, 2000; Greeney, Kirwan, & Miller, 2012), *Bulletin of the British Ornithologists' Club* (Strewe, 2000a), *Bird Conservation International* (Jahn et al., 1999; Karubian et al., 2003), *Biota Colombiana* (Calderón-Leytón, Flórez Paí, Cabrera-Finley, & Rosero Mora, 2011) y el *Boletín SAO* (Strewe, 2000b); además de informes técnicos (E. Fierro-Calderón, Zamudio, & Tello, 2012; K. Fierro-Calderón, Fierro-Calderón, & Tello, 2011; Salaman, 1994); y libros especializados como la *Guía de las Aves de Colombia* (Hilty & Brown, 1986), el *Libro Rojo de Aves de Colombia* (Renjifo et al., 2002), *Las Aves del Ecuador* (Ridgely & Greenfield, 2001), el *Libro Rojo de Aves de Ecuador* (Granizo et al., 2002) y *Conservando Crácidos* (Brooks, 2006).

Las bases de datos consultadas se encuentran disponibles en línea y su información puede ser descargada y utilizada respetando los derechos de autor correspondientes. Encontramos registros de las especies focales en el Mecanismo de Facilitación de Información Global de Biodiversidad (GBIF, <http://data.gbif.org/>), eBird (<http://ebird.org/>), el Proyecto Biomap (<http://www.biomap.net>), el Portal ORNIS (<http://www.ornisnet.org/>), The Internet Bird Collection (IBC, <http://ibc.lynxeds.com/>) y Xeno Canto (<http://www.xeno-canto.org/>). Las bases de datos de GBIF, ORNIS y Biomap contienen información de colecciones biológicas y museos de historia natural en todo el mundo; mientras que eBird, IBC y Xeno Canto son

plataformas interactivas donde los usuarios pueden subir sus registros, fotografías, videos y grabaciones de cantos. La información de estas páginas es considerada confiable pues cuenta con un equipo técnico que controla el ingreso de datos; en caso de encontrar errores, informan al autor de los mismos para que sea corregido o eliminado.

Adicionalmente se realizaron convocatorias a otros ornitólogos y observadores de aves a través de correos personales y las listas de distribución de Fauna Latina y la RNOA. Se obtuvieron cinco listados con información de las especies en Colombia, no se obtuvo respuesta de los investigadores contactados en Ecuador.

Encontramos 238 registros del Paragüero del Pacífico en 58 localidades del Chocó Biogeográfico, que se extienden temporalmente desde 1893 hasta 2012. Treinta y tres (33) de estos registros fueron excluidos ya que no presentaban información espacial que permitieran georreferenciarlos, en todos los casos se trataron de registros de colecciones o museos de historia natural. En el modelamiento de nicho ecológico se utilizaron los registros a partir de 1950, para eliminar el posible error debido a las diferencias temporales con las variables ambientales; esto redujo los registros a 143 y el número de localidades a 31. El total de registros encontrados para la Pava del Baudó fue de 140 en 45 localidades del Chocó Biogeográfico, desde 1907 hasta 2012. Veintitrés (23) registros no presentaban información espacial y fueron excluidos. La depuración de la información excluyendo los registros anteriores a 1950, redujo su número a 29 y el número de localidades a 16.

Del total de 172 registros utilizados en el modelamiento, cerca del 85% presentaban coordenadas geográficas de las fuentes originales; el 15% restante fueron asignadas usando gaceteros (Paynter Jr., 1993, 1997), recursos en línea (Falling Rain Genomics, 2010; GeoCo,

2011; Google Inc., 2012) o una ubicación cercana conocida. Los registros cuyas coordenadas estaban erróneas desde la fuente, se corrigieron usando información adicional como municipio, vereda o ríos.

La base de datos donde se consignó toda esta información fue diseñada siguiendo los estándares para la documentación e intercambio de información sobre biodiversidad del IAvH (Suárez-Mayorga, Bernal, & Cárdenas-López, 2005; Suárez-Mayorga, Rivera-Gutiérrez, Varón-Londoño, & Ramón, 2005) y fue generada en Excel de Microsoft Office® 2010 (formato .xls). Para facilitar el manejo de la información, se seleccionaron sólo los atributos que se consideraron relevantes para el estudio. La base de datos contiene 38 atributos organizados en cinco secciones, donde se presenta la principal información taxonómica de las especies, el referente espacial, temporal y la fuente de cada registro (ANEXO A). Desde esta base de datos se generó un archivo delimitado por comas (.csv) con tres columnas: especie, longitud y latitud; que es requerida por los programas de modelamiento.

4.2. Variables e Información Geográfica

Se obtuvo información de cartografía base para Colombia y Ecuador; además de las capas bioclimáticas, topográficas, antropogénicas, de uso de suelo y áreas protegidas en la región del Chocó Biogeográfico. La cartografía base de Colombia adquirida hace parte del SIG de la Asociación Calidris y su fuente principal es el IGAC (<http://sigotn.igac.gov.co/>). La información de Ecuador fue obtenida del Instituto Geográfico Militar, Gestión Geográfica,

Departamento de SIG Nacional - Gestión IDE a través de su página web (<http://www.geoportaligm.gob.ec/>).

La información bioclimática fue descargada de la base de datos de WorldClim (<http://www.worldclim.org/>) en formato GRID y resolución de 30 arco segundo (~1 Km²). Esta base contiene datos que corresponden a capas climáticas globales obtenidas de la interpolación de los registros de estaciones climáticas entre 1950 y 2000 (Hijmans, Cameron, Parra, Jones, & Jarvis, 2005). Las variables bioclimáticas son 19, derivadas de la temperatura media anual y la precipitación media anual (ANEXO B).

Tabla 1. Rangos de distancia y nivel de riesgo para la clasificación categórica desde los centros poblados y las vías principales.

Medida	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Alto
Proximidad de poblados	> 10 km	> 5 km	< 5 km
Proximidad de vías	> 10 km	> 5 km	< 5 km

El modelo de elevación digital (DEM por sus siglas en inglés) fue obtenido de WorldClim en formato GRID y resolución de 30 arco segundo (~1 Km²). Haciendo uso del ArcToolbox *Spatial Analyst* > *Surface* se derivaron las capas de Pendiente y Aspecto. Estas tres capas constituyen el grupo denominado Variables Topográficas. Entre las Variables Antropogénicas se cuentan los centros poblados y las vías principales; la información fue obtenida en formato vector de diferentes fuentes para Colombia y Ecuador (ANEXO B). Con el ArcToolbox *Spatial Analyst* > *Distance* > *Euclidian Distance* se generaron superficies de distancia desde las vías y los centros poblados. Los raster de distancia fueron reclasificados (*Spatial Analyst*

>*Reclass*) según la Tabla 1, que determina el nivel de riesgo según su cercanía con áreas urbanas (Thorn et al., 2008).

La información de uso de suelo fue adquirida del Global Land Cover Facility (www.landcover.org). Esta información fue generada en 1998 por el Departamento de Geografía de la Universidad de Maryland; haciendo uso de imágenes satelitales AVHRR entre 1981 y 1994, identificaron 14 clases de uso de suelo (Tabla 2). Esta información fue descargada en formato raster con resolución de 1 km. Para determinar la distribución remanente de las especies se utilizaron exclusivamente los usos de suelo denominados como bosque (Mapa 2) de las categorías dos, cinco y seis (Hansen, DeFries, Townshend, & Sohlberg, 2000), de acuerdo a las preferencias de hábitat de las especies focales.

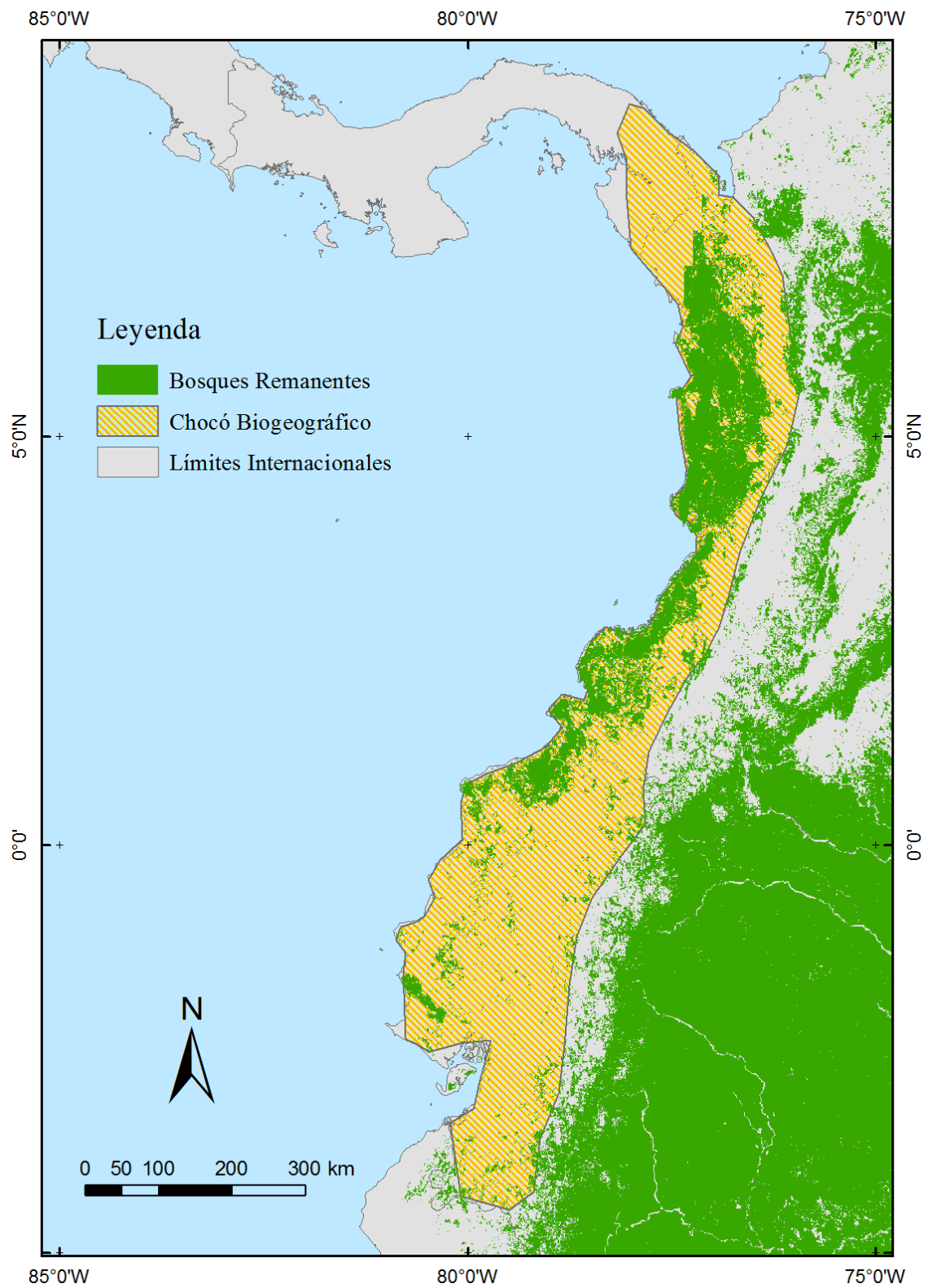
Finalmente, la capa de áreas protegidas del Ecuador fue generada por el Ministerio de Ambiente de ese país y obtenida a través de CI Ecuador (com. pers.). La información geográfica de las áreas protegidas de Colombia fue generada por el Sistema de Parques Nacionales Naturales y descargada del IGAC (Mapa 3). Esta información se utilizó para determinar el estado de conservación de las especies focales, de acuerdo con la cantidad de área remanente que se encuentra dentro de áreas protegidas.

Tabla 2. Categorías de uso de suelo y sus características físicas. *Las categorías señaladas con un asterisco (*) fueron utilizadas en los análisis, aquellas con dos asteriscos (**) no se encuentran presentes en Suramérica.*

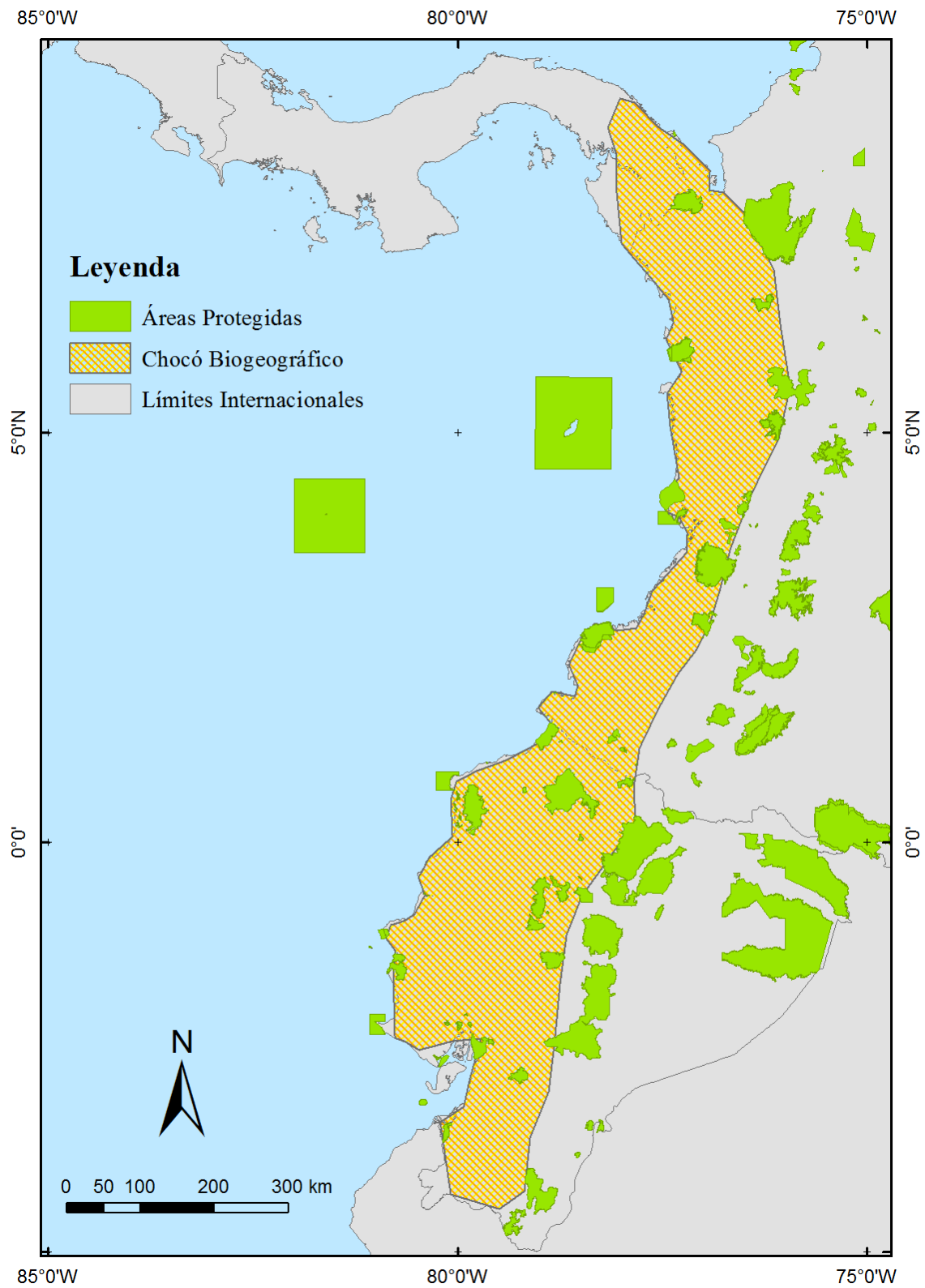
Categoría	Nombre de la categoría	Características
0	Agua	Océanos, Lagos, Reservorios y Ríos
1	Bosque perenne aciculado	Bosque con cobertura de dosel > 60% y altura que excede 5 m. Los árboles conservan las hojas durante todo el año.

Tabla 2 (continuación). Categorías de uso de suelo y sus características físicas.

Categoría	Nombre de la categoría	Características
2*	Bosque perenne latifoliado	Bosque con cobertura de dosel > 60% y altura que excede 5 m. Los árboles conservan las hojas durante todo el año.
3**	Bosque deciduo aciculado	Bosque con cobertura de dosel > 60% y altura que excede 5 m. Los árboles pierden sus hojas en estaciones frías.
4	Bosque deciduo latifoliado	Bosque con cobertura de dosel > 60% y altura que excede 5 m. Los árboles pierden sus hojas en la estación seca o fría.
5*	Bosque mixto	Suelos dominados por mosaicos de árboles aciculados y latifoliados. Cobertura de dosel > 60% y altura que excede 5 m
6*	Bosque	Bosque con sotobosque herbáceo o leñoso, cobertura de dosel > 40% y < 60% y altura que excede 5 m. Pueden ser bosques deciduos o perennes.
7	Praderas arboladas	Suelo con sotobosque herbáceo o leñoso, cobertura de dosel > 10% y < 40% y altura que excede 5 m.
8	Matorral cerrado	Suelo dominado por arbustos con una cobertura > 40% y no excede los 5 m de altura. Cobertura de árboles < 10%.
9	Matorral abierto	Suelo dominado por arbustos con cobertura > 10% y < 40%, no exceden los 2 m de altura.
10	Pastizal	Suelo con cobertura herbácea continua, < 10% de cobertura de arbustos y árboles.
11	Cultivos	Suelos > 80% del paisaje está cubierto por cualquier tipo de cultivo.
12	Suelo desnudo	Suelo expuesto, arena o roca que nunca cuya vegetación circundante nunca es mayor 10%.
13	Áreas urbanas y construcciones	Suelos cubiertos por edificios, casas u otras estructuras construidas por el hombre.



Mapa 2. Distribución de bosques remanentes (categoría 2, 5 y 6) en el Chocó Biogeográfico.



Mapa 3. Áreas protegidas de Colombia y Ecuador.

4.3. Selección de variables

Para la modelación de nicho ecológico lo ideal es utilizar variables que se sepa están incidiendo en la ecología de las especies (Austin, 2007). Sin embargo, cuando se está modelando la distribución de un gran grupo de especies o no se conocen sus requerimientos, los autores optan por utilizar todas las variables disponibles, con la esperanza de que el método computacional sea capaz por si solo de identificar las mejores (Lira et al., 2012), reducir la generalización de modelos y ceñir la distribución en los mapas predictivos finales. En general se debe evitar utilizar mucho más de diez variables, o más variables que puntos de ocurrencias (Lira et al., 2012).

El PCA es una técnica estadística de síntesis de la información o reducción de las dimensiones (número de variables), perdiendo la menor cantidad de información posible. Los nuevos componentes principales o factores serán una combinación lineal de las variables originales, y además serán independientes entre sí (Terrádez Gurrea, 2001). Se corrió un PCA en el programa R (R Development Core Team, 2008) para reducir el número de variables bioclimáticas y seleccionar aquellas que aportaban más a la distribución de las especies focales.

4.4. Generación de Modelos

Para ambas especies se utilizó 70% de los registros como datos de entrenamiento ('training data') y 30% como datos de validación ('test data'). Para correr Maxent aplicamos un límite

de convergencia de 0.01, un máximo de 1000 repeticiones y 0.5 de prevalencia. Se utilizó la salida acumulativa, con creación de curvas de respuesta y estadísticos Jackknife.

Para la validación de cada modelo, el algoritmo Maxent genera la curva ROC (“Receiver Operating Characteristic”) que describe la tasa de identificación correcta de presencias (“sensitivity”) contra la tasa de falsas alarmas (“1-specificity”). Esta a su vez da origen al estadístico llamado AUC (“Area Under the Curve”); un buen clasificador AUC tiene un área muy cercana a 1 (Lira et al., 2012).

En GARP usamos los valores que han demostrado tener el mejor desempeño (Anderson, Lew, & Peterson, 2003): se generaron 100 modelos para cada especie, con un límite de convergencia de 0.01 y un máximo de 1000 repeticiones; se retuvieron los modelos con < 10% de error de omisión y después se eliminaron aquellos que caían por fuera del 50% de la distribución de error de comisión. Los mejores 10 modelos (‘best subset’) fueron retenidos y sumados con el ArcToolbox *Spatial Analyst > Map Algebra > Raster calculator*.

Para la validación e interpretación de los modelos es deseable identificar las áreas ‘adecuadas’ e ‘inadecuadas’ para la especie asignando un umbral de decisión, por encima del cual la salida del modelo considerara que es una predicción de presencia (Pearson, Dawson, & Liu, 2004). En este caso utilizamos una aproximación liberal que rechaza los valores predichos por debajo del 10% (Pearson et al., 2007), para Maxent este umbral sería de T10 y para GARP de T1.

4.5. Generación de Mapas

Para el manejo y modificación de la información geográfica, y la generación de mapas se utilizó el programa ESRI® ArcGIS 10. El sistema de coordenadas utilizado fue el Sistema Geodésico Mundial (WGS1984) con la proyección de Esfera Auxiliar de Mercator (Figura 3); en el caso de los archivos raster se estableció una resolución espacial de 1 km² usando el método de remuestreo bilinear, que es el más adecuado para superficies continuas (Phillips et al., 2006). Adicional a las herramientas ya mencionadas se utilizaron también el ArcToolbox *Conversion > From Raster > Raster to ASCII* para convertir los raster a formato ASCII, requeridos para el ENM; con el *Spatial Analyst > Extraction > Extract Multi Values to Points* se generó una base de datos con los valores de las variables en cada uno de los puntos de registro para el PCA; y se usó *Analysis > Extract > Clip* para optimizar los modelos según los límites altitudinales y generar los mapas de distribución remanentes y de estado de conservación.

5. RESULTADOS

5.1. Registros y Localidades

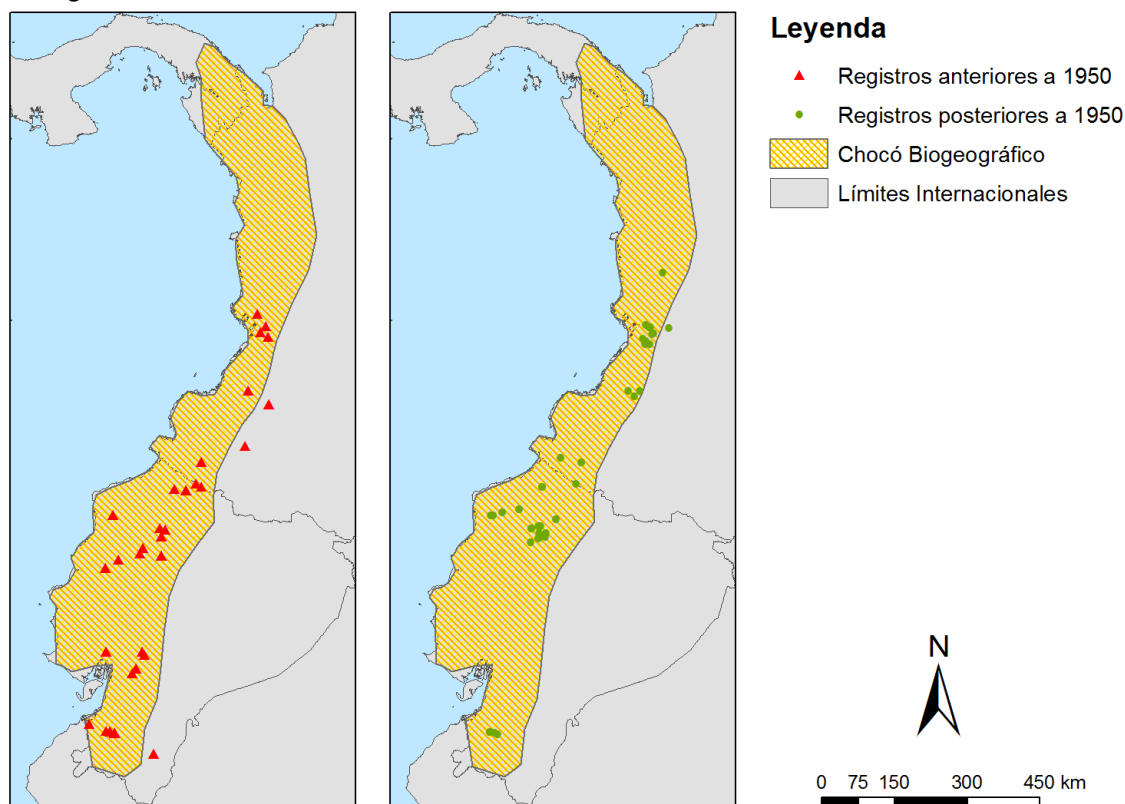
Se catalogaron como registros históricos todos aquellos anteriores a 1950, a partir de este año se consideraron como registros actuales. De los 238 registros obtenidos para el Paragüero del Pacífico, 63 son registros históricos, 33 de ellos no presentan información geográfica y los 30 restantes pertenecen a 29 localidades a lo largo del Chocó Biogeográfico desde el departamento del Valle del Cauca en Colombia hasta la provincia de Zamora al sur de Ecuador. Aunque geográficamente algunos de estos registros se encuentran por fuera del área de estudio, estas localidades están situadas en áreas donde la cordillera presenta las alturas más bajas, lo que podría permitir el paso de especies de una vertiente a otra (Mapa 4).

Los 143 registros restantes están distribuidos temporalmente entre 1950 y 2012 en 31 localidades. La distribución hacía el sur se conserva con algunos registros en la provincia El Oro en Ecuador, mientras hacía el norte se amplía levemente la distribución hacía el departamento de Chocó en Colombia. A pesar que la distribución en general es más amplia y el número de registros es considerablemente mayor, se observa una concentración de los registros hacía el centro del Chocó Biogeográfico principalmente en el departamento del Valle del Cauca en Colombia y en la provincia de Pichincha en Ecuador.

Las localidades con el mayor número de registros del Paragüero del Pacífico son la Reserva Ecológica Buenaventura en la provincia El Oro y la Estación Biológica Bilsa en la provincia de Esmeraldas, Ecuador. En Colombia, con números mucho menores, las localidades con más

registros son el Parque Nacional Natural Farallones de Cali en el departamento del Valle del Cauca y la Reserva Privada El Pangán en el departamento de Nariño.

Paragüero del Pacífico

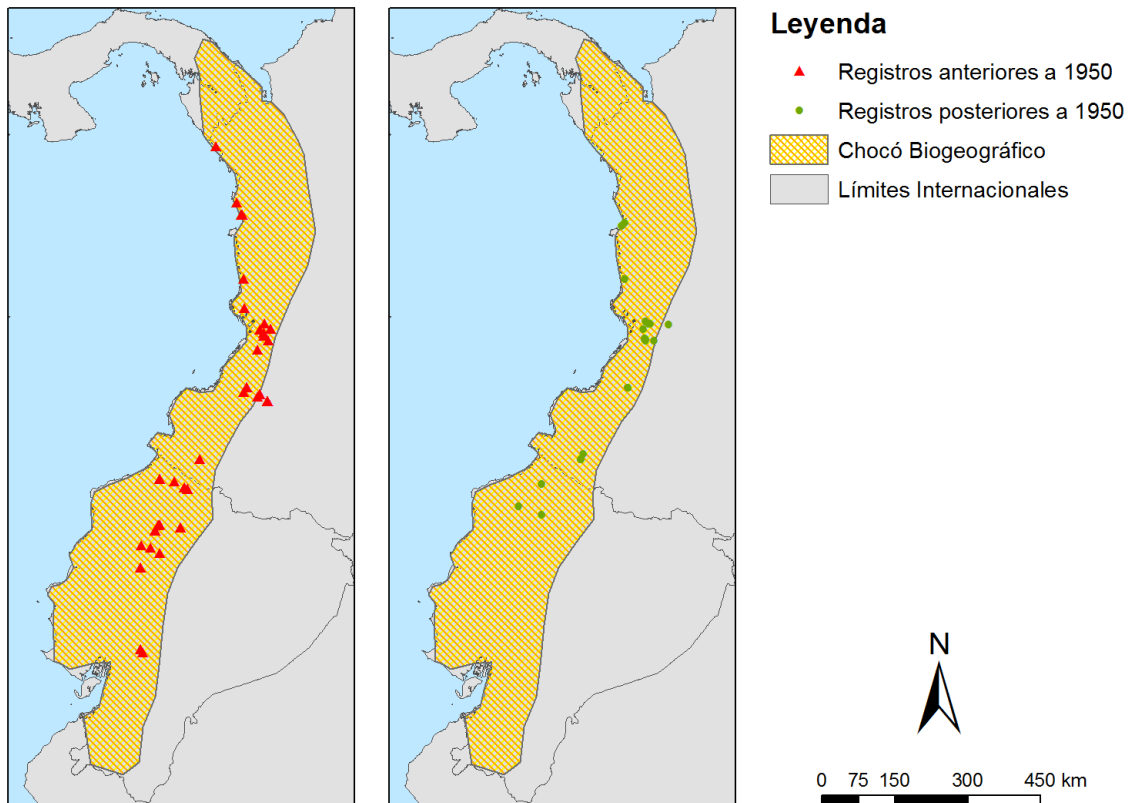


Mapa 4. Registros del Paragüero del Pacífico en el Chocó Biogeográfico antes y después de 1950.

Para la Pava del Baudó se recopilieron 140 registros en 45 localidades, de los cuales 111 son registros históricos, 23 de ellos sin información geográfica. Los 88 registros restantes están distribuidos en 32 localidades desde la Serranía del Baudó al norte de la costa Chocoana en Colombia hasta la provincia de Chimborazo en Ecuador. Estos registros se encuentran ampliamente distribuidos en el Chocó Biogeográfico, en las tierras bajas de los departamentos

de Chocó y Valle del Cauca en Colombia, y en el piedemonte de la cordillera occidental en Ecuador, en las provincias de Pichincha, Imbabura y Chimborazo (Mapa 5). A partir de 1950 se cuentan solo 29 registros en 16 localidades, desde Nuquí en Chocó hasta la Reserva Los Cedros en Imbabura, Ecuador. Los registros actuales muestran una reducción considerable, no sola en número, sino también en área de distribución. De esta forma la distribución de la especie parece haberse reducido durante los últimos 60 años.

Pava del Baudó



Mapa 5. Registros de la Pava del Baudó en el Chocó Biogeográfico, antes y después de 1950.

Las localidades con mayor número de registros históricos de esta especie son La Costa en el departamento de Cauca y el Alto del Buey en el departamento del Chocó; los registros actuales se encuentran concentrados en el Parque Nacional Natural Farallones de Cali en el departamento del Valle del Cauca, Colombia. En Ecuador, unos pocos registros principalmente históricos se encuentran concentrados en el Santuario de Aves Milpe, en la provincia de Pichincha.

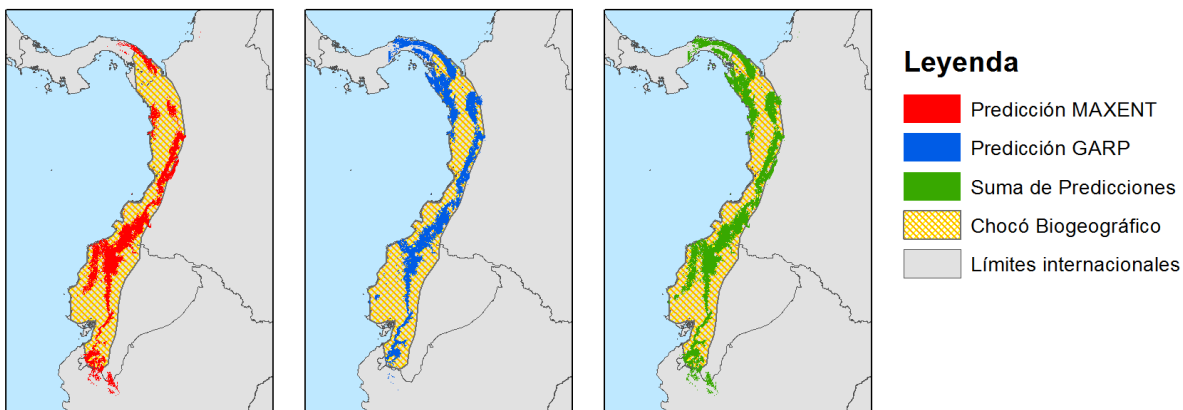
5.2. Distribución Potencial

En base a los registros actuales y las características bioclimáticas y topográficas de cada localidad de ocurrencia, los modeladores predicen la distribución potencial de las especies en toda el área de estudio. Aquí, los mapas de distribución predicha para ambas especies, fueron optimizados de acuerdo al rango altitudinal de distribución de las especies focales.

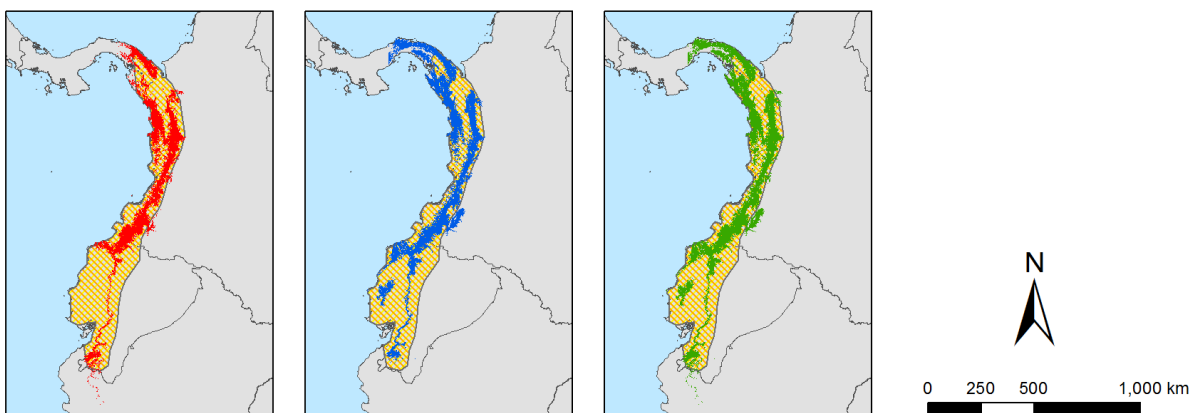
Aunque de manera general los modeladores predicen distribuciones similares para las especies, se observa que GARP es un poco más generalista y predice un área de distribución mayor. Para el Paragüero del Pacífico el área de distribución predicha por Maxent es de 69973 km², en comparación GARP predice un área de 81936 km². Dado que un gran porcentaje de las áreas predichas son similares, la suma de estas distribuciones es en total 101387 km² para el Paragüero del Pacífico en el Chocó Biogeográfico. Para la Pava del Baudó las predicciones son levemente mayores, de acuerdo con Maxent la especie podría encontrarse en unos 75477 km² a lo largo de toda el área de estudio, mientras que GARP estima unos 98389 km² de

extensión para esta especie. La suma de las distribuciones predichas sugiere un área de distribución de 107199 km² para la Pava del Baudó en todo el Chocó Biogeográfico.

Paragüero del Pacífico



Pava del Baudó



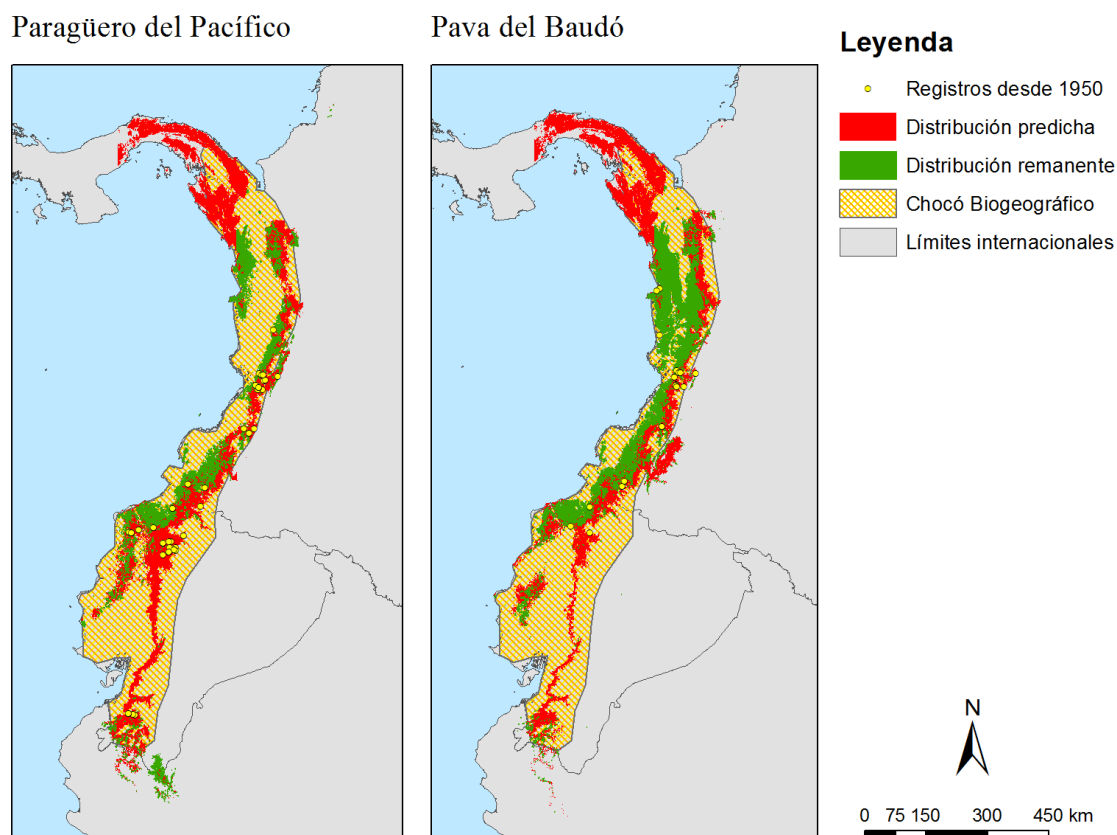
Mapa 6. Distribución predicha por los modeladores Maxent y Garp para ambas especies focales, y la suma de ambos modelos.

Según las predicciones (Mapa 6), el Paragüero del Pacífico se encuentra en los piedemontes y laderas de la Serranía del Darién y la Serranía del Sapo en límites de Panamá y Colombia; la Serranía del Baudó en el norte del Chocó; a lo largo de la cordillera Occidental en Colombia y

Ecuador; y en las montañas de Chindul y Mache en la costa de Ecuador. La distribución de la Pava del Baudó es muy similar, a excepción de la costa en Ecuador, donde las predicciones sugieren que la especie está sólo al sur, en la cordillera de Colonche en la provincia de Guayas.

Por otra parte, la distribución remanente de las especies fue generada en base a la distribución predicha y la cobertura de bosque. El área de distribución remanente para el Paragüero del Pacífico es 17% del área total de distribución predicha, alrededor de 18000 km². Para la Pava del Baudó es la distribución remanente es del 27%, cerca de unos 29000 km². Estos valores son bajos si consideramos que las especies focales prefieren el interior de los bosques y requieren de extensiones continuas en las cuales puedan desplazarse, alimentarse y reproducirse.

Las áreas de distribución remanente están situadas principalmente a bajas alturas en el occidente del Chocó Biogeográfico, mientras que en las partes más altas de la cordillera Occidental los bosques son escasos (Mapa 7). Se observa que algunos de los registros caen dentro de estas áreas remanentes, pero muchos otros, principalmente registros del Paragüero del Pacífico en Ecuador están en áreas sin bosque, en la provincia de Pichincha. Debido al conocimiento preliminar que se tiene de las especies focales, en relación con su área de distribución, se obviaron los bosques de la parte norte, en el límite de Panamá y Colombia. De esta forma la distribución remanente queda confinada al Chocó Biogeográfico en Colombia y Ecuador.



Mapa 7. Distribución predicha y remanente de las especies focales en el Chocó Biogeográfico.

5.3. Factores que afectan la distribución

En un PCA los componentes son una combinación de las variables originales y se utilizan los pesos de cada variable para determinar cuáles están aportando más a cada componente. Los pesos o cargas ('loading' o 'weights' en inglés) de las variables que definen un componente son y se interpretan como los coeficientes de correlación de cada variable con cada componente. En general, un coeficiente de 0.3 es representativo de un componente y a mayor número de muestras, los coeficientes pueden ser menores; sin embargo, para PCA se

recomienda trabajar con coeficientes mayores a 0.4 (Morales Vallejo, 2011). De acuerdo con esto, se consideraron sólo las variables bioclimáticas que tuvieran un coeficiente mayor a 0.4 (positivo o negativo) con cualquiera de los componentes principales.

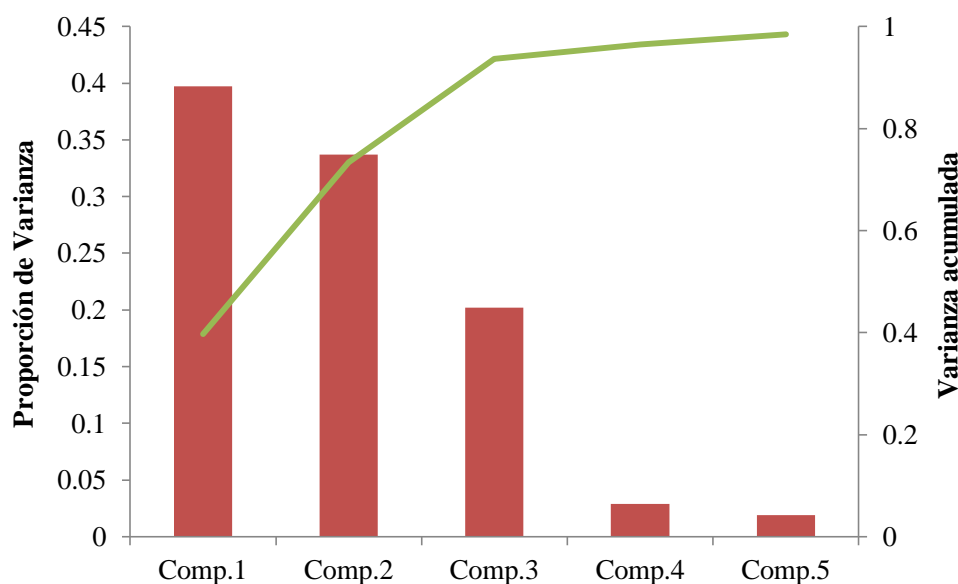


Figura 4. Proporción de varianza (barras) y varianza acumulada (línea) de cada componente en el PCA del Paragüero del Pacífico.

En el PCA realizado para el Paragüero del Pacífico los primeros cinco componentes explican el 98.4% de la varianza (Figura 4). Estos componentes están correlacionados con siete variables bioclimáticas (Tabla 3) que afectan en mayor proporción la distribución potencial de la especie. Así pues, se encontró que las variables de temperatura estacional (bio4), la precipitación del mes más seco (bio14) y la precipitación del mes más cálido (bio18) afectan positivamente la distribución del Paragüero del Pacífico; mientras que las variables de isothermalidad (bio3), el rango de temperatura anual (bio7), la precipitación estacional (bio15),

la precipitación del trimestre más frío (bio19) afectan la distribución de esta especie negativamente.

Tabla 3. Pesos de las variables sobre los componentes en el PCA del Paragüero del Pacífico.

Variables ambientales	Componentes				
	1	2	3	4	5
bio1	0.351				
bio2	-0.209	-0.222	-0.273	-0.307	-0.179
bio3	-0.154	-0.421	-0.285	0.419	-0.435
bio4	0.183	0.404	0.262	-0.203	-0.182
bio5	0.319	-0.150	-0.120	-0.120	-0.220
bio6	0.363				
bio7	-0.255	-0.205	-0.149	-0.257	-0.483
bio8	0.354	-0.133	0.129	-0.133	
bio9	0.342	-0.136	0.205		
bio10	0.357				
bio11	0.346	-0.102			
bio12	0.378	-0.119	-0.165	0.120	0.174
bio13	0.366	0.115	-0.269	-0.207	-0.216
bio14	0.306	-0.306	0.127	0.412	-0.108
bio15	-0.242	0.339	-0.492	-0.402	0.525
bio16	0.357	0.143	-0.350	-0.214	-0.155
bio17	0.314	-0.295	0.111	0.154	0.420
bio18	0.317	0.217	-0.383	0.357	0.455
bio19	0.255	-0.348	0.179	-0.447	-0.314
Porcentaje de varianza	39.71	33.71	20.21	2.89	1.91
Porcentaje acumulado	39.71	73.42	93.63	96.52	98.42

En el PCA realizado para la Pava del Baudó, los primeros cinco componentes explican el 99% de la varianza (Figura 5). Estos componentes están correlacionados con seis variables bioclimáticas (Tabla 4) que afectan la distribución potencial de la especie. Se encontró que el rango de temperatura anual (bio7), la precipitación estacional (bio15) y la precipitación del trimestre más frío (bio19) afecta positivamente la distribución de la Pava del Baudó; mientras

que el rango medio diurno (bio2), la isothermalidad (bio3) y la temperatura estacional (bio4) la afectan negativamente.

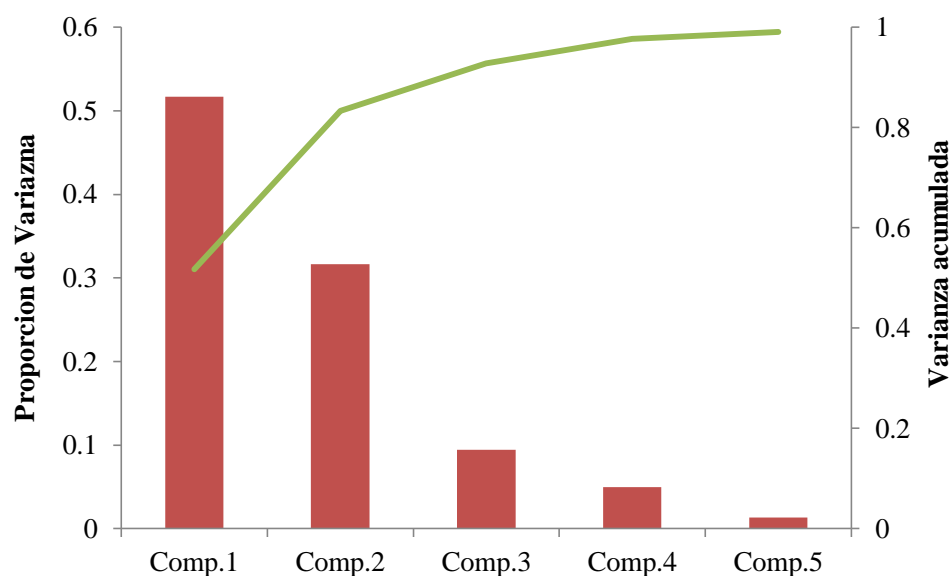


Figura 5. Proporción de varianza (barras) y varianza acumulada (línea) de cada componente en el PCA de la Pava del Baudó.

Tabla 4. Pesos de las variables sobre los componentes en el PCA de la Pava del Baudó.

Variables ambientales	Componentes				
	1	2	3	4	5
bio1	-0.237	0.270	0.161		
bio2	0.278	0.486	-0.495		
bio3	-0.117	-0.662	-0.188	0.339	-0.142
bio4	0.292	0.406	-0.303	-0.165	-0.735
bio5	-0.176	0.311	0.321	-0.122	0.217
bio6	-0.265	0.226			
bio7	0.269	0.177	0.494	-0.207	
bio8	-0.245	0.258	-0.107	0.195	0.152
bio9	-0.232	0.272	0.151	-0.174	-0.144
bio10	-0.235	0.274	0.120		
bio11	-0.246	0.257	0.107		

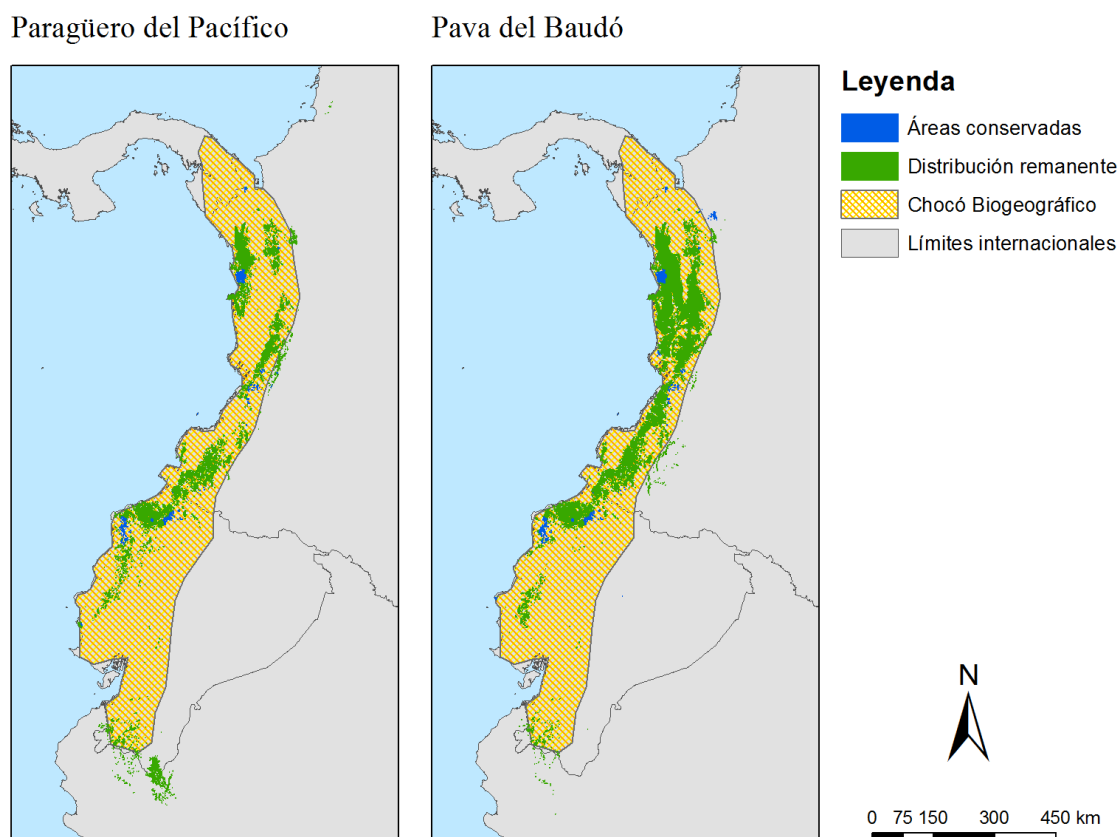
Tabla 4 (continuación). Pesos de las variables sobre los componentes en el PCA de la Pava del Baudó.

Variables ambientales	Componentes				
	1	2	3	4	5
bio12	-0.253	-0.236	0.129	0.104	-0.124
bio13	-0.251	-0.211	0.225	0.246	-0.203
bio14	-0.259	-0.226	-0.220	-0.193	-0.151
bio15	0.204	0.169	0.372	-0.291	0.565
bio16	-0.247	-0.214	0.247	0.244	0.283
bio17	-0.248	-0.251	-0.237	-0.228	-0.182
bio18	-0.186	-0.281	0.261	-0.141	-0.307
bio19	-0.232	-0.210	0.366	0.425	-0.386
Porcentaje de varianza	51.70	31.64	9.41	4.97	1.31
Porcentaje acumulado	51.70	83.34	92.76	97.73	99.03

5.4. Estado de Conservación

El análisis de estado de conservación de las especies está basado en la cantidad de distribución remanente que se encuentra dentro de áreas protegidas declaradas, ya sea Parques Naturales, Reservas Ecológicas o Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves AICAs. Para el Paragüero del Pacífico se encontró que solo el 11% de la distribución remanente, aproximadamente unos 1900 km², se encuentra en alguna categoría de protección nacional o internacional. Para la Pava del Baudó, el 8% de la distribución remanente de la especie está protegida, alrededor de 2400 km² (Mapa 8).

Algunas de las áreas que se encuentran a lo largo de la distribución de estas especies en Colombia son los Parques Nacionales Naturales Farallones de Cali, Munchique y Los Katíos, además de las Reservas Naturales de Pangán y el río Ñambí. En Ecuador están los Parques Naturales de Machalilla y Podocarpus, las Reservas Ecológicas de Cotacachi Cayapas y Mache Chindul, y los Refugios de Vida Silvestre La Chiquita y el Pambilar.



Mapa 8. Área de distribución remanente y áreas conservadas de las especies focales.

5.5. Intervención antropogénica

De acuerdo con los límites de distancia establecidos en la Tabla 1, se logró determinar la cantidad de área remanente que se encuentra dentro de cada nivel de riesgo (alto, medio y bajo). En este caso, los valores para ambas especies focales son muy similares. Cerca del 30% del área se encuentra en el nivel de riesgo bajo, es decir, a una distancia mayor a 10 km de centros poblados y vías principales. El mayor porcentaje de área, alrededor de un 45%, se encuentra en el riesgo medio, entre 5 y 10 km de áreas antropogénicas. Finalmente, la menor

extensión de distribución remanente se encuentra en el área de alto riesgo, es decir a menos de 5 km de centros poblados y vías principales (Figura 6).

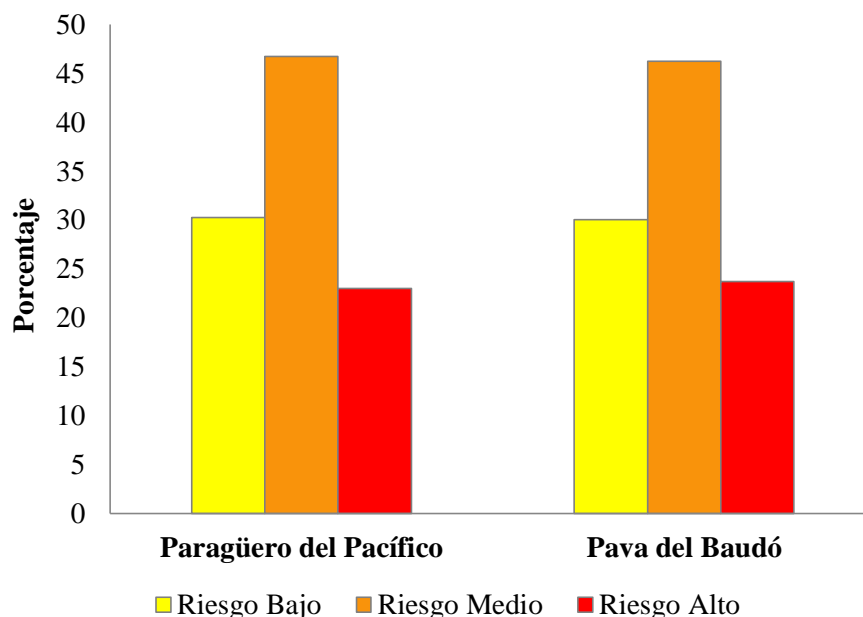
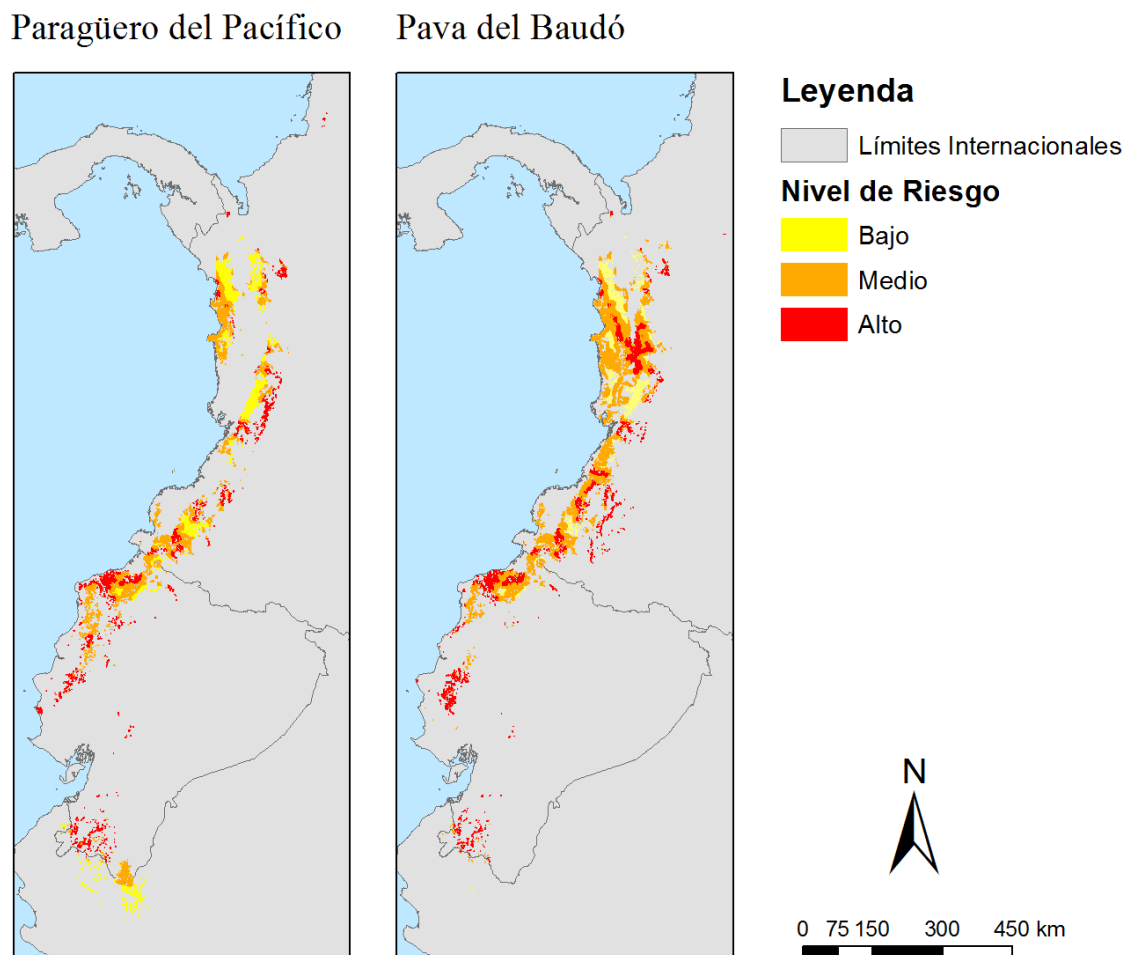


Figura 6. Porcentaje de distribución remanente clasificada de riesgo bajo, medio y alto.

Conocer la localización y la extensión de distribución remanente de las especies focales en cada nivel de riesgo, permite determinar las mejores acciones de conservación para cada una. De esta forma, las áreas con un nivel de riesgo bajo o medio, pueden ser adecuadas para el establecimiento de áreas protegidas, y así se asegura la conservación de localidades con una baja intervención humana. Por otra parte, las áreas con un nivel de riesgo alto (Mapa 9), son ideales para realizar acciones de conservación participativas, de divulgación y educación; involucrando a las comunidades locales en el proceso de protección de los ecosistemas y las especies.



Mapa 9. Distribución de área remanente de las especies focales según su nivel de riesgo.

5.6. Evaluación de los métodos

Hasta ahora se han mostrado las distribuciones obtenidas de los algoritmos modeladores para ambas especies focales y toda la información derivada de las mismas. Sin embargo, es necesario demostrar que el desempeño de los modelos es bueno, al igual que las distribuciones predichas por estos. En este sentido, para el algoritmo GARP se tomaron decisiones que

validan el modelo basados en umbrales de omisión y comisión, descritos en la sección de Métodos.

Por otra parte, Maxent genera las curvas ROC y el estadístico AUC. En este sentido un clasificador aleatorio tiene una AUC de 0.5 y un muy buen clasificador tiene un área cercana a 1 (Lira et al., 2012). La línea negra representa el clasificador con una predicción aleatoria, la línea roja presenta la predicción de los datos de entrenamiento y la línea azul de los datos de validación.

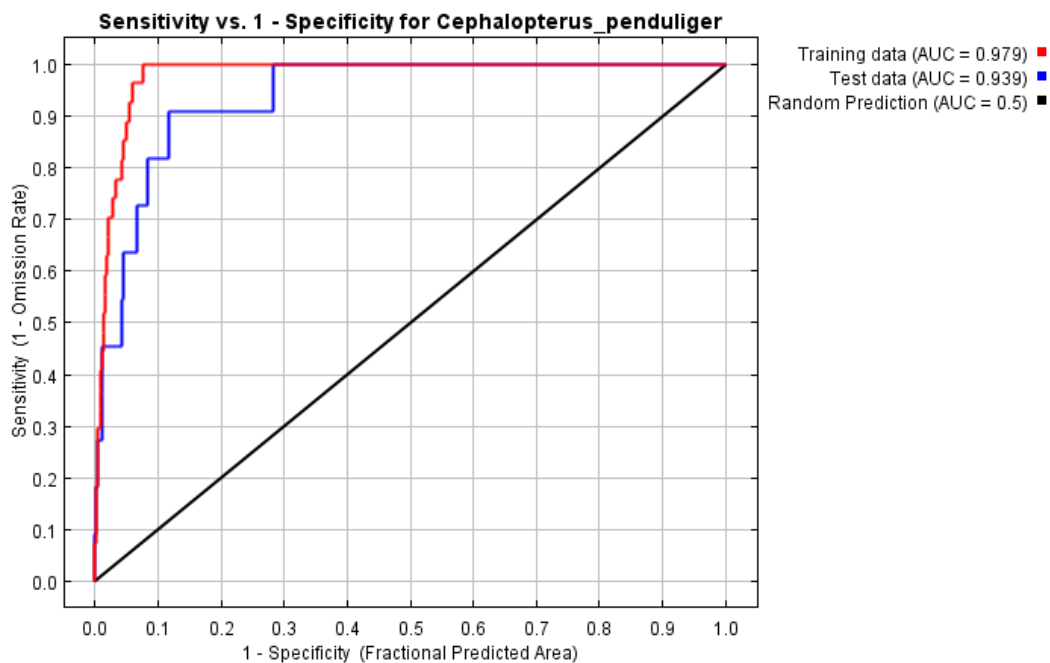


Figura 7. Curva ROC y estadístico AUC generado por Maxent para la distribución predicha del Paragüero del Pacífico.

Para el Paragüero del Pacífico (Figura 7) el estadístico AUC es de 0.97, lo que significa que el modelo generado y la distribución predicha de la especie son buenos. El valor AUC 0.93 de

los datos de validación muestra lo bien que se ajustan estos datos, al modelo generado por los datos de entrenamiento, y es igualmente útil para evaluar la distribución predicha. Para la Pava del Baudó (Figura 8), los valores de AUC son igualmente altos, aunque menores al del Paragüero. Esto indica que el modelo y el área predicha de la especie son adecuados.

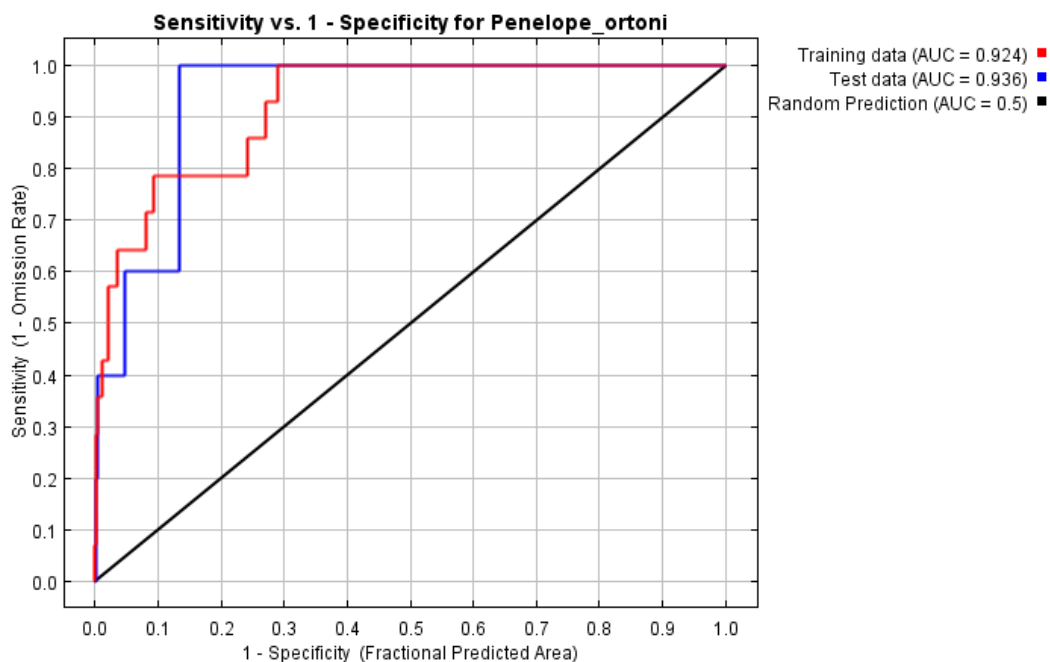


Figura 8. Curva ROC y estadístico AUC generado por Maxent para la distribución predicha de la Pava del Baudó.

6. DISCUSION

6.1. Distribución y conservación de las especies focales

Conocer y mapear la distribución de las especies ha sido un objetivo de la ecología desde el principio. La evolución de la tecnología y el desarrollo de herramientas como los SIG y los ENM han facilitado esta labor. Una gran cantidad de estudios relacionados se han desarrollado en todo el mundo durante las últimas décadas, con una gran variedad de grupos biológicos: anfibios y reptiles (Terribile, Diniz-Filho, & De Marco Jr., 2010; Urbina-Cardona & Castro, 2009), mamíferos (Badgley & Fox, 2000; Illoldi, Linaje, & Sánchez-Cordero, 2002; Papeş & Gaubert, 2007; Torres & Jayat, 2010) y aves (Godown & Peterson, 2000; Marini, Barbet-Massin, Lopes, & Jiguet, 2010; Tsoar et al., 2007; Vega Rivera et al., 2008, 2010).

Países como México, España y Estados Unidos están a la vanguardia del tema. En México la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad CONABIO desarrolló el proyecto “Mapas de las aves de México basados en WWW” donde se generó la distribución potencial de más de 940 especies de aves presentes en ese país. Esta información se encuentra disponible en su página web (<http://www.conabio.gob.mx>) y puede ser descargada en diferentes formatos, que incluye GeoTIFF y KML. En España existe una corriente muy fuerte de trabajo con SIG y se pueden encontrar estudios de distribución de plantas (García Mateo, 2008), insectos (Lobo, Verdú, & Numa, 2006), aves (Albarrán, 2005; Lenton, Fa, & Perez del Val, 2000) y mamíferos (Bolívar Cimé, 2009). Finalmente, uno de los trabajos más completos con aves amenazadas se encuentran en Estados Unidos (Godown & Peterson, 2000) donde generó la distribución potencial de 33 especies en la costa de California.

La distribución predicha para las dos especies focales en este estudio, es similar a lo largo del Chocó Biogeográfico; sin embargo la Pava del Baudó tiene una extensión mayor que la del Paragüero del Pacífico, a pesar que presenta un menor número de registros. Esto es debido a que un mayor número de puntos de ocurrencia ajustan el modelo de mejor manera. Para especies comunes con un gran número de puntos de ocurrencia, se recomienda usar menos de 200 registros pues el modelo podría resultar “sobreajustado” (Lira et al., 2012), sin embargo para especies amenazadas o endémicas que presentan poco registros es necesario utilizar todos aquellos disponibles. Cada registro georreferenciado aporta información valiosa relacionada con los requerimientos ambientales de la especie (Pearson & Dawson, 2003).

En las distribuciones predichas por los modelos existen muchas áreas, principalmente al norte y en las tierras más bajas, donde las especies focales no han sido registradas con anterioridad. Para el Paragüero del Pacífico la localidad límite es San José del Palmar en el departamento del Chocó; toda la distribución predicha hacía el norte son áreas potenciales que deberían ser exploradas para determinar si la especie se encuentra o no en estas localidades. Para la Pava del Baudó la distribución predicha se extiende hasta la Serranía del Baudó en límites con Panamá donde la especie ha sido registrada históricamente. Sin embargo, la reducción en el número de localidades donde esta especie ha sido observada los últimos 50 años, podría estar reflejando las áreas con mayor presión antropogénica.

Se encontró también que la distribución remanente de las especies está confinada a las partes más bajas y que los bosques en las partes altas de los Andes han desaparecido casi por completo. Esto debido a que en esta área se encuentra un gran número de centros poblados tanto en Colombia como en Ecuador. Se estima que en la década de 1980 la tasa promedio

anual de deforestación en los bosques de montaña de América tropical fue de 1.2% (Whitmore, 1997), lo que resultó en la creación de paisajes fragmentados a lo largo de los Andes, modificando las condiciones físicas y ambientales del paisaje, y generando la extinción local de muchas especies de aves (Kattan et al., 1994; Kattan, 2002; Renjifo, 1999).

Durante la misma década, se perdieron cerca de 508000 km² en los bosques húmedos de tierras bajas, con una tasa de deforestación anual de 0.75% (Whitmore, 1997). En el Chocó Biogeográfico la tasa de deforestación entre 1990 y 2000 fue de 2.5% con una pérdida anual de 250 km² de bosque. El mayor porcentaje de área pérdida se presentó en el departamento de Nariño al sur de Colombia y la provincia de Esmeraldas en Ecuador (Birdlife Internacional, 2012b; Echeverry D. & Harper, 2009; Salaman, 1994). En Ecuador las áreas de deterioro son más notorias pues este país alberga una mayor población en la región Pacífica, en contraste con Colombia donde hay poco desarrollo socioeconómico y se conservan mejor los recursos naturales (Echeverry D. & Harper, 2009).

La fragmentación debido al aumento de la población y la expansión de las áreas urbanas y agropecuarias es una de las principales amenazas para estas especies focales (Birdlife Internacional, 2012b, 2012c; Renjifo et al., 2002). La cacería es también una amenaza, en algunos lugares de su distribución el Paragüero del Pacífico ha sido muy perseguido como alimento lo que ha causado la desaparición de poblaciones que se encontraban entre 2 a 5 km de distancia de asentamientos humanos (Birdlife Internacional, 2012b; Karubian et al., 2003). Se cree que la población del río Ñambí fue extirpada por la alta presión de cacería (Renjifo et al., 2002). Al igual que otros miembros de su familia, la Pava del Baudó es fuertemente perseguida por su carne, principalmente para subsistencia. Se tienen reportes de cacería de esta

especie en los departamentos de Nariño (Salaman, 1994) y Valle del Cauca (C. M. Wagner, com. pers.) en Colombia, e igualmente en Ecuador donde esta actividad está prohibida (Granizo et al., 2002).

Aunque el Paragüero del Pacífico es una especie principalmente de bosques, se tienen registros en áreas intervenidas, principalmente en Ecuador; esto se ve reflejado en el mapa de distribución remanente de la especie, donde un gran número de registros están concentrados en la provincia de Pichincha. Allí se han encontrado nidos y grupos de machos haciendo despliegues (“leks”) cerca de áreas con alta actividad antrópica en zonas de extracción maderera (L. F. Castillo, com. pers.). Algunos autores (Birdlife Internacional, 2012b; Karubian et al., 2003) han sugerido que la sobre-exposición a observadores de aves o turistas en estos lugares intervenidos son una amenaza para la especie. La mortalidad de un polluelo en un nido en la Reserva Sachatamia Mindo, Ecuador, podría estar relacionada con la huida de la hembra después de ser asustada por las fotografías con flash que tomaban los turistas durante el crepúsculo y que luego esta no fuera capaz de regresar (Karubian et al., 2003).

Si se considera todo lo mencionado anteriormente, se observa que las acciones de conservación y manejo en cada área son diferentes de acuerdo con sus características físicas, ambientales y sociales. Por esta razón, las salidas exploratorias, muestreos y proyectos de investigación encaminados a determinar la presencia o ausencia de las especies, su abundancia relativa, el tamaño poblacional, necesidades alimentarias y de territorio, actividades reproductivas, amenazas locales, entre muchas otras; son de suma importancia y es el primer paso, si se desean desarrollar acciones de conservación encaminadas a protección de las especies focales y sus ecosistemas. La recopilación de esta información hace parte esencial del

Plan de Manejo de Crácidos (Pavas, Pavones y Chachalacas) que existe a nivel global, y determina las acciones que deben desarrollarse para la conservación de esta familia de aves (Brooks, 2006).

En relación a los factores que afectan la distribución de las especies, se observa que muchas de estas variables bioclimáticas son derivadas de variables crudas, por ejemplo la isothermalidad (Bio3) es el índice de variabilidad de la temperatura (razón del rango diurno promedio con respecto al rango anual) multiplicado por 100, el rango de temperatura anual (Bio7) es la temperatura máxima del mes más cálido menos la temperatura mínima del mes más frío, y la precipitación estacional (Bio15) es el coeficiente de variación. A pesar de esto, podemos presumir de qué forma estas variables derivadas están afectando la distribución de las especies focales.

La distribución del Paragüero del Pacífico es afectada positivamente por la precipitación del mes más seco (Bio14) y la precipitación del mes más cálido (Bio18); mientras que la precipitación del mes más frío (Bio19) la afecta negativamente. Aunque la precipitación es la variable dominante, se observa que estas variables presentan información subyacente de la temperatura (mes más frío y mes más cálido). Esto, adicional al rango de temperatura anual (Figura 9) que afecta negativamente la distribución de la especie, sugiere que el Paragüero del Pacífico prefiere principalmente localidades con temperaturas altas y precipitaciones medias. Según la variable de temperatura estacional (Bio4), también prevalece en las áreas donde la variación de la temperatura es baja.

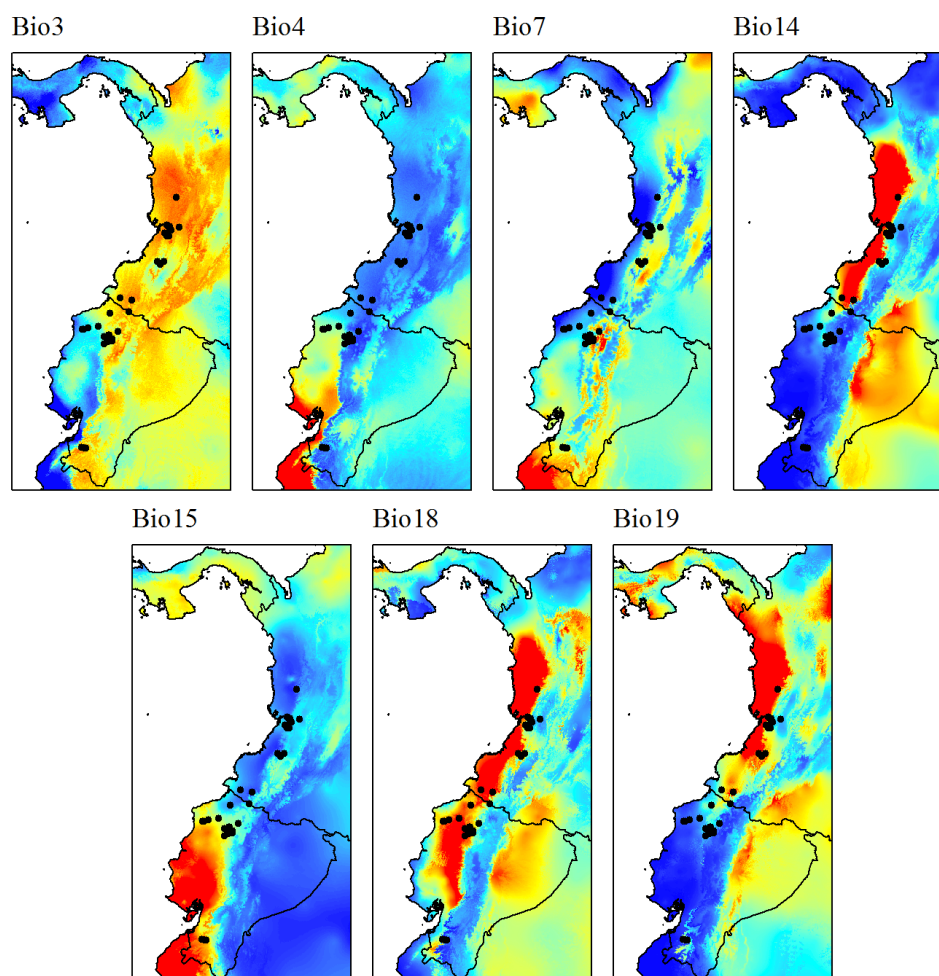


Figura 9. Factores que afectan la distribución del Paragüero del Pacífico.

Contrario a lo encontrado para el Paragüero del Pacífico, la distribución de la Pava del Baudó es afectada positivamente por el rango de temperatura anual (Bio7), con valores principalmente bajos (Figura 10) y se beneficia por la alta precipitación del mes más frío del año. La afeción negativa de las variables bioclimáticas de rango medio diario (Bio2) y temperatura estacional (Bio4), sugieren que la Pava puede preferir localidades con rango más amplio de temperatura.

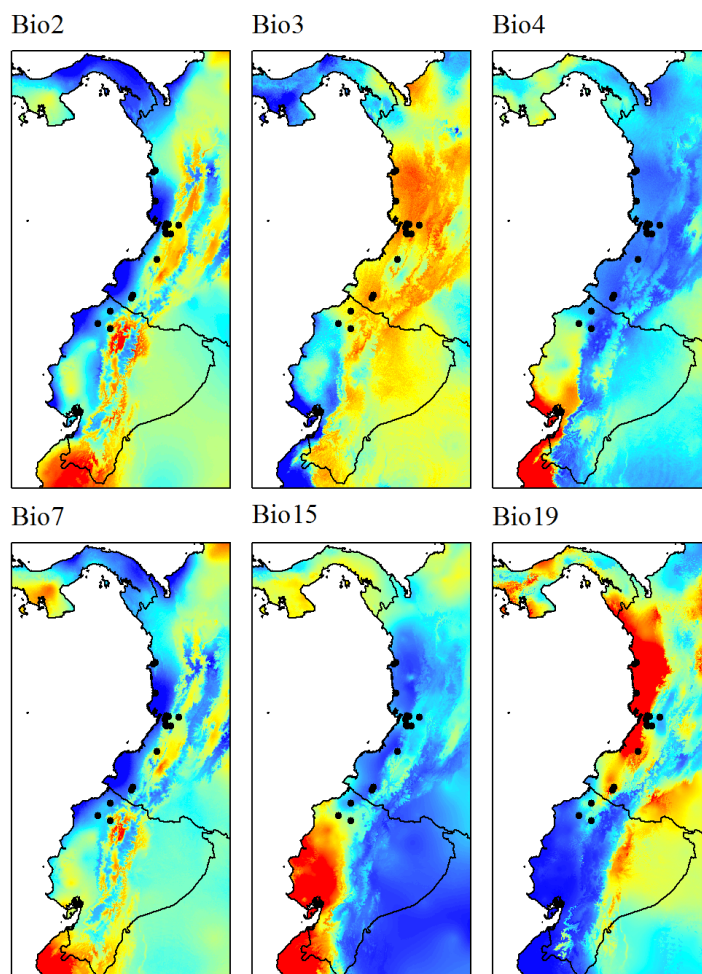


Figura 10. Factores que afectan la distribución de la Pava del Baudó.

Por otra parte, el estado de conservación de las especies, representado por la cantidad de distribución remanente en áreas protegidas a lo largo del Chocó Biogeográfico es preocupante, si se considera que cerca del 70% de esta distribución está situada en áreas de riesgo medio o alto. En la mayoría de áreas catalogadas de riesgo bajo no existen registros de la especies focales, esto sin embargo podría ser un efecto de la falta de muestreo, más que una ausencia real. A pesar del riesgo que representan, las vías y centros poblados son un punto de entrada,

facilitando el acceso y el desarrollo de estudios en estos lugares y sus alrededores. Mientras que en áreas inhóspitas, se incrementa el esfuerzo de muestreo y los costos necesarios para su estudio.

Las áreas de riesgo bajo son sitios potenciales para el establecimiento de áreas protegidas, que deben ser evaluados cuidadosamente. Si las especies focales están presentes y sus poblaciones son buenas, estas áreas serían importantísimas para su protección, gracias a la distancia que guardan a las áreas antropogénicas y su extensión total. En este sentido, Colombia presenta la mayor extensión de áreas potenciales para establecimiento de áreas protegidas, principalmente en Nariño y en límites entre los departamentos de Chocó y Valle del Cauca.

6.2. Consideraciones metodológicas

Para este estudio se tomaron en cuenta todas las consideraciones y cuidados que se debe tener para el uso de algoritmos modeladores. Los resultados finales y los estadísticos de los mismos sugieren que los datos fueron suficientes y eficaces en el modelamiento de la distribución potencial de las especies focales. Para la validación de los modelos se han utilizado una gran variedad de métodos como el estadístico AUC usado en este estudio, el AUC parcial (Lira et al., 2012) y el índice Kappa de Cohen (Jayat & Pacheco, 2006; McCarthy, Fletcher Jr., Rota, & Hutto, 2012; Tsoar et al., 2007). Sin embargo ninguno ha demostrado ser completamente efectivo en la evaluación de los modelos y su uso depende de los autores.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En Ecuador se encuentran la mayor cantidad de registros del Paragüero del Pacífico, a pesar que el área de distribución predicha y de distribución remanente es considerablemente menor que en Colombia. Los registros en áreas intervenidas muestran que a pesar de ser una especie de bosque, el Paragüero se adapta bien a áreas abiertas, pero conlleva una gran amenaza para la especie debido a la sobre-exposición y la cacería.
- La Pava del Baudó se conserva como una especie de bosque con una distribución predicha y remanente mayor que para el Paragüero. Sin embargo, la reducción en el número de registros durante la segunda mitad del siglo XX sugiere que la presión antropogénica podría estar afectándola fuertemente, debido a la fragmentación y la alta presión por cacería.
- A pesar que las especies focales comparten una gran área de su distribución y tienen localidades de registro compartidas. Se encontró que existen diferentes factores que están afectando su distribución y presencia en estas áreas. El Paragüero del Pacífico se ve beneficiado por rangos de temperatura estrecho y altas temperaturas, mientras que la Pava del Baudó es beneficiada por altas precipitaciones y rangos de temperatura más amplios.
- El uso de modeladores de nicho ecológico como GARP y Maxent, han demostrado ser, no solo una herramienta útil en la conservación de especies y ecosistemas en todo el mundo; si no también la forma más sencilla de evaluar distribuciones en una escala geográfica amplia. Sin embargo, es necesario manejar cuidadosamente la información geográfica, en términos espaciales y temporales, con el fin de obtener los mejores resultados.

- Las distribuciones predichas por Maxent tienen una extensión menor que las predichas por GARP. Dado que Maxent alcanza mejores tasas de éxito predictivo que otros algoritmos modeladores con muestras pequeñas, se esperaría que su distribución fuera más precisa, y que la generada por GARP sea un poco más generalista
- Los muestreos e investigaciones biológicas son la forma más efectiva de adquirir información sobre la ecología y distribución de las especies amenazadas. Esta información es necesaria para diseñar y tomar acciones de conservación adecuadas para cada área, de acuerdo con las características físicas, ambientales y sociales de la misma.
- Para complementar los resultados obtenidos en este estudio se recomienda realizar visitas exploratorias a las áreas donde se predice la presencia de las especies focales y en donde no han sido reportadas con anterioridad. De esta forma se puede confirmar la presencia o ausencia de las especies en estas áreas y así, mejorar los modelos y mapas de distribución finales.

8. BIBLIOGRAFIA

- Acevedo Rosas, R., & Hernández Galaviz, M. M. (2003). Biogeografía: un panorama de sus diferentes planteamientos. *Geografía y Gestión Territorial*, 2(5), 54–63.
- Albarrán, I. C. (2005). *Aplicación de modelos de nicho ecológico como instrumento para predecir la distribución potencial de algunas especies de aves en las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA's)* (p. 11).
- Anderson, R. P., Lew, D., & Peterson, A. T. (2003). Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling*, 162, 211–232. doi:10.1016/S0304-3800(02)00349-6
- Anderson, R. P., & Martínez-Meyer, E. (2004). Modeling species' geographic distributions for preliminary conservation assessments: an implementation with the spiny pocket mice (Heteromys) of Ecuador. *Biological Conservation*, 116(2), 167–179. doi:10.1016/S0006-3207(03)00187-3
- Austin, M. (2007). Species distribution models and ecological theory: A critical assessment and some possible new approaches. *Ecological Modelling*, 200(1-2), 1–19. doi:10.1016/j.ecolmodel.2006.07.005
- Badgley, C., & Fox, D. L. (2000). Ecological biogeography of North American mammals: species density and ecological structure in relation to environmental gradients. *Journal of Biogeography*, 27(6), 1437–1467. doi:10.1046/j.1365-2699.2000.00498.x
- Barker, S., Benítez, S., Baldy, J., Heredia Cisneros, D., Colorado Zuluaga, G., Cuesta, F., ... Galindo, G. (2007). Modeling the South American Range of the Cerulean Warbler. In *26th ESRI International User Conference* (pp. 1–36). San Diego, USA. doi:10.1.1.177.6200
- Barnosky, A. D., Matzke, N., Tomiya, S., Wogan, G. O. U., Swartz, B., Quental, T. B., ... Ferrer, E. a. (2011). Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature*, 471(7336), 51–7. doi:10.1038/nature09678
- Berg, K. S. (2000). Field notes on the biology of the Long-wattled Umbrellabird *Cephalopterus penduliger* in west Ecuador. *Cotinga*, 14, 26–29.
- Birdlife Internacional. (2012a). Endemic Bird Area factsheet: Chocó. Retrieved December 4, 2012, from www.birdlife.org
- Birdlife Internacional. (2012b). *Cephalopterus penduliger*. *IUCN Red List of Threatened Species*. Retrieved December 12, 2012, from www.iucnredlist.org

- Birdlife Internacional. (2012c). Penelope ortoní. *IUCN Red List of Threatened Species*. Retrieved December 12, 2012, from www.birdlife.org
- Bolívar Cimé, B. del S. (2009). *Análisis del hábitat óptimo y modelado de nicho ecológico para la conservación del Venado de Cola Blanca en el centro de Veracruz*. Instituto de Ecología, A. C.
- Brito, J. C., Acosta, A. L., Álvares, F., & Cuzin, F. (2009). Biogeography and conservation of taxa from remote regions: An application of ecological-niche based models and GIS to North-African canids. *Biological Conservation*, *142*(12), 3020–3029. doi:10.1016/j.biocon.2009.08.001
- Brooks, D. M. (2006). *Conserving Cracids : The most Threatened Family of Birds in the Americas* (p. 170). Houston, USA.
- Calderón-Leytón, J. J., Flórez Paí, C., Cabrera-Finley, A., & Rosero Mora, Y. (2011). Aves del departamento de Nariño, Colombia. *Biota Colombiana*, *12*(1), 31–116.
- Castaño-M., O., Cárdenas-A., G., Hernández-R., E., & Castro-H., F. (2004). Reptiles en el Chocó biogeográfico. In J. O. Rangel-Ch. (Ed.), *Diversidad Biótica IV. El Chocó Biogeográfico/Costa Pacífica* (pp. 599–632). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales, Conservación Internacional.
- Cavero, T., & Angulo Prato Longo, F. (2011). Health of the Critically Endangered white-winged guan *Penelope albigennis* and implications for its reintroduction and conservation in Peru. *International Journal of Galliformes Conservation*, *2*, 43–53.
- Conservación Internacional. (2012). The Biodiversity Hotspots: Tumbes-Chocó-Magdalena. Retrieved December 4, 2012, from http://www.conservation.org/where/priority_areas/hotspots/south_america/Tumbes-Choco-Magdalena/Pages/default.aspx
- Contreras Medina, R., Luna Vega, I., & Morrone, J. J. (2001). Conceptos Biogeográficos. *Elementos*, *41*, 33–37.
- Da Fonseca, G. A. B., Balmford, A., Bibby, C., Boitani, L., Corsi, F., Brooks, T. M., ... Williams, P. (2000). Following Africa's lead in setting priorities. *Nature*, *405*, 393–394.
- Devenish, C., Díaz Fernández, D. F., Clay, R. P., Davidson, I., & Yépez Zabala, I. (Eds.). (2009). *Important Bird Areas Americas - Priority sites for biodiversity conservation*. Quito, Ecuador: BirdLife International (BirdLife Conservation Series No. 16).
- Echeverry D., M. A., & Harper, G. J. (2009). Fragmentación y deforestación como indicadores del estado de los ecosistemas en el Corredor de Conservación Choco-Manabí (Colombia-Ecuador). *Recursos Naturales y Ambiente*, (58), 78–88.

- Falling Rain Genomics, I. (2010). Directory of Cities, Towns, and Regions in Colombia. Retrieved November 16, 2012, from <http://www.fallingrain.com/>
- Fierro-Calderón, E., Zamudio, J. A., & Tello, S. A. (2012). *The Baudó Guan as conservation target in Farallones National Park, Colombia* (p. 26). Cali, Colombia.
- Fierro-Calderón, K., Fierro-Calderón, E., & Tello, S. A. (2011). *Endangered Birds of Los Farallones National Park* (p. 24). Cali, Colombia.
- García Mateo, M. R. (2008). *Modelos predictivos de riqueza de diversidad vegetal. Comparación y optimización de métodos de modelado ecológico*. Universidad Complutense de Madrid.
- Gaubert, P., Papeş, M., & Peterson, A. T. (2006). Natural history collections and the conservation of poorly known taxa: Ecological niche modeling in central African rainforest genets (*Genetta* spp.). *Biological Conservation*, *130*(1), 106–117. doi:10.1016/j.biocon.2005.12.006
- GeoCo. (2011). Geographical Coordinates. Retrieved November 16, 2012, from <http://geoco.org/colombia-es.html>
- Godown, M. E., & Peterson, A. T. (2000). Preliminary distributional analysis of US endangered bird species. *Biodiversity Conservation*, *9*, 1313–1322.
- Google Inc. (2012). Google Earth. Mountain View, USA.
- Granizo, T., Pacheco, C., Ridabeneira, M. B., Guerrero, M., & Suárez, L. (Eds.). (2002). *Libro Rojo de las Aves del Ecuador*. Quito, Ecuador: Ecociencia, Conservación Internacional, SIMBIOE; Ministerio del Ambiente & UICN- Sur.
- Greeney, H. F., Kirwan, G. M., & Miller, E. T. (2012). Nesting biology of the Long-wattled Umbrellabird *Cephalopterus penduliger*. Part II: nestling provisioning. *Cotinga*, *34*, 23–27.
- Greeney, H. F., McLean, A., Búcker, A. D. L., Gelis, R. A., Cabrera, D., & Sornoza, F. (2006). Nesting biology of the Long-wattled Umbrellabird (*Cephalopterus penduliger*). Part I: incubation. *Ornitología Neotropical*, *17*, 395–401. Retrieved from <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1557-9263.2008.00153.x>
- Grinnell, J. (1917). The niche-relationships of the California Thrasher. *The Auk*, *34*, 427–433.
- Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, *135*(2-3), 147–186. doi:10.1016/S0304-3800(00)00354-9
- Halfpter, G. (1992). *La Diversidad Biológica de Iberoamérica I* (p. 204). Xalapa, México: Instituto de Ecología, A.C.

- Hansen, M., DeFries, R., Townshend, J. R. G., & Sohlberg, R. (2000). Global land cover classification at 1km resolution using a decision tree classifier. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 1331–1365.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(15), 1965–1978. doi:10.1002/joc.1276
- Hilty, S. L., & Brown, W. L. (1986). *A Guide to the Birds of Colombia* (p. 996). New Jersey, USA: Princeton University Press.
- Hoekstra, J. M., Boucher, T. M., Ricketts, T. H., & Roberts, C. (2005). Confronting a biome crisis: global disparities of habitat loss and protection. *Ecology Letters*, 8, 3–29.
- Hutchinson, G. E. (1957). Concluding Remarks. *Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology*, 22, 415–427.
- Illoldi, P., Linaje, M. Á., & Sánchez-Cordero, V. (2002). Distribución de los mamíferos terrestres en la región del Golfo de California, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Autónoma de México, Serie Zoología*, 73(2), 213–224.
- IUCN. (2012). The IUCN Red List of the Threatened Species. Retrieved November 29, 2012, from <http://www.iucnredlist.org/>
- Jahn, O., Vargas Grefa, E. E., & Schushmann, K.-L. (1999). The life history of the Long-wattled Umbrellabird *Cephalopterus penduliger* in the Andean foothills of north-west Ecuador: leks, behaviour, ecology and conservation. *Bird Conservation International*, 9, 81–94.
- Jayat, J. P., & Pacheco, S. (2006). Distribución de *Necromys lactens* y *Phyllotis osilae* (Rodentia: Cricetidae: Sigmodontinae) en el Noroeste Argentino: modelos predictivos basados en el concepto de nicho ecológico. *Mastozoología Neotropical*, 13(1), 69–88.
- Karubian, J., Carrasco, L., Cabrera, D., Cook, A., & Olivo, J. (2007). Nesting Biology of the Banded Ground-Cuckoo (*Neomorphus radiolus*). *The Wilson Journal of Ornithology*, 119(2), 221–227. doi:10.1676/06-024.1
- Karubian, J., Castañeda, G., Freile, J. F., Salazar, R. T., Santander, T., & Smith, T. B. (2003). Nesting biology of a female Long-wattled Umbrellabird *Cephalopterus penduliger* in north-western Ecuador. *Bird Conservation International*, 13(4), 351–360. doi:10.1017/S0959270903003253
- Kattan, G. H. (2002). Fragmentación: patrones y mecanismos de extinción de especies". In M. Guariguata & G. H. Kattan (Eds.), *Ecología Y Conservación De Bosques Neotropicales* (pp. 561–590). Cartago, Costa Rica.

- Kattan, G. H., Alvarez-Lopez, H., & Giraldo, M. (1994). Forest Fragmentation and Bird Extinctions: San Antonio Eighty Years Later. *Conservation Biology*, 8(1), 138–146. doi:10.1046/j.1523-1739.1994.08010138.x
- Lenton, S. M., Fa, J. E., & Perez del Val, J. (2000). A simple non-parametric GIS model for predicting species distribution: endemic birds in Bioko Island, West Africa. *Biodiversity and Conservation*, 9, 869–885.
- Leyva, P. (Ed.). (1993). *Colombia Pacífico, Tomo I*. Bogotá, Colombia: Fondo Para la Protección del Medio Ambiente “José Celestino Mutis” FEN. Retrieved from <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/faunayflora/pacific1/indice.htm>
- Lira, A., Barve, N., Soberón, J., & Peterson, A. T. (2012). Nichos y área de distribución. Retrieved December 12, 2012, from <http://nicho.conabio.gob.mx>
- Lobo, J. M., Verdú, J. R., & Numa, C. (2006). Environmental and geographical factors affecting the Iberian distribution of flightless *Jekelius* species (Coleoptera: Geotrupidae). *Diversity and Distributions*, 12(2), 179–188. doi:10.1111/j.1366-9516.2005.00214.x
- Loreau, M., Oteng-Yeboah, A., Arroyo, M. T. K., Babin, D., Barbault, R., & Donoghue, M. (2006). Diversity without representation. *Nature*, 442, 245–246.
- Lynch, J. D., & Suárez-Mayorga, A. (2004). Anfíbios en el Chocó biogeográfico. In J. O. Rangel-Ch. (Ed.), *Diversidad Biótica IV. El Chocó Biogeográfico/Costa Pacífica* (pp. 633–668). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales, Conservación Internacional.
- Marini, M. Â., Barbet-Massin, M., Lopes, L. E., & Jiguet, F. (2010). Predicting the occurrence of rare Brazilian birds with species distribution models. *Journal of Ornithology*, 151(4), 857–866. doi:10.1007/s10336-010-0523-y
- McCarthy, K. P., Fletcher Jr., R. J., Rota, C. T., & Hutto, R. L. (2012). Predicting species distributions from samples collected along roadsides. *Conservation biology*, 26(1), 68–77. doi:10.1111/j.1523-1739.2011.01754.x
- Morales Vallejo, P. (2011). El Análisis Factorial en la construcción e interpretación de tests, escalas y cuestionarios. Madrid, España: Universidad Pontificia Comillas. Retrieved from <http://www.upcomillas.es/personal/peter/investigacion/AnalisisFactorial.pdf>
- Morrone, J. J., Espinosa Organista, D., & Llorente-Bousquets, J. (1996). *Manual de Biogeografía Histórica* (p. 155). México, D. F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mota-Vargas, C., & Rojas-Soto, O. R. (2012). The importance of defining the geographic distribution of species for conservation: The case of the Bearded Wood-Partridge. *Journal for Nature Conservation*, 20(1), 10–17. doi:10.1016/j.jnc.2011.07.002

- Myers, A. A., & Giller, P. S. (1988). Process, pattern and scale in biogeography. In A. A. Myers & P. S. Giller (Eds.), *Analytical Biogeography: An Integrated Approach To the Study of Animal and Plant Distributions* (pp. 3–10). London: Chapman and Hall.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, *403*(6772), 853–858. doi:10.1038/35002501
- Palacios, P. A. (2012). Biogeografía. Retrieved from <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/leticia/80123/lecciones/cap1/leccion0.html>
- Papeş, M., & Gaubert, P. (2007). Modelling ecological niches from low numbers of occurrences: assessment of the conservation status of poorly known viverrids (Mammalia, Carnivora) across two continents. *Diversity and Distributions*, *13*(6), 890–902. doi:10.1111/j.1472-4642.2007.00392.x
- Paynter Jr., R. A. (1993). *Ornithological Gazetteer of Ecuador* (Second edi., p. 268). Cambridge, Massachusetts: Harvard University. doi:<http://dx.doi.org/10.5962/bhl.title.14626>
- Paynter Jr., R. A. (1997). *Ornithological Gazetteer of Colombia* (Second edi., p. 537). Cambridge, Massachusetts: Harvard University. doi:<http://dx.doi.org/10.5962/bhl.title.14638>
- Pearson, R. G., & Dawson, T. P. (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, *12*(5), 361–371. doi:10.1046/j.1466-822X.2003.00042.x
- Pearson, R. G., Dawson, T. P., & Liu, C. (2004). Modelling species distributions in Britain: a hierarchical integration of climate and land-cover data. *Ecography*, *27*(3), 285–298. doi:10.1111/j.0906-7590.2004.03740.x
- Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M., & Townsend Peterson, A. (2007). Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, *34*(1), 102–117. doi:10.1111/j.1365-2699.2006.01594.x
- Peterson, A. T. (2001). Predicting species' geographic distribution based on ecological niche modeling. *The Condor*, 599–605.
- Peterson, A. T., Sánchez-Cordero, V., Soberón, J., Bartley, J., Buddemeier, R. W., & Navarro-Sigüenza, A. G. (2001). Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae. *Ecological Modelling*, *144*, 21–30.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, *190*(3-4), 231–259. doi:10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026

- Pimm, S. L., Russel, G. J., Gittleman, J. L., & Brooks, T. M. (1995). The future of biodiversity. *Science*, 269, 347–350.
- R Development Core Team. (2008). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <http://www.r-project.org/>
- Ramírez Mella, J. (2007). Principios de Biogeografía. *Revista de Investigación 360°*, 3. Retrieved from <http://cremc.ponce.inter.edu/3raedicion/3raedicion.htm>
- Remsen Jr., J. V., Cadena, C. D., Jaramillo, A., Nores, M., Pacheco, J. F., Pérez-Emán, J., ... Zimmer, K. J. (2012). A classification of the bird species of South America. Retrieved November 29, 2012, from <http://www.museum.lsu.edu/~Remsen/SACCBaseline.html>
- Renjifo, L. M. (1999). Composition Changes in a Subandean Avifauna after Long-Term Forest Fragmentation. *Conservation Biology*, 13(5), 1124–1139. doi:10.1046/j.1523-1739.1999.98311.x
- Renjifo, L. M., Franco-Maya, A. M., Amaya-Espinel, J. D., Kattan, G. H., & López-Lanús, B. (2002). *Libro Rojo de las Aves de Colombia* (p. 562). Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Ridgely, R., & Greenfield, P. (2001). *The Birds of Ecuador* (pp. 1–768). New York, USA: Cornell University Press.
- Salaman, P. (1994). *Surveys and Conservation Of Biodiversity In The Choco South-West Colombia* (p. 172). Cambridge, UK.
- Scott, J. M., Heglund, P. J., & Morrison, M. L. (2002). *Predicting species occurrences: issues of accuracy and scale* (p. 840). Island, Washington, D.C.: Island Press.
- Soberón, J., & Peterson, A. T. (2005). Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*, 2, 1–10. Retrieved from <https://journals.ku.edu/index.php/jbi/article/view/4/2>
- Stockwell, D., & Peters, D. (1999). The GARP modelling system: problems and solutions to automated. *International Journal of Geographical Information Science*, 13(2), 143–158.
- Strewe, R. (2000a). New distributional sightings of 28 species of birds from Dpto. Nariño, SW Colombia. *Bulletin of the British Ornithologists' Club*, 120(3), 189–195.
- Strewe, R. (2000b). Las aves y la importancia de la conservación de la Reserva Natural El Pangán, Nariño en el suroeste de Colombia. *Boletín SAO*, XI(20-21), 56–73.
- Suárez-Mayorga, Á. M., Bernal, R., & Cárdenas-López, D. (2005). *Estándar para intercambiar información sobre biodiversidad al nivel de organismos* (p. 26). Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

- Suárez-Mayorga, Á. M., Rivera-Gutiérrez, H. F., Varón-Londoño, A., & Ramón, N. A. (2005). *Estándar para la documentación de registros biológicos* (p. 64). Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Terribile, L. C., Diniz-Filho, J. a F., & De Marco Jr., P. (2010). How many studies are necessary to compare niche-based models for geographic distributions? Inductive reasoning may fail at the end. *Brazilian journal of biology = Revista brasleira de biologia*, *70*(2), 263–9. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20549059>
- Terrádez Gurrea, M. (2001). *Análisis de Componentes Principales* (pp. 1–11). Cataluña, España.
- Thorn, J. S., Nijman, V., Smith, D., & Nekaris, K. A. I. (2008). Ecological niche modelling as a technique for assessing threats and setting conservation priorities for Asian slow lorises (Primates: Nycticebus). *Diversity and Distributions*, *15*(2), 1–10. doi:10.1111/j.1472-4642.2008.00535x
- Torres, R., & Jayat, J. P. (2010). Modelos predictivos de distribución para cuatro especies de mamíferos (Cingulata, Artiodactyla y Rodentia) típicas del Chaco en Argentina. *Mastozoología Neotropical*, *17*(2), 335–352.
- Tsoar, A., Allouche, O., Steinitz, O., Rotem, D., & Kadmon, R. (2007). A comparative evaluation of presence-only methods for modelling species distribution. *Diversity and Distributions*, *13*(4), 397–405. doi:10.1111/j.1472-4642.2007.00346.x
- Urbina-Cardona, J. N. (Conservacion I., & Castro, F. (Universidad del V. (2009). Distribución de nicho ecológico actual y futuro de anfibios y reptiles exóticos: invasiones potenciales en las Corporaciones Autónomas Regionales y de desarrollo sustentable en Colombia. In *I Congreso Colombiano De Restauración Ecológica* (pp. 180–188).
- Vega Rivera, J. H., Ortega-Huerta, M. A., & Guerrero, R. (2008). Análisis de la distribución del Colorín Pecho Naranja (*Passerina leclancherii*): una especie endémica de la vertiente del Pacífico Mexicano. *Ornitología Neotropical*, (19), 265–274.
- Vega Rivera, J. H., Ortega-Huerta, M. a., Sarkar, S., & Rappole, J. H. (2010). Modelling the potential winter distribution of the endangered Black-capped Vireo (*Vireo atricapilla*). *Bird Conservation International*, *21*(1), 92–106. doi:10.1017/S0959270910000365
- Whitmore, T. C. (1997). Tropical forest disturbance, disappearance and species loss. In W. F. Laurance & R. O. Bierregaard (Eds.), *Tropical Forest Remnants: Ecology, Management, and Conservation of Fragmented Communities* (pp. 3–12). Chicago: The University of Chicago Press.
- Wiens, J. J., & Graham, C. H. (2005). Niche Conservatism: Integrating Evolution, Ecology, and Conservation Biology. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, *36*(1), 519–539. doi:10.1146/annurev.ecolsys.36.102803.095431

WWF. (2012). Priority places: Chocó-Darién. Retrieved November 15, 2012, from http://wwf.panda.org/what_we_do/where_we_work/choco_darien/

Álvarez, E. O., Aguirre, L. M., Castro, G. S., & Guzmán Victoria, J. C. (2009). *El Chocó Biogeográfico de Colombia*. Cali, Colombia: Banco de Occidente.

ANEXO A. Estructura de la base de datos.

Nombre del atributo	Descripción
<i>ID_BD</i>	Número secuencial de los registros
Referente de clasificación	
<i>Reino</i>	Siguiendo (IUCN, 2012)
<i>Phyllum</i>	Siguiendo (IUCN, 2012)
<i>Clase</i>	Siguiendo (IUCN, 2012)
<i>Orden</i>	Siguiendo (IUCN, 2012)
<i>Familia</i>	Siguiendo (Remsen Jr. et al., 2012)
<i>Género</i>	Siguiendo (Remsen Jr. et al., 2012)
<i>Epíteto específico</i>	Siguiendo (Remsen Jr. et al., 2012)
<i>Autor del nombre científico</i>	Siguiendo (Remsen Jr. et al., 2012)
<i>Especie</i>	Siguiendo (Remsen Jr. et al., 2012)
<i>Nombre común en español</i>	Siguiendo (Hilty & Brown, 1986)
<i>Nombre común en inglés</i>	Siguiendo (Remsen Jr. et al., 2012)
Referente espacial	
<i>País</i>	Nombre del País
<i>Subdivisión política</i>	Nombre del Departamento, Estado o Provincia
<i>Municipio</i>	Nombre del Municipio o Ciudad
<i>Localidad</i>	Información específica de la localidad del registro. Nombre del corregimiento, la vereda, el río, Reserva, etc
<i>Latitud</i>	Coordenadas decimales. Distancia en grados desde la línea del Ecuador
<i>Longitud</i>	Coordenadas decimales. Distancia en grados desde el meridiano de Greenwich
<i>Dirección Latitud</i>	Orientación Norte (N) o Sur (S)
<i>grados</i>	Coordenadas sexagesimales. Unidades en grados de la latitud
<i>minutos</i>	Coordenadas sexagesimales. Fracciones de grado de latitud
<i>segundos</i>	Coordenadas sexagesimales. Fracciones de minuto de la latitud
<i>Dirección Longitud</i>	Orientación Este (E) u Oeste (W)
<i>grados</i>	Coordenadas sexagesimales. Unidades en grados de la longitud
<i>minutos</i>	Coordenadas sexagesimales. Fracciones de grado de longitud
<i>segundos</i>	Coordenadas sexagesimales. Fracciones de minuto de la longitud
<i>Precisión</i>	Precisión de las coordenadas: <ol style="list-style-type: none"> 1. Datos muy precisos, citados en las fuentes directas. 2. Precisos, usando gaceteros (Paynter Jr., 1993, 1997) y otras fuentes (Falling Rain Genomics, 2010; GeoCo, 2011) 3. Precisos, otros estudios en el mismo sitio. 4. Confiables, datos de la vereda no de la localidad exacta.
<i>Altura (m)</i>	Altura de la localidad o rango de altura del área.

Nombre del atributo	Descripción
Referente temporal	
<i>dd</i>	Día del registro
<i>mm</i>	Mes del registro (numérico: 1-12)
<i>aaaa</i>	Año del registro
Referente conceptual - Evidencia	
<i>Tipo</i>	Donde se encontró consignado el registro: Libro, Artículo, Reporte, Tesis o Boletín. Cuando el registro hacía parte de un espécimen de colección se consignó como Colecta. Si el registro se obtuvo directamente del autor (Fuente: Obs. Pers.) se consignó como Observación.
<i>Institución</i>	Solamente para colectas. Abreviación del museo donde se encuentra el espécimen.
<i>Colector</i>	Autor(es) del registro. Quién hizo la observación.
Información de la citación	
<i>Citado por</i>	Cuando el registro es citado por otros autores diferentes al Autor.
<i>Fuente</i>	Ubicación física donde se encuentran consignados los registros según el Tipo. En este caso se consideran solo cuatro fuentes: la <i>Biblioteca de la Asociación Calidris</i> donde se encontraron los artículos, reportes y libros; <i>En Línea</i> se encuentran las diferentes bases de datos de colecciones como Biomap, Ornis y GBIF; <i>DATAves</i> y <i>Comunicación Personal</i> (com. pers.) indica que los registros fueron obtenidos directamente de los autores y que la información no ha sido publicada.
<i>Autor</i>	Autor del artículo, informe, reporte o tesis. En el caso de las colectas se cita la fuente que contiene el registro.
<i>Observaciones</i>	Anotaciones originales de los registros según el autor.

ANEXO B. Variables ambientales, topográficas y antropogénicas.

Variable	Fuente	Usada en el modelo final	
		Paragüero del Pacífico	Pava del Baudó
BIO1	Temperatura media anual		
BIO2	Rango medio diurno (media mensual (temp max - temp min))		x
BIO3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) (* 100)	x	x
BIO4	Temperatura estacional (desviación estándar *100)	x	x
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido		
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío		
BIO7	Rango de temperatura anual (BIO5-BIO6)	x	x
BIO8	Temperatura media del mes más húmedo		
BIO9	Temperatura media del mes más seco		
BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido		
BIO11	Temperatura media del trimestre más frío		
BIO12	Precipitación anual		
BIO13	Precipitación del mes más húmedo		
BIO14	Precipitación del mes más seco	x	
BIO15	Precipitación estacional (Coeficiente de variación)	x	x
BIO16	Precipitación del trimestre más húmedo		
BIO17	Precipitación del trimestre más seco		
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido	x	
BIO19	Precipitación del trimestre más frío	x	x
Modelo de Elevación Digital	WorldClim	x	x
Pendiente	WorldClim		x
Aspecto	WorldClim	x	x
Carreteras principales (distancia)	DCW	x	x
Poblados (distancia)	CO: IGAC EC: GeoPortal	x	x

DCW: The Digital Chart of the World

