

Conservación

Número 18 • mayo 2013

Colombiana



©2013 Fundación ProAves • Bogotá • Colombia • ISSN 1900-1592

Distribution models & Action Plan for the
Golden-winged Warbler

Modelos de distribución y Plan de Acción
para *Vermivora chrysoptera*

Fotografía Mark Peck

Conservación Colombiana

Journal for the diffusion of biodiversity conservation activities in Colombia.

Revista de difusión de acciones de conservación de la biodiversidad en Colombia.

ISSN 1900–1592. Non–profit entity no. S0022872 – Commercial Chamber of Bogotá

ISSN 1900–1592. Entidad sin ánimo de lucro S0022872 – Cámara de Comercio de Bogotá.

Edición Mayo 2013. Publicado 31 de mayo de 2013.

Conservación Colombiana es una revista científica publicada por la Fundación ProAves, institución que tiene como misión “proteger las aves silvestres y sus hábitat en Colombia a través de la investigación, acciones de conservación puntuales y el acercamiento a la comunidad”. El propósito de la revista es divulgar las acciones de conservación que se llevan a cabo en Colombia, para avanzar en su conocimiento y en las técnicas correspondientes. El formato y tipo de los manuscritos que se publican es variado, incluyendo reportes de las actividades de conservación desarrolladas, resultados de las investigaciones y el monitoreo de especies amenazadas, proyectos de grado de estudiantes universitarios, inventarios y conteos poblacionales, planes de acción o estrategias desarrolladas para especies particulares, sitios o regiones y avances en la expansión de la red de áreas protegidas en Colombia. *Conservación Colombiana* está dirigida a un público amplio, incluyendo científicos, conservacionistas y personas en general interesadas en la conservación de las especies amenazadas de Colombia y sus hábitats.

Fundación ProAves de Colombia

www.ProAves.org

Dirección: Carrera 20 No. 36–61, La Soledad, Bogotá

Teléfonos: +57–1–2455134 / 57–1–3403239; Fax: +57–1–340 3285

Fotografía portada / Cover photograph

Imagen de un macho de Reinita Alidorada (*Vermivora chrysoptera*) especie migratoria boreal fotografiada por Mark Peck. Derechos de uso con fines no comerciales.

Editor General: Alexander Monsalve Aponte.

Equipo editorial: Thomas Donegan, Paul Salaman, Alonso Quevedo y Juan Carlos Verhelst-Montenegro

Permisos y derechos de autor

Toda reproducción parcial o total de esta obra está prohibida sin el permiso escrito de los autores y de la Fundación ProAves. *Conservación Colombiana* está cobijada por la ley colombiana de derechos de autor, Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993 y Decisión 351 de la Comisión del Acuerdo de Cartagena de 1993.

Conservación Colombiana es publicada gracias al apoyo de nuestros donantes:



Contenidos — Contents

Conservación Colombiana 18	
Spatial distribution of the (Golden-winged Warbler) in the Neotropical Region: advances in the knowledge of its current distribution and possible effects of global climate change <i>Distribución espacial de la Reinita Alidorada (Vermivora chrysoptera) en la región Neotropical: avances en el conocimiento de su distribución actual y posibles efectos del cambio climático global</i> Yojanan Lobo-y-HenriquesJC & María Margarita Arteaga	3-19
Preliminary conservation plan for the Golden-winged Warbler (<i>Vermivora chrysoptera</i>) during their non-breeding season, with emphasis on Colombia <i>Plan de conservación preliminar para la Reinita Alidorada (Vermivora chrysoptera) durante su temporada no reproductiva, con énfasis en Colombia</i> Yojanan Lobo-y-HenriquesJC	20-42
Instrucciones para autores <i>Instructions for authors.</i>	43-45

Distribución espacial de la Reinita Alidorada (*Vermivora chrysoptera*) en la región Neotropical: avances en el conocimiento de su distribución actual y posibles efectos del cambio climático global

*Spatial distribution of the Golden-winged Warbler (*Vermivora chrysoptera*) in the Neotropical Region: advances in the knowledge of its current distribution and possible effects of global climate change*

Yojanan Lobo-y-HenriquesJC & María Margarita Arteaga

Fundación ProAves, Cra. 20 #36-61, Bogotá, Colombia. Email: lobo.y.henriquesjc.yojanan@gmail.com

Abstract

The Golden-winged Warbler (*Vermivora chrysoptera*) is a species of interest for conservation because of the reduction in its population in recent years. In response, the Golden-winged Alliance modelled in 2008 its potential spatial distribution and since then has led surveys in search of the species in Latin America. In this study we used historical and new data collected in the field to improve distribution models using MaxEnt and climatic variables. Additionally, models were projected on future climate change scenarios using predictions from the HadCm3 model (scenarios A1b and B2a, years 2020 and 2050). Our Models showed better predictions

when using all bioclimatic variables from WorldClim than when using a sample of them, and exhibited the best accuracy when using all presence points available in modelling. Our future projections showed losses in more than 90% of the distribution; those changes would occur mainly in the mountains between 1,000–3,000 m. Our models may be considered as optimistic scenarios since they do not include biotic factors that may lead to more dramatic reductions. It is important to conduct new explorations in zones where our models predict potential changes and for which there is no confirmation of the species yet, as well as to use our results to feedback conservation actions towards the preservation of this species in the Neotropic.

Key words: *Vermivora chrysoptera*, Golden-winged Warbler Alliance, potential spatial distribution, MaxEnt, WorldClim, climatic change, HadCm3.

Resumen

La Reinita Alidorada (*Vermivora chrysoptera*) es una especie de interés para la conservación debido a que su población ha disminuido recientemente. Como respuesta, la Alianza Alas Doradas modeló en 2008 su distribución espacial potencial y desde entonces ha liderado inventarios en búsqueda de la especie en Latinoamérica. En este estudio usamos información histórica y nuevos datos de campo para mejorar los modelos de la distribución empleando MaxEnt y variables climáticas. Además, proyectamos los modelos bajo escenarios de cambio climático utilizando predicciones del

modelo HadCm3 (escenarios A1b y B2a, años 2020 y 2050). Nuestros resultados evidenciaron sensibilidad en el desempeño de los modelos al variar el β -multiplicador, obteniendo mejores modelos al usar valores cercanos a 1, pero no detectaron variación al cambiar los valores de prevalencia o el método de sub-muestreo. Nuestras proyecciones a futuro mostraron disminuciones en la distribución hasta de más del 90%; dichos cambios ocurrirían principalmente en las zonas de montaña entre los 1,000–3,000 m. Nuestros modelos podrían considerarse como escenarios relativamente optimistas, pues no consideran factores bióticos que pudieran hacer aún más dramática las reducciones. Es importante dirigir nuevas exploraciones en zonas donde nuestros modelos predicen a futuro cambios potenciales y en las cuales aún no se ha confirmado la presencia de la especie. Así mismo, como usar nuestros resultados para retroalimentar acciones de conservación tendientes a la preservación de esta especie en el Neotrópico.

Palabras clave: *Vermivora chrysoptera*, Alianza Alas Doradas, distribución espacial, MaxEnt, WorldClim, cambio climático, HadCm3.

Introducción

La Reinita Alidorada (*Vermivora chrysoptera*) es un ave migratoria perteneciente a la familia Parulidae, que se reproduce al sureste de Canadá y noreste de los Estados Unidos. Al iniciar el invierno en estos países, migra hacia Centroamérica y el norte de Suramérica (especialmente a través de la vertiente Caribeña), hallándose desde el sur de México y parte de Belice, y en la vertiente atlántica de Guatemala, Nicaragua, Costa Rica y Panamá, hasta la mitad noroeste de Colombia, el noroeste de Venezuela y parte del norte de Ecuador, países donde ocupa principalmente áreas de elevación media en las zonas de montaña (COSEWIC 2006; Ridgely *et al.* 2007; Botero-Delgadillo y Borrás 2010; BirdLife-International 2011; Confer *et al.* 2011). Durante su migración y estadía en el Neotrópico (septiembre-marzo) la especie es rara a poco común (Ridgely y Tudor 1989) y ocupa una amplia gama de hábitats, desde áreas en regeneración hasta bosques secundarios y bordes de bosque (BirdLife-International 2011). La Reinita Alidorada también

ha sido registrada en cafetales a la sombra (Komar 2006; Cooper 2007), hábitat que ha sido considerado como de potencial importancia para la conservación de la especie en países como Colombia, donde gran parte de los bosques dentro de su rango altitudinal han sido reemplazados por cultivos y pastos (Botero et al. 1999); La especie forrajea en búsqueda de insectos pequeños en el follaje y en hojas secas en todo el rango de estratos de la vegetación, aunque con mayor frecuencia es observada en el dosel (Ridgely y Tudor 1989; Hilty y Brown 2001).

En los últimos años, la Reinita Alidorada ha experimentado una constante disminución de su población en la porción noreste de Norteamérica (Confer et al. 2011), decreciendo anualmente cerca de 2.5% entre 1966 y 2005 (Sauer et al. 2006). En respuesta a este declive poblacional, se ha incluido la especie en las “listas de aves bajo vigilancia” de Compañeros en Vuelo (Partners-in-Flight 2011) y de la Sociedad Audubon (National Audubon Society 2011). Además, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) la ha clasificado en su lista roja como una especie casi amenazada (NT) (IUCN 2011).

El descenso poblacional de la Reinita Alidorada y otras especies migratorias Neotropicales ha recibido bastante atención en la literatura y varias causas se han argüido como responsables (Robbins et al. 1989; Hagan y Johnston 1992; DeGraaf y Rappole 1995; Finch y Martin 1995; Rappole 1995). En el caso de la Reinita Alidorada, una causa de importancia ha sido la aparición de fenotipos híbridos; que se cree han incrementado durante los últimos 150 años con el desplazamiento hacia el noroeste de la distribución de la Reinita Aliazul (*Vermivora pinus*) (Ficken y Ficken 1968; Gill y Murray 1972). Así mismo, otras causas que se considera han tenido relevancia en el declive poblacional de la especie son: la parasitación de nidos por parte del Chamón Cabecimarrón (*Molothrus ater*), la pérdida de hábitat apropiado para anidar provocada por la expansión agrícola (Confer et al. 2003; BirdLife-International 2011), e incrementos en la mortalidad durante la migración (Guevara y Paiba 2010). Por otro lado, el inminente cambio climático global, podría agravar la situación de la especie a mediano o largo plazo dado sus potenciales efectos en la fisiología y distribución de la fauna y flora.

El Grupo de Trabajo de la Reinita Alidorada (*Golden-winged Warbler Working Group*) y la Alianza Alas Doradas, bajo la coordinación de la Fundación ProAves, y con apoyo de la Fundación Nacional de Fauna y Pesca (NFWF) y el Servicio de Fauna y Pesca de los Estados Unidos (USFWS), han venido desarrollando una iniciativa a escala continental con el objetivo de estudiar la ecología de la Reinita Alidorada durante su migración y su temporada no reproductiva. Pues el conocimiento sobre la distribución geográfica de la especie y su estado poblacional es clave para el desarrollo e implementación de un plan de conservación en la región neotropical. Dicha iniciativa empezó en 2008 con la elaboración de un modelo de la distribución espacial potencial de la especie en las áreas no

reproductivas, usando el programa MaxEnt (Phillips et al. 2006) y registros históricos de la especie en combinación con variables climáticas. A partir de 2008 y hasta la fecha, se han realizado muestreos de campo en búsqueda de la especie en Colombia, Venezuela, Panamá, Costa Rica y Nicaragua durante su época no reproductiva. La información obtenida a través del primer modelo y los muestreos posteriores, han permitido mejorar el modelo potencial inicial de la distribución de la especie, lo que esperamos sea una herramienta importante en la toma de decisiones para la elaboración del plan de conservación de esta especie. Este trabajo presenta los resultados de nuevos ensayos llevados a cabo usando el programa MaxEnt en 2011, los cuales tuvieron como objetivo general mejorar el mapa de distribución geográfica potencial de la Reinita Alidorada generado en 2008, y usar los nuevos resultados para proyectar las zonas que en un futuro serían potencialmente adecuadas climáticamente para la especie bajo escenarios de cambio climático global.

Métodos

Datos y generalidades en el modelado.

Utilizamos la información sobre la distribución espacial de la Reinita Alidorada (*Vermivora chrysoptera*) compilada por la GWWA desde 2009 hasta 2011 para modelar la distribución potencial de la especie y los posibles efectos del cambio climático global. Revisamos y preparamos las bases de datos para usarlas en el programa MaxEnt (versión 3.3.3e). Para la base de datos histórica, registros hasta el año 2000, revisamos las georeferencias con el fin de detectar errores. Además, calculamos el error mínimo de las georeferencias usando la precisión de las coordenadas y las ecuaciones sugeridas por Wiecezorek et al. (2004; 2006). Usando dichas estimaciones de la incertidumbre en las georeferencias, y usando la elevación extraída para cada localidad a partir de un Modelo de Elevación Digital (DEM) a ≈ 1 km (Verhelst 2011), asignamos categorías cualitativas de incertidumbre. En los casos donde existieron las distancias desde la localidad especificada y georeferenciada, y la elevación consignada para cada registro, también se incorporó esta información en el cálculo de la incertidumbre. Las categorías fueron: 1) alta, si la incertidumbre estimada fue mayor de 5 km (> 5 km) o si la elevación extraída del DEM para la localidad superó o estuvo por debajo del rango de elevaciones consignado en la base de datos al menos 300 m; 2) media, si la incertidumbre estimada estuvo en el rango de 1.5 a 5 km (> 1.5 y ≤ 5 km); y 3) baja, si la incertidumbre estimada fue menor a 1.5 km (≤ 1.5 km). Para los ejercicios posteriores de modelado solo usamos registros con incertidumbre baja y media, y descartamos aquellos con incertidumbre alta. Por otra parte, revisamos la base de datos con los nuevos datos de campo y unificamos las coordenadas a formato decimal. En este caso las coordenadas tenían una alta precisión debido a que fueron tomadas con Sistemas de Posicionamiento Global (GPS). Dicha precisión, al segundo, está en el orden de 15–150 m aproximadamente. Luego exportamos ambas bases de datos separadamente como archivos “*.cvs” usando solamente tres columnas: especie, X

(longitud) y Y (latitud). La base de datos histórica incluyó 418 registros provenientes de 187 localidades; mientras que la nueva base de campo incorporó 236 registros provenientes de 236 localidades. Cabe resaltar que durante los ejercicios de modelado en MaxEnt usamos la opción para eliminar los registros duplicados, que es la opción predeterminada.

MaxEnt es un programa que usa conceptos de aprendizaje de inteligencia artificial y específicamente el principio de “máxima entropía” de Jaynes (2003) para modelar el hábitat que una especie puede potencialmente ocupar; usando toda la información disponible sin asumir nada de lo que no se conoce (Phillips *et al.* 2006). De esta manera, teniendo un espacio X (i.e. área de estudio) y unos atributos f que caracterizan cada punto x en X (i.e. variables medioambientales), MaxEnt estima la máxima entropía de la distribución de probabilidad p como

$H(p) = -\sum_{x \in X} p(x) \ln p(x)$, que representa la distribución más uniforme si se asume que el valor promedio calculado basado en las observaciones de un total de m puntos ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$) muestreados de X , para cada atributo f es cercano al valor esperado de la distribución teórica –

$$\tilde{p}[f_j] = \hat{p}[f_j] = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m f_j(x_i) \quad (\text{Phillips et al. 2004}).$$

Una explicación más en detalle sobre MaxEnt y sus usos en ecología puede ser hallada en Elith *et al.* 2011.

En este estudio usamos como atributos f para caracterizar el espacio X 19 variables bioclimáticas derivadas a partir de datos meteorológicos interpolados, promediados entre 1950 y 2000 – WorldClim 1.4 (Hijmans *et al.* 2005, 2011). Para realizar proyecciones de nuestros modelos a futuro usamos las mismas 19 variables producidas a partir de los ejercicios desarrollados por la cuarta versión del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático – IPCC4 (IPCC 2007) usando el modelo HadCm3 escenarios A1b y B2a para los años 2020 y 2050 (www.worldclim.org). La familia de escenarios “A1” asume un crecimiento económico rápido, así como una tendencia a la disminución en la población mundial después del 2050 y a la globalización de los mercados. De manera específica, en el escenario A1b se hace énfasis en un uso balanceado de diferentes fuentes energéticas (IPCC 2007). Por otro lado, la familia “B2”, y en particular el escenario B2a, considera un desarrollo económico menos acelerado, aunque con tendencia regional y una población mundial que continua creciendo a tasas intermedias (Nakicenovic *et al.* 2001). En otros términos, en la familia de escenarios A1 habría mayores demandas energéticas y tendencias menos amigables con el medioambiente, que se traducirían en cambios más severos en el clima en comparación a los cambios que ocurrirían bajo la familia de escenarios B2. Seleccionamos estos escenarios debido a que los mismos incorporan de manera más equilibrada los posibles cambios a futuro y no tienden a los extremos, particularmente en el caso del escenario A1b, y debido a la disponibilidad en línea de las 19 variables bioclimáticas para los mismos.

Ejercicios preliminares de sensibilidad

Para producir modelos de la distribución de la especie más ajustados y cercanos a la realidad llevamos a cabo varios ensayos preliminares. Estos ensayos evaluaron la sensibilidad de los modelos producidos bajo diferentes configuraciones; permitiendo calibrar los valores de algunos parámetros usados en el modelado. De esta manera, inicialmente, realizamos un Análisis de Componentes Principales (PCA) para las 19 variables sobre una muestra tomada al azar de 102,592 puntos de nuestra área de estudio; que se encuentra definida aproximadamente desde el centro norte de México hacia el sur hasta el norte de Chile, Argentina y Paraguay, y hacia el oriente hasta Brasil y Guyana. Este análisis nos permitió reducir el número de variables climáticas a usar durante los experimentos y así minimizar potencialmente cualquier indicio de colinearidad. Basado en este análisis decidimos usar para los ejercicios preliminares de modelado solamente las cuatro variables climáticas que explicaban la mayor proporción de la variación del total y que estaban correlacionadas de manera mínima entre ellas (anexo 1).

Usando la base de datos histórica y las variables seleccionadas (Bio3, Bio6, Bio14 y Bio18) llevamos a cabo una serie de experimentos para evaluar la sensibilidad del desempeño de los modelos a tres parámetros: β –multiplicador, técnica de sub–muestreo y prevalencia de la especie (Cuadro 1 y 2).

El β –multiplicador es una constante que regulariza las predicciones de los modelos multiplicando los parámetros calculados por el valor asignado, así un valor muy bajo (e.g. ≈ 0.01) generaría modelos bastante sobre–ajustados a los datos de entrenamiento, mientras que valores altos (e.g. ≈ 3) producirían predicciones más amplias (Phillips 2011). Por otro lado, la prevalencia de muestreo de la especie representa la frecuencia con la cual es encontrada la especie dentro de su rango; y puede ser calculada como la proporción de puntos en los cuales se detecta la presencia de la especie de un total hipotético muestreado dentro de su rango (McPherson *et al.* 2004). A partir de los resultados obtenidos en estos ejercicios decidimos utilizar un valor de β –multiplicador igual a 1, la técnica de sub–muestreo simple y una prevalencia de 0.50 para la especie para ensayos posteriores (ver resultados); coincidiendo con los valores predeterminados en MaxEnt al menos para el β –multiplicador y la prevalencia (Phillips 2011). Por otro lado, usando la base de datos histórica, realizamos un ejercicio más haciendo una comparación entre el desempeño de los modelos producidos usando solo las cuatro variables usadas en los ejercicios preliminares y el total de las variables bioclimáticas, generando nuevamente 25 réplicas en cada caso y evaluando los modelos con el 30% de la información, tal como se hizo en los ejercicios anteriores. Cabe anotar acá que el desempeño es evaluado en MaxEnt usando el Área Bajo la Curva (AUC) estimada a partir de la Curva Característica del Receptor Operante (ROC) (Phillips *et al.* 2006).

Cuadro 1. Experimentos preliminares para evaluar sensibilidad del desempeño de los modelos generados de la distribución potencial de la Reinita Alidorada (*Vermivora chrysoptera*) al β -multiplicador y la técnica de sub-muestreo usada.

Nombre ejercicio	técnica de sub-muestreo ¹	β -multiplicador	prevalencia de la especie
Ejercicio 1	Simple	0.01	0.50
Ejercicio 2	Simple	1.00	0.50
Ejercicio 3	Simple	2.00	0.50
Ejercicio 4	Simple	3.00	0.50
Ejercicio 5	Con reemplazo	1.00	0.50
Ejercicio 6	Validación cruzada	1.00	0.50
Ejercicio 7	Simple	0.25	0.50
Ejercicio 8	Simple	0.50	0.50
Ejercicio 9	Simple	0.75	0.50
Ejercicio 10	Con reemplazo	0.25	0.50
Ejercicio 11	Con reemplazo	0.50	0.50
Ejercicio 12	Con reemplazo	0.75	0.50
Ejercicio 13	Validación cruzada	0.25	0.50
Ejercicio 14	Validación cruzada	0.50	0.50
Ejercicio 15	Validación cruzada	0.75	0.50

¹En cada ejercicio se generaron 10 replicas

Cuadro 2. Experimentos preliminares para evaluar sensibilidad del desempeño de los modelos generados de la distribución potencial de la Reinita Alidorada (*Vermivora chrysoptera*) a la prevalencia de la especie y la técnica de sub-muestreo usada.

Nombre ejercicio	técnica de sub-muestreo ¹	β -multiplicador	prevalencia de la especie
Ejercicio 16	Simple	1.00	0.10
Ejercicio 17	Simple	1.00	0.20
Ejercicio 18	Simple	1.00	0.30
Ejercicio 19	Simple	1.00	0.40
Ejercicio 20	Con reemplazo	1.00	0.10
Ejercicio 21	Con reemplazo	1.00	0.20
Ejercicio 22	Con reemplazo	1.00	0.30
Ejercicio 23	Con reemplazo	1.00	0.40
Ejercicio 24	Validación cruzada	1.00	0.10
Ejercicio 25	Validación cruzada	1.00	0.20
Ejercicio 26	Validación cruzada	1.00	0.30
Ejercicio 27	Validación cruzada	1.00	0.40

¹En cada ejercicio se generaron 10 replicas.

Ejercicios finales

Llevamos a cabo tres ejercicios más: un primer ensayo usó los datos históricos para entrenar el modelo y los datos de campo para evaluar el mismo, un segundo experimento generó 25 réplicas utilizando todos los datos unidos en una sola base de datos y separando el 30% de la información para evaluar los modelos cada vez, y un tercer ejercicio usó toda la información disponible para entrenar el modelo (sin replicas ni evaluación), versión sobre la cual basamos nuestras predicciones finales y a futuro en condiciones de cambio climático. A diferencia de los otros ejercicios llevados a cabo previamente, que usaron el valor por defecto en MaxEnt para la prevalencia (0.50), en estos tres últimos ensayos usamos el valor empírico hallado en campo; para lo que dividimos el total de puntos donde la especie fue hallada

entre el total de puntos visitados (≈ 0.24). Por otro lado, evaluamos las diferencias entre los diferentes escenarios de cambio climático proyectados y el mapa final de la distribución potencial restando el mapa final de los varios escenarios a futuro.

A partir de los resultados crudos de MaxEnt generamos también en el mismo programa mapas binarios de presencia/ausencia usando el Umbral EETOD (Entropía Ecualizada entre las Distribuciones a las cuales se les ha aplicado un Umbral y las Distribuciones Originales). En los casos en que hicimos replicas, seleccionamos los ocho mejores modelos considerando que los mismos exhibieran los valores más altos en la AUC de evaluación, los menores valores de omisión de entrenamiento y una probabilidad significativa (< 0.05) en la prueba Binomial de Omisión. Decidimos usar ocho modelos debido a que este fue el número mínimo de modelos que cumplieron las condiciones requeridas en un mismo ensayo a través de todos los ensayos en los cuales generamos replicas. Finalmente, sumamos los mapas producidos de manera lineal y seleccionamos como áreas de presencia en cada caso aquellos pixeles en los cuales al menos cuatro mapas predecían presencia (al menos 50% de los mapas).

Resultados

Ejercicios preliminares de sensibilidad

Nuestros resultados evidenciaron que el desempeño de los modelos producidos fue sensible a las variaciones en el valor del β -multiplicador solamente al usar el sub-muestreo simple. De esta manera, al aumentar el valor del β -multiplicador el valor promedio del Área Bajo la Curva (AUC) aumentó, alcanzando su mayor valor cuando el β -multiplicador fue 1 (Figura 1a). Es interesante anotar que observamos algunas diferencias entre los valores promedios del AUC entre la técnica de sub-muestreo simple y las otras dos técnicas, aunque dichas diferencias desaparecieron cuando al β -multiplicador se le asignaron valores cercanos a 1 (Figura 1a). Además, el desempeño de los modelos no fue significativamente diferente al variar la prevalencia de la especie, mostrando todas las técnicas valores de AUC en rangos similares (Figura 1b).

Los valores promedios de omisión durante el entrenamiento de los modelos obtenidos mostró ser relativamente homogéneo entre los diferentes ensayos realizados. Aunque cabe resaltar que obtuvimos valores relativamente altos en el ejercicio 4, cuando al β -multiplicador se le dio un valor de 3 (Figuras 2a y b). De manera diferente, los valores promedios de omisión durante la evaluación de los modelos mostró cierta variación. En este caso los valores de omisión disminuyeron al aumentar el valor asignado al β -multiplicador, alcanzando valores mínimos con valores de β -multiplicador entre 1–3. Es interesante anotar que con un valor de β -multiplicador de 3 la omisión incrementó ligeramente, aunque dicha diferencia no fue significativa (Figura 2c). Además, no hubo variación perceptible entre los valores obtenidos para la omisión entre las diferentes

técnicas de sub-muestreo y solamente observamos algunas diferencias marginales entre algunos ensayos al cambiar los valores de prevalencia de la especie.

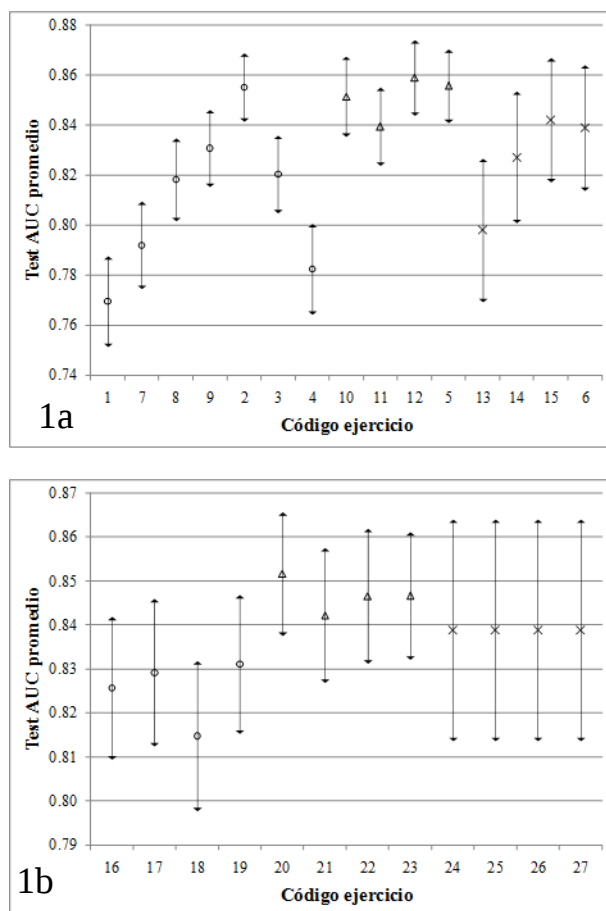


Figura 1. Valores promedios e intervalos de confianza al 95% de probabilidad obtenidos del desempeño de los modelos generados en cada uno de los ejercicios preliminares de modelado de la distribución potencial de la Reinita Alidorada (*Vermivora chrysoptera*). Ver descripción de los códigos para cada ejercicio en los Cuadros 1 y 2. Los círculos representan la técnica de sub-muestreo simple, los triángulos la técnica de sub-muestreo con reemplazo y las cruces la técnica validación cruzada. Para una descripción más detallada de las mismas ver ayuda programa MaxEnt 3.3.3e (Phillips *et al.* 2010).

Por otro lado, la prevalencia estimada por el programa al final del modelado aumentó al incrementar el valor del β -multiplicador (Figura 3a) y la prevalencia asignada inicialmente a la especie (Figura 3b); adquiriendo valores cercanos a la mitad del valor originalmente asignado al correr los modelos. En este caso solamente observamos diferencias marginales en los valores de la prevalencia estimada en algunos ensayos entre diferentes técnicas de sub-muestreo (Figura 3).

Estos primeros ensayos fueron de importancia pues nos permitieron evaluar cómo se comportaban los modelos al variar los valores de los parámetros mencionados. De esta

manera, basados en los mismos elegimos configuraciones “óptimas” para correr los modelos finales y así obtener mejores y más acertadas proyecciones.

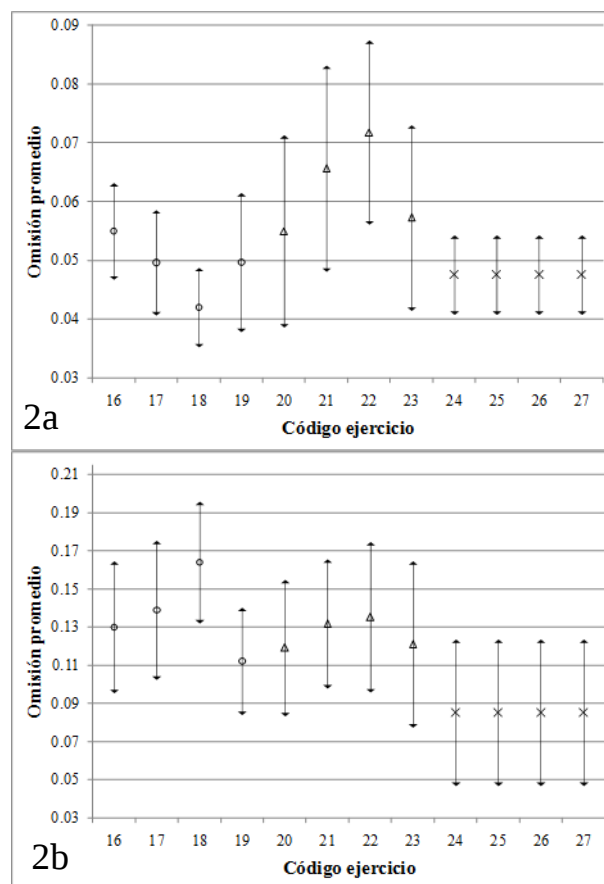


Figura 2. Valores promedios e intervalos de confianza al 95% de probabilidad obtenidos para la omisión de los modelos generados en cada uno de los ejercicios preliminares de modelado de la distribución potencial de *Vermivora chrysoptera*. Ver descripción de los códigos para cada ejercicio en los Cuadros 1 y 2. Los círculos representan la técnica de sub-muestreo simple, los triángulos la técnica de sub-muestreo con reemplazo y las cruces la técnica validación cruzada. Para una descripción más detallada de las mismas ver ayuda programa MaxEnt 3.3.3e (Phillips *et al.* 2010). Omisión promedio durante el entrenamiento – umbral logístico EETOD (del inglés *Equate Entropy of Thresholded and Original Distributions*) (a, b); Omisión promedio durante la evaluación – umbral EETOD (c, d).

Ejercicios finales

Los nuevos modelos de la distribución espacial potencial de la Reinita Alidorada generados en este estudio exhibieron mejor desempeño que el modelo producido en 2008 (Cuadro 3); a excepción de los modelos obtenidos en el ejercicio “final 1”, que a pesar de mostrar un desempeño promedio relativamente alto (AUC de evaluación > 0.80) exhibieron durante el entrenamiento valores diferentes y significativamente más bajos en promedio para el AUC que el modelo generado en 2008 (Intervalos de Confianza al 95%, Cuadro 3).

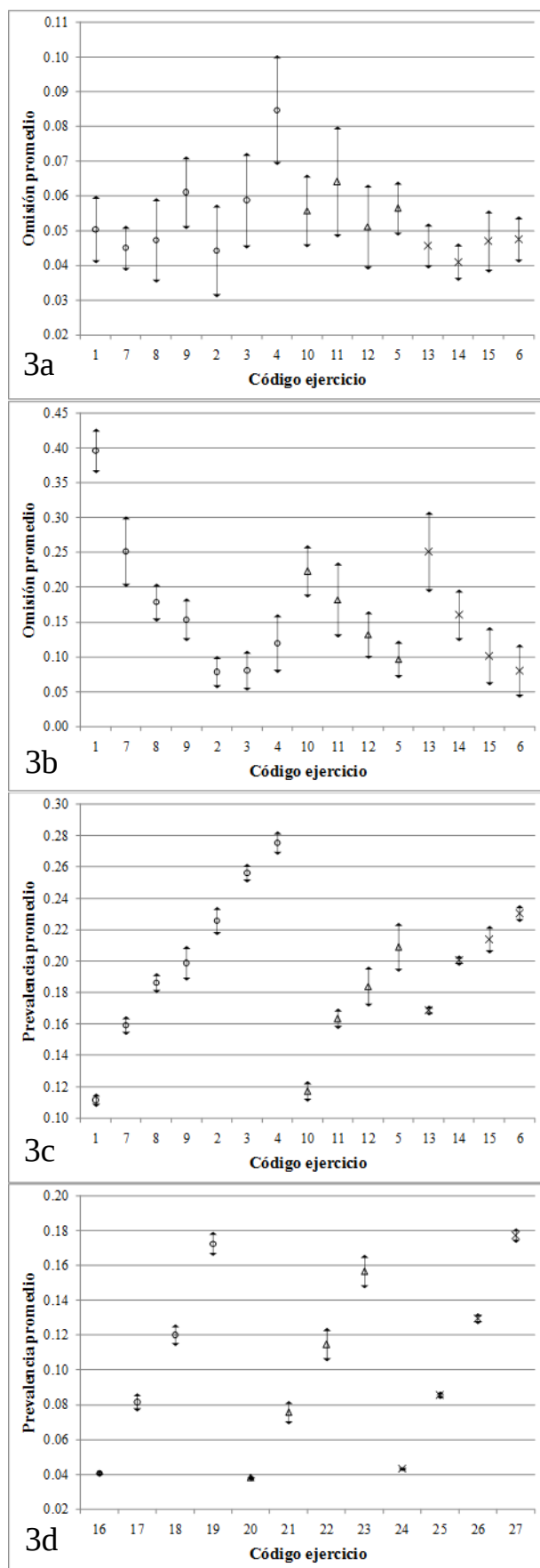


Figura 3. Valores promedios e intervalos de confianza al 95% de probabilidad obtenidos para la prevalencia estimada

por MaxEnt a partir de los modelos generados en cada uno de los ejercicios preliminares de modelado de la distribución potencial de *Vermivora chrysoptera*. Ver descripción de los códigos para cada ejercicio en los Cuadros 1 y 2. Los círculos representan la técnica de sub-muestreo simple, los triángulos la técnica de sub-muestreo con reemplazo y las cruces la técnica validación cruzada. Para una descripción más detallada de las mismas ver ayuda programa MaxEnt 3.3.3e (Phillips *et al.* 2010).

Cuadro 3. Resultados obtenidos del desempeño de los modelos en los experimentos finales desarrollados para modelar la distribución potencial de *Vermivora chrysoptera*.

	Modelo 2008	Final 1 ¹	Final 2 ²	Final 3 ³	Final 5 ⁵	Final 7 ⁷
No. de replicas ⁸	1	25	25	1	25	1
Puntos entrenamiento	225	131	131	187	236	336
Ganancia regularizada entrenamiento	1.575	0.833	1.852	1.794	2.126	2.099
Ganancia no regularizada entrenamiento	1.816	1.163	2.416	2.290	2.492	2.367
Iteraciones	500	1,000	1,000	1,000	1,000	7,040
AUC entrenamiento	0.952	0.880	0.968	0.963	0.968	0.967
#Puntos evaluación	—	56	56	236	100	—
Ganancia evaluación	—	0.759	1.733	2.355	2.118	—
AUC evaluación	—	0.816	0.929	0.973	0.945	—
AUC Desv. Estándar	—	0.027	0.015	0.002	0.010	—
#Puntos de fondo	10,225	10,131	10,131	10,187	10,236	10,336
Umbral log. EETOD ⁹	0.136	0.224	0.131	0.047	0.037	0.037
Área EETOD	0.236	0.457	0.167	0.173	0.124	0.124
Omisión EETOD	0.027	0.050	0.026	0.048	0.055	0.033
Omisión EETOD evaluación	—	0.134	0.122	0.009	0.126	—
Prob. binomial EETOD ¹⁰	—	1.285E-06	3.230E-39	0.000E+00	0.000E+00	—

¹ Modelos generados con la base de datos histórica y 4 variables climáticas, usando 30% de la información para evaluar los modelos.

² Modelos generados con la base de datos histórica y 19 variables climáticas, usando 30% de la información para evaluar los modelos.

³ Modelos generados con toda la base de datos histórica y 19 variables climáticas, usando nuevos datos colectados en campo para evaluar los modelos.

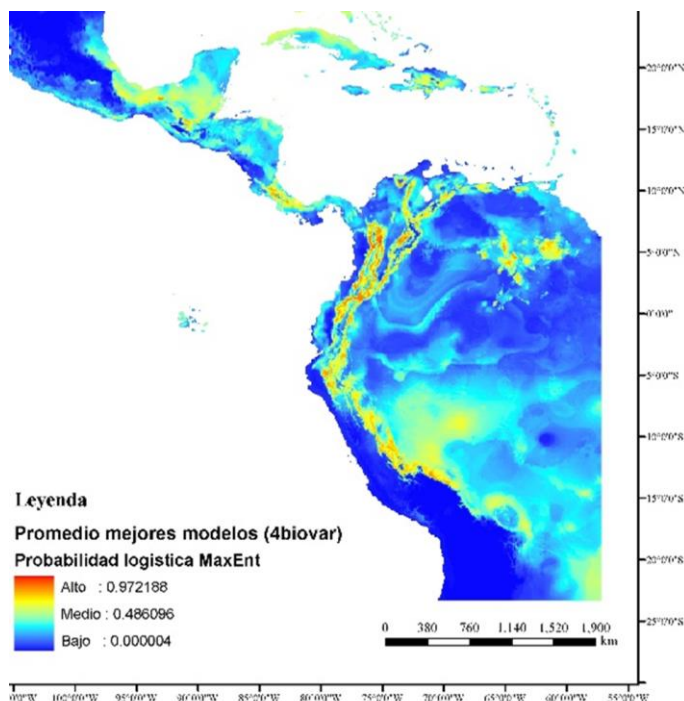
⁵ Modelos generados con todos los datos disponibles y 19 variables climáticas, usando 30% de la información para evaluar los modelos.

⁷ Modelos generados con todos los datos disponibles y 19 variables climáticas, sin evaluación independiente.

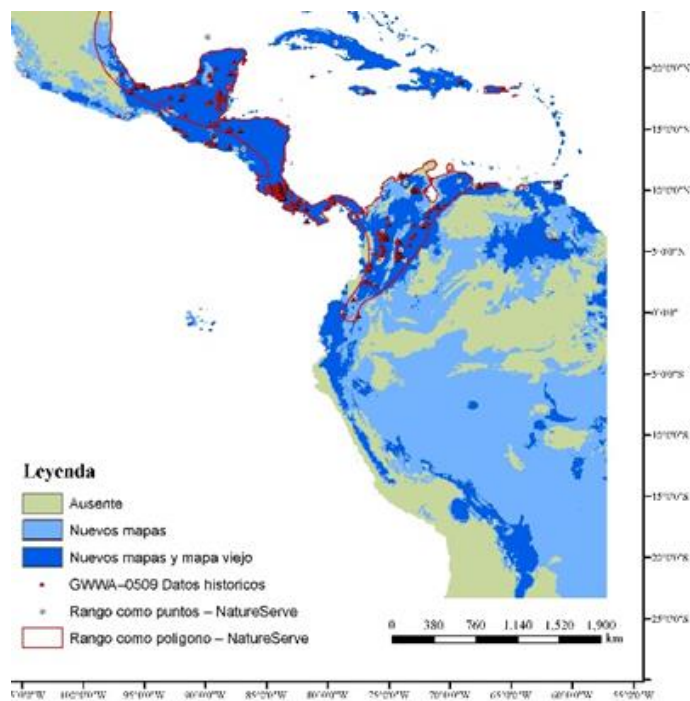
⁸ En caso de haber sido calculada para varias réplicas se presentan los valores promedios.

⁹ Umbral EETOD (Entropía Ecuilizada entre las Distribuciones a las cuales se les ha aplicado un Umbral y las Distribuciones Originales).

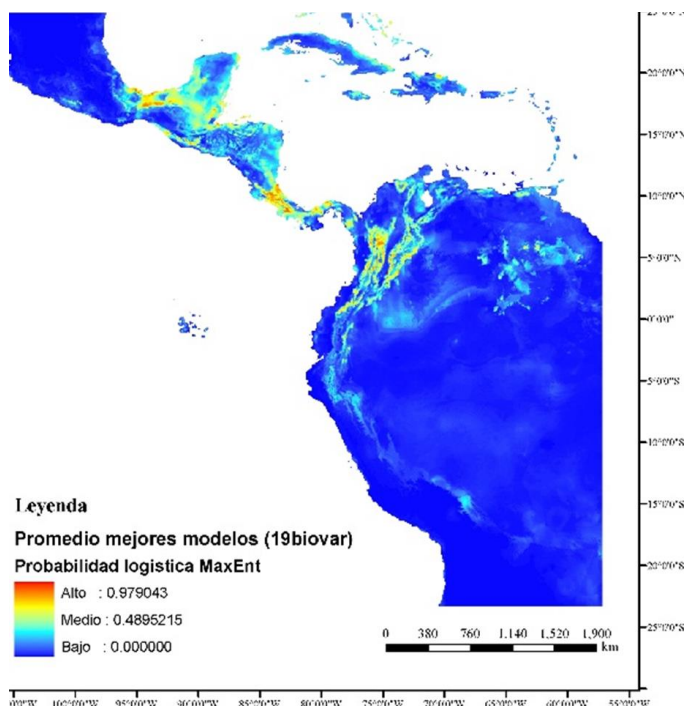
¹⁰ En caso de haber sido calculada para varias réplicas se presenta el valor máximo obtenido.



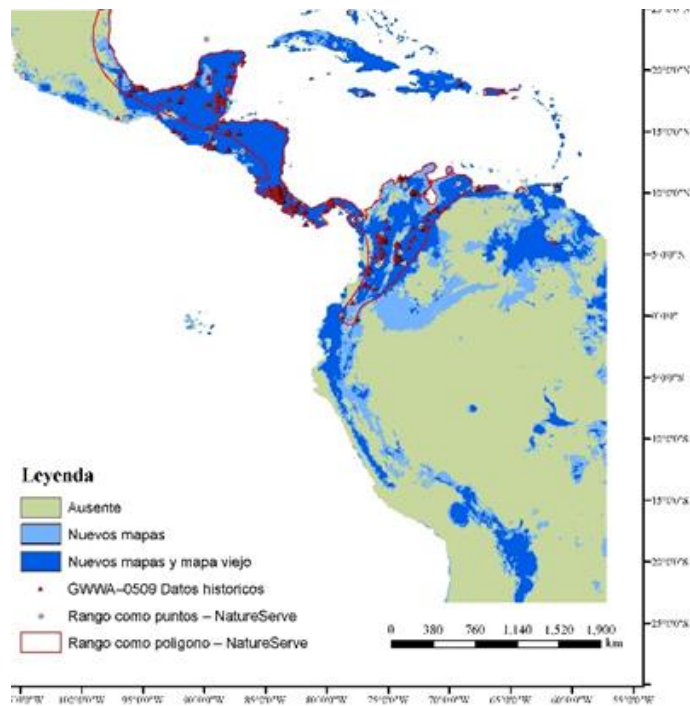
(a) Promedio mejores modelos – final 1



(b) Coincidencia modelos



(c) Promedio mejores modelos – final 2



(d) Coincidencia modelos

Figura 4. Modelos del rango potencial de la Reinita Alidorada (*Vermivora chrysoptera*) producidos en MaxEnt usando la base de datos histórica de registros de la especie y variables climáticas de WorldClim (final 1 y 2). Los modelos en la columna de la derecha muestran el grado de coincidencia de las predicciones hechas por los mejores ocho modelos en cada ensayo y el modelo producido por ProAves en 2008.

Así mismo, los valores promedio de omisión durante el entrenamiento mostraron ser diferentes y significativamente más altos para los ejercicios “final 1”, “final 3” y “final 5” (Intervalos de Confianza al 95%, Cuadro 3). Por otro lado, cabe anotar que el valor que observamos para la omisión durante el entrenamiento en el ejercicio “final 7” fue diferente y ligeramente mayor a los valores de omisión observados para el modelo producido en 2008 y el ejercicio “final 2”, que no presentaron diferencias significativas entre sí (Intervalos de Confianza al 95%, Cuadro 3). Es interesante anotar que para los ejercicios en los cuales llevamos a cabo evaluaciones de los modelos (final 1, 2, 3 y 5), solamente apreciamos una diferencia significativa para el modelo producido en el ejercicio “final 3” (Intervalos de Confianza al 95%, Cuadro 3). Este hecho no es de extrañar, pues las exploraciones en el campo que la Alianza Alas Doradas dirigió durante el 2010 y 2011 tuvieron como objetivo confirmar la presencia de la especie en zonas predichas previamente como de alta probabilidad de presencia por el modelo generado en 2008 (probabilidad logística MaxEnt ≥ 0.7).

Los resultados descritos en el párrafo anterior sugieren que las predicciones espaciales de los modelos generados usando solo cuatro variables climáticas (ejercicio “final 1”) fueron más amplias (Figura 4a y b), incurriendo en un mayor error de comisión (falsos positivos) que el modelo producido en 2008, mientras que los modelos producidos usando las 19 variables presentaron una mayor coincidencia espacial con relación al modelo de 2008 (Figura 4c y d).

De otra manera, las predicciones espaciales del modelo generado al usar la base de datos histórica para el entrenamiento y los datos nuevos de campo para la evaluación (ejercicio final 3) mostraron muy pocas diferencias con relación al modelo generado solamente usando la base de datos histórica y evaluando los modelos con el 30% de la información – ejercicio final 2 – (Figura 5a). Las diferencias con relación a los modelos generados a partir del ejercicio final 2 incrementaron al usar todos los datos para generar un modelo único no evaluado con datos independientes – ejercicio final 7 – (Figura 5b); que en nuestro concepto presenta las mejores predicciones espaciales (Figura 5c y d). Vale la pena mencionar que $\approx 28.50\%$ (325,147 píxeles) del total de píxeles (1'139,915 píxeles) predichos como presencia para la reinita en el ejercicio final 7 se encontraron dentro de áreas protegidas de acuerdo a la Base de Datos Mundial de Áreas Protegidas versión 2010 (IUCN–UNEP–WCMC 2010) (Figura 5d).

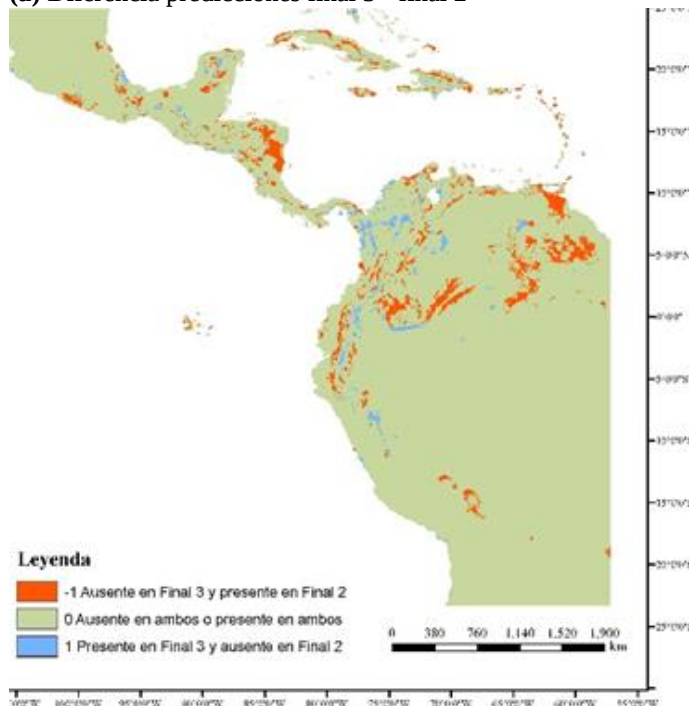
Proyecciones en escenarios de cambio climático

En general, nuestros resultados muestran que el hábitat disponible – definido climáticamente – para la Reinita Alidorada se reduciría drásticamente si los cambios en las condiciones climáticas futuras correspondieran a los escenarios de cambio climático usados en este estudio. Nuestros análisis apuntan a una pérdida máxima potencial del $\approx 97\%$ de la distribución espacial predicha en las condiciones presentes (valores -1 a -4 sumados) (Cuadro 4).

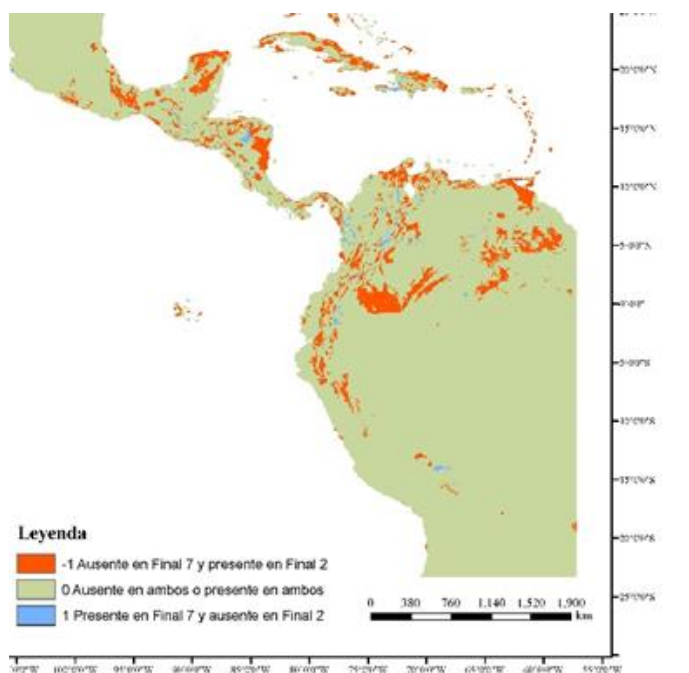
Es interesante notar que al discriminar separadamente los cambios potenciales en cada familia de escenarios, sus totales son relativamente similares (valores -1 y -2 sumados), obteniendo una pérdida máxima potencial de alrededor del 92% de la distribución espacial predicha en las condiciones presentes (Cuadro 4). Además, en las condiciones esperadas bajo el escenario A1b se pierde una mayor proporción de la distribución espacial en condiciones futuras en dos escenarios al mismo tiempo (valor -2). Consecuencia de proyecciones, en cada combinación escenario/año, que exhiben una pérdida potencial de hábitat de mayor magnitud y de manera más consistente (Cuadro 4). Por otro lado, las proyecciones en cuanto a las zonas donde potencialmente aparecerían nuevas áreas con condiciones climáticas adecuadas para la existencia de la Reinita Alidorada, muestran que estas zonas potencialmente incrementarían de manera similar para ambas líneas de escenarios (A1 y B2) en el año 2020, mientras que potencialmente se presentarían disparidades en magnitud de cambio entre las dos líneas de escenarios en el año 2050 y en el cambio total dentro de cada familia de escenarios (Cuadro 4).

Los resultados evidencian que la distribución espacial de las zonas de pérdida potencial de hábitat de la especie, ocurrirían principalmente en las zonas de montaña y zonas adyacentes (Figura 6). Desde algunas zonas aisladas en la parte sur de la Sierra Madre del Sur y las estribaciones al norte y occidente de la Sierra Madre de Chiapas en México, y al norte de esta; extendiéndose hacia el sur en la Sierra Madre en Guatemala y hacia el norte de esta en La península de Yucatán, aunque no en su porción centro-norte; continuando en Guatemala al sur y oriente en la Sierra de Santa Cruz, Sierra de Las Minas y Sierra del Mico; adentrándose en Honduras en la Sierra del Merendón, la Cordillera Celaque, el Cerro de las Minas y el Pico Bonito; en el Salvador en La Sierra Madre y la cadena volcánica al sur, incluyendo los volcanes Izalco y Santa Ana; También en Nicaragua en la Cordillera Isabel y las zonas adyacentes al norte, oriente y sur de esta; en Panamá y Costa Rica en la Cordillera de Talamanca y luego más al sur entre Panamá y Colombia en la Serranía del Darién. Así mismo, en Suramérica en Colombia en la Sierra Nevada de Santa Marta y de manera generalizada en las cordilleras Occidental, Central y Oriental de los Andes Colombianos; en Venezuela en la Cordillera de Mérida y en la Cordillera Caribe (Cordillera de La Costa y la Serranía del Interior) y en las zonas altas del Escudo Guayanés; en Ecuador en la vertiente occidental de los Andes cerca del límite fronterizo con Colombia y en la vertiente Oriental de los Andes, y de manera aislada en el centro y sur de la vertiente occidental de los Andes; y en Perú en la porción más al norte de las Cordilleras Central y Oriental.

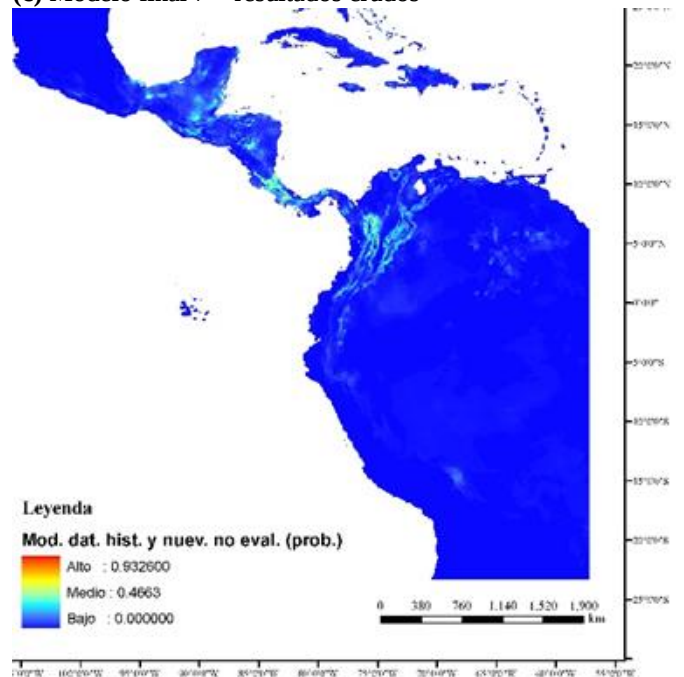
(a) Diferencia predicciones final 3 - final 2



(b) Diferencia predicciones final 7 - final 2



(c) Modelo final 7 – resultados crudos



(d) Modelo final 7 – presencia/ausencia

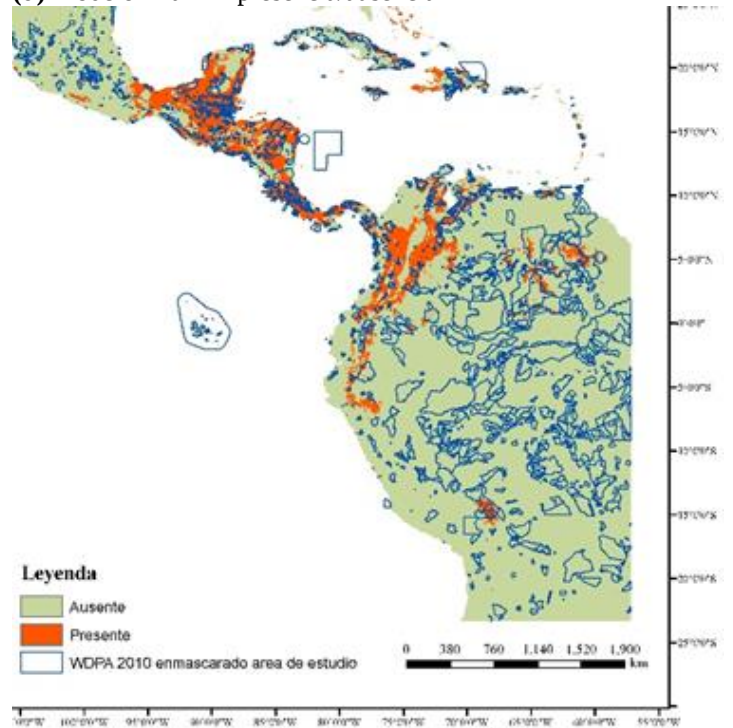


Figura 5. Diferencia en las predicciones entre varios modelos de la distribución potencial de *Vermivora chrysoptera* producidos en MaxEnt usando la base de datos histórica de registros de la especie y los nuevos datos de campo combinando los datos de diferentes maneras (ejercicios final 3 y final 7) y los mapas de línea base generados usando solo la base de datos histórica (ejercicio final 2) (a, b). Mapa de la distribución potencial generado usando las predicciones del modelo final 7; resultados crudos (c) y mapa binario sobrepuesto con áreas protegidas (d).

Cuadro 4. Cambios potenciales de la distribución actual de la Reinita Alidorada (*Vermivora chrysoptera*). La mitad superior del Cuadro presenta el número de pixeles donde nuestros análisis detectan cambio en el hábitat potencial predicho por MaxEnt (ejercicio final 7), mientras que la mitad inferior presenta el porcentaje que dichos pixeles representan de la distribución original predicha. Hay que notar que para los valores negativos dichas proporciones reflejan la pérdida absoluta del hábitat potencial proyectado en condiciones actuales, mientras que para los valores positivos reflejan nuevas áreas que los modelos climáticos predicen como adecuadas para la existencia de la especie.

Valor	b2a20-pres.	b2a50-pres.	total b2a	a1b20-pres.	a1b50-pres.	total a1b	total
-4							50,308
-3							373,215
-2			187,378			318,116	606,240
-1	271,567	384,677	942,329	402,814	659,878	854,539	228,008
0	—	—	—	—	—	—	—
1	342,144	1,407,479	1,151,836	343,909	889,051	661,375	1,442,670
2							162,025
Valor	b2a20-pres.	b2a50-pres.	total b2a	a1b20-pres.	a1b50-pres.	total a1b	total
-4							4.41
-3							32.74
-2			16.44			27.91	52.53
-1	23.82	33.75	75.08	35.34	57.89	64.77	7.61
0	—	—	—	—	—	—	—
1	30.01	123.47	101.05	30.17	77.99	58.02	126.56
2							14.21

Particularmente, es importante resaltar que, dentro de dichas zonas, nuestros modelos señalan cambios potenciales de manera más robusta alrededor de la cota de los 1,000 m y en algunas pocas zonas abarcando áreas hasta los 2,000–2,500 m de elevación aproximadamente, con hasta tres y cuatro escenarios diferentes de cambio climático convergiendo en sus proyecciones (Figura 7), mientras que zonas entre los 2,000–2,500 y hasta los 3,000 m de elevación, y en algunas ocasiones incluso por debajo de los 2,000 m de altitud, usualmente solamente convergen en sus proyecciones hasta dos escenarios diferentes (Figura 7).

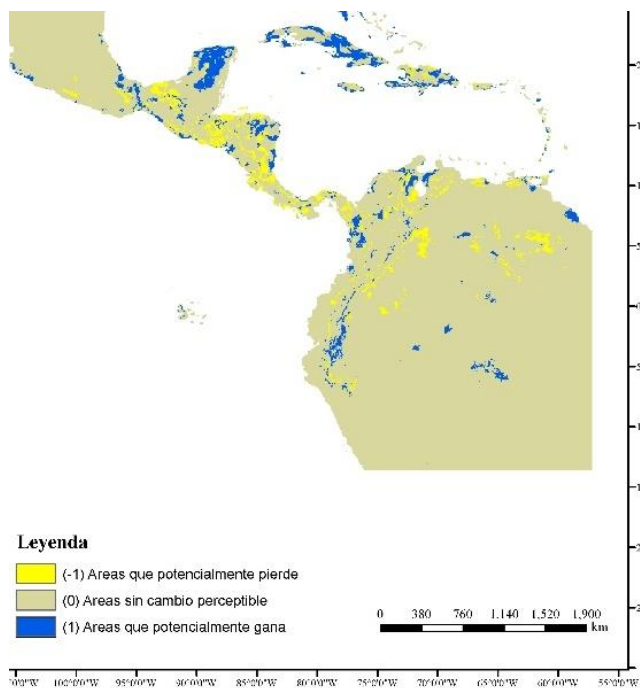
Discusión

Se logró evidenciar que el desempeño de los modelos es sensible a la variación de ciertos parámetros durante la calibración de los modelos. Hecho que resalta la necesidad de realizar análisis de sensibilidad durante el proceso de modelado para calibrar apropiadamente los modelos (Wainwright y Mulligan 2003). Los modelos mostraron un mejor desempeño y fueron más acertados al usar todos los datos disponibles para modelar el rango potencial de la Reinita Alidorada. Este es acorde con las opiniones de algunos autores como Rencher (1995), que consideran que a pesar de ser útil dividir la información para evaluar los modelos, las versiones finales deben incluir toda la información disponible (Fielding y Bell 1997). A pesar del gran valor que tienen los modelos, es importante recordar que los mismos constituyen aproximaciones y no reemplazan el trabajo de campo; aunque los mismos son excelentes herramientas para entender mejor la distribución espacial de cualquier especie al ser usados de manera complementaria con trabajo de campo (Chandler 2011).

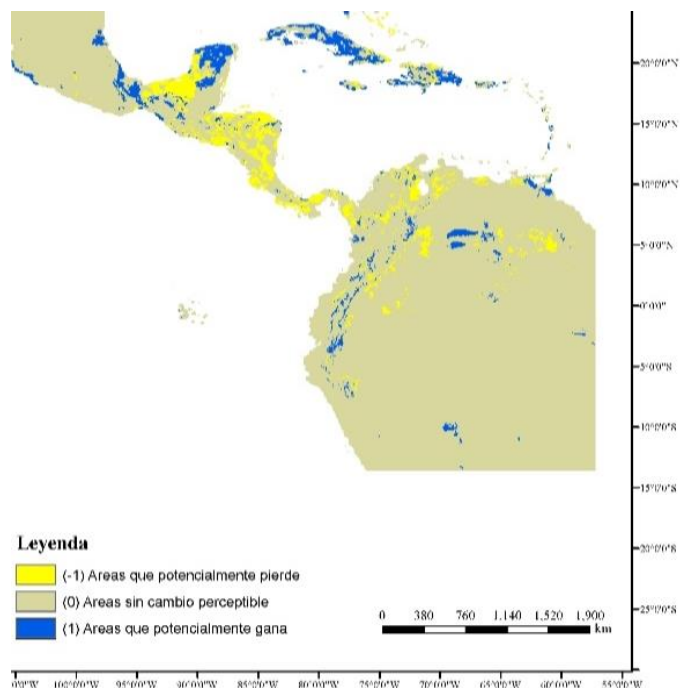
En el caso de la Reinita Alidorada, que es una especie de interés para la conservación (IUCN 2011; National–Audubon–Society 2011; Partners in Flight 2011) creemos aún es importante continuar colectando datos de campo a

través de observaciones y trabajo con redes para confirmar la presencia de la especie en zonas predichas como de presencia por los modelos, pero de las cuales aún no tenemos confirmación. En particular, es de suma relevancia dirigir estas nuevas exploraciones hacia aquellas zonas donde nuestros modelos predicen a futuro cambios potenciales en el hábitat disponible para la especie y de las cuales aún existen registros de presencia, como por ejemplo las zonas de tierras bajas al nororiente de la Sierra Madre de Chiapas en México, al norte de la Sierra Madre en Guatemala y al oriente del Pico Bonito y la Cordillera Isabela, en Honduras y Nicaragua respectivamente. Así mismo, varias áreas en las vertientes Andinas, entre las que cabe destacar la Serranía del Baudó, la Serranía de San Lucas, la Serranía de Los Motilones, la sección norte de las cordilleras Oriental y Occidental y las pendientes alrededor del valle Alto del Río Magdalena en Colombia; también la mayor parte de la vertiente oriental de los Andes con algunas excepciones, y en menor medida en la vertiente occidental de manera fragmentada en el depto. de Nariño en Colombia y en el Ecuador y en la porción norte de las cordilleras Central y Oriental en los Andes de Perú (Figura 8).

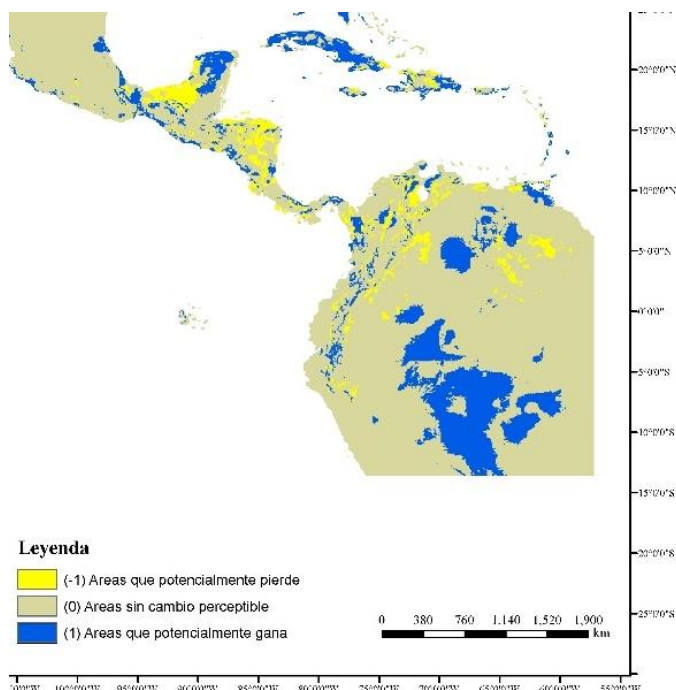
Nuestros resultados mostraron que bajo las condiciones climáticas presentes la distribución espacial predicha para la Reinita Alidorada en el Neotrópico está relativamente bien protegida por el sistema internacional de reservas reconocido por la IUCN (IUCN–UNEP–WCMC 2010); llegando el mismo a cubrir cerca de un 30% de la distribución potencial de la especie. Esta cifra es alentadora, si se considera que en nuestro análisis no hay incluidas áreas protegidas recientemente declaradas como las Reservas naturales de la Fundación ProAves, ni áreas de reserva locales (privadas y estatales), las cuales no están contenidas en su totalidad en la base de datos de la IUCN.



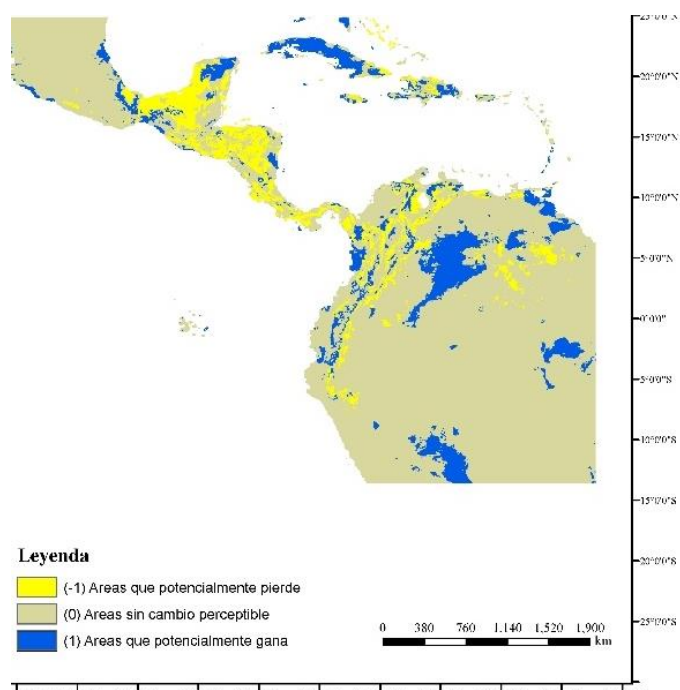
(a) Predicciones b2a 2020 – presente



(c) Predicciones a1b 2020 – presente

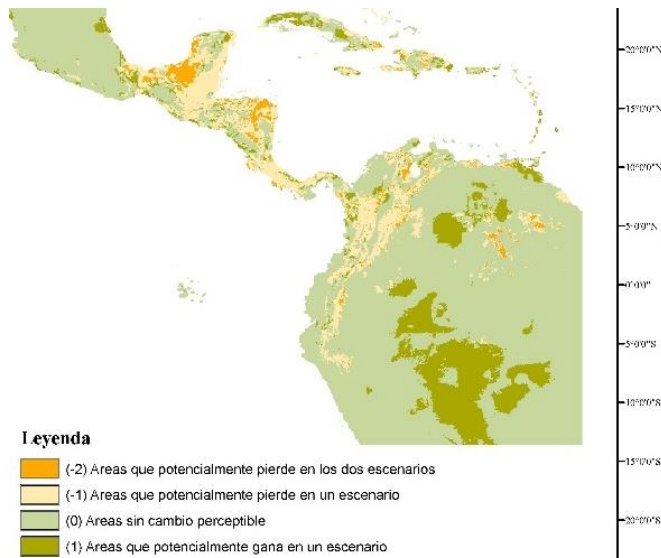


(b) Predicciones b2a 2050 – presente

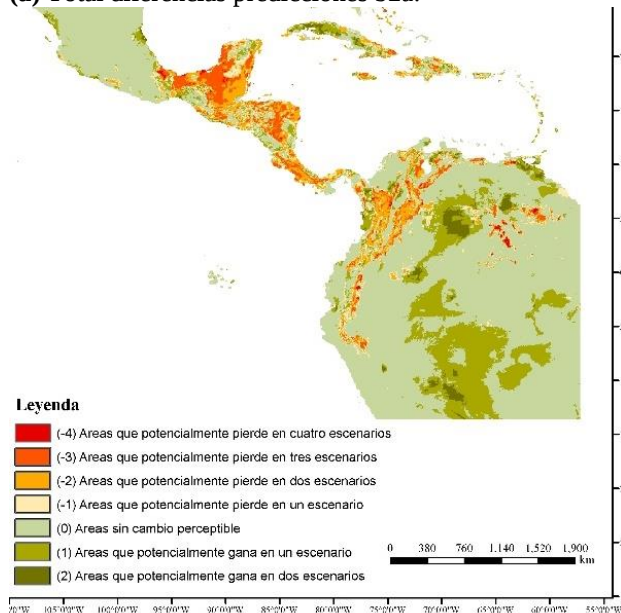


(d) Predicciones a1b 2050 - presente

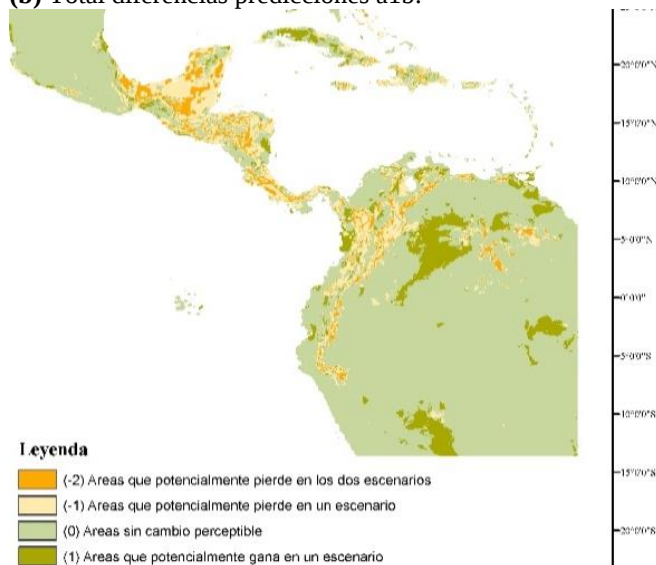
Figura 6. Diferencias temporales en las predicciones entre varios modelos de la distribución potencial de la Reinita Alidorada (*Vermivora chrysoptera*) producidos en MaxEnt (ejercicio final 7) usando escenarios de cambio climático y las condiciones presentes.



(a) Total diferencias predicciones b2a.



(b) Total diferencias predicciones a1b.



(c) Total diferencias.

Figura 7. Diferencias temporales totales en las predicciones entre varios modelos de la distribución potencial de la Reinita Alidorada (*Vermivora chrysoptera*) producidos en MaxEnt (ejercicio final 7) usando escenarios de cambio climático y las condiciones presentes. El total para cada familia de escenarios fue calculada restando cada escenario del siguiente (i.e. 2050 – 2020 – presente), mientras que el total final fue estimado sumando las diferencias de las dos familias de escenarios (i.e. total b2a + total a1b).

Sin embargo, es preocupante el hecho que nuestras proyecciones muestren una pérdida de hasta el 90% del hábitat definido de manera climática para la especie. Nuestros resultados en este sentido no son aislados y se unen a una gran cantidad de evidencia que muestra los cambios potenciales en las distribuciones espaciales y la vulnerabilidad de la biodiversidad al cambio climático global (Parmesan y Yohe 2003; Hannah *et al.* 2006; Thuiller *et al.* 2008); en particular para las especies que habitan las zonas de montaña. Impactos potenciales de tal magnitud hacen necesaria la implementación sin demora de estrategias dinámicas de conservación al cambio climático (EDCC) que permitan una integración regional de las áreas de reserva, un monitoreo constante de la biodiversidad y respuestas dinámicas a los posibles futuros cambios medioambientales (Hannah *et al.* 2006; Verhelst 2011).

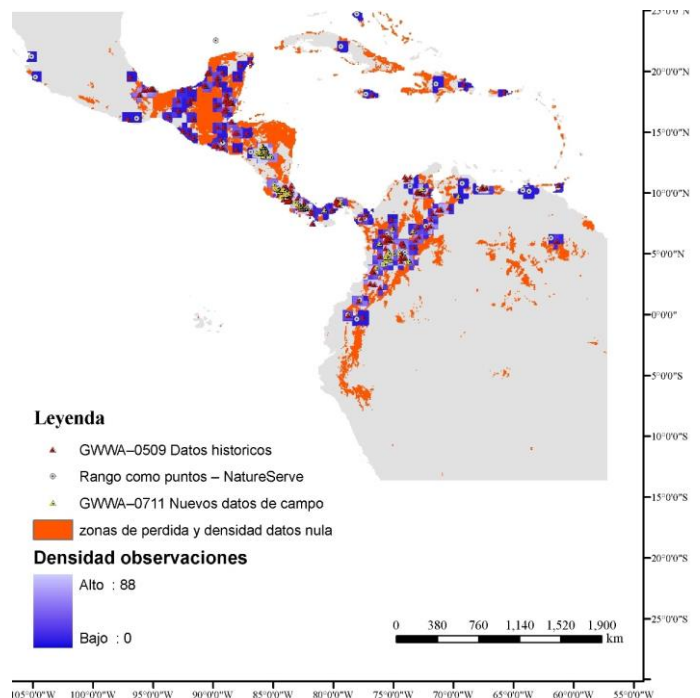
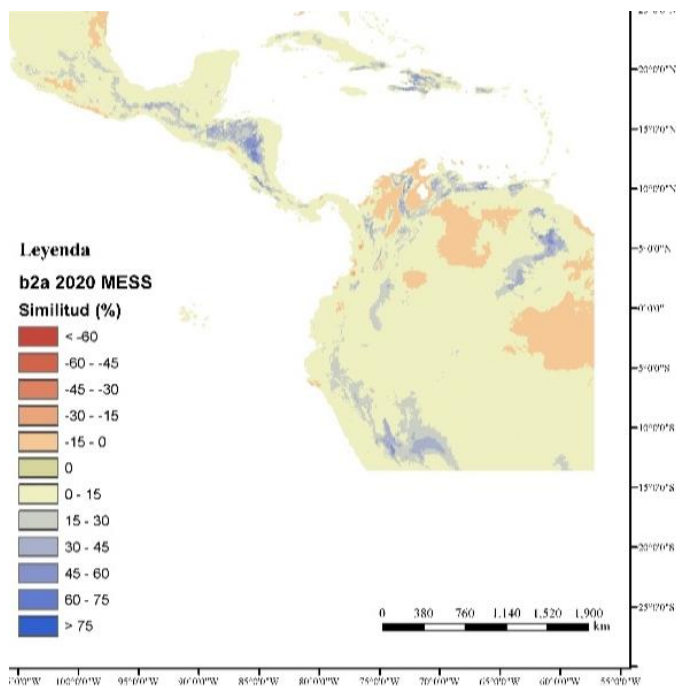
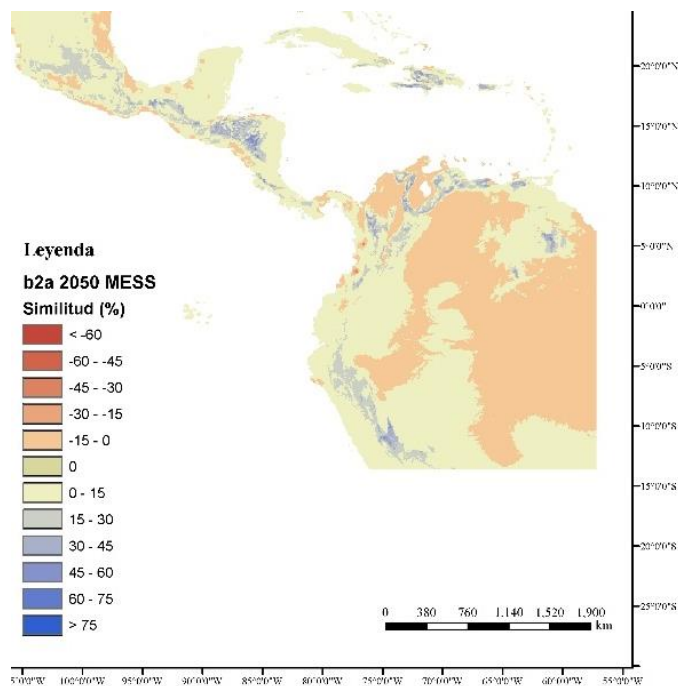


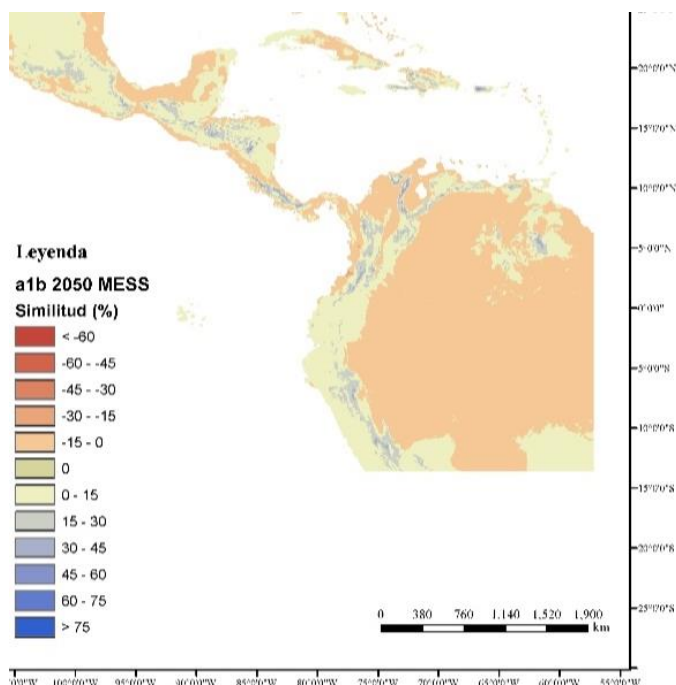
Figura 8. Áreas prioritarias para nuevas exploraciones en las cuales no ha habido previamente colección de información y en las cuales nuestros modelos muestran pérdidas potenciales de la distribución potencial para la Reinita Alidorada (*Vermivora chrysoptera*) bajo escenarios de cambio climático.



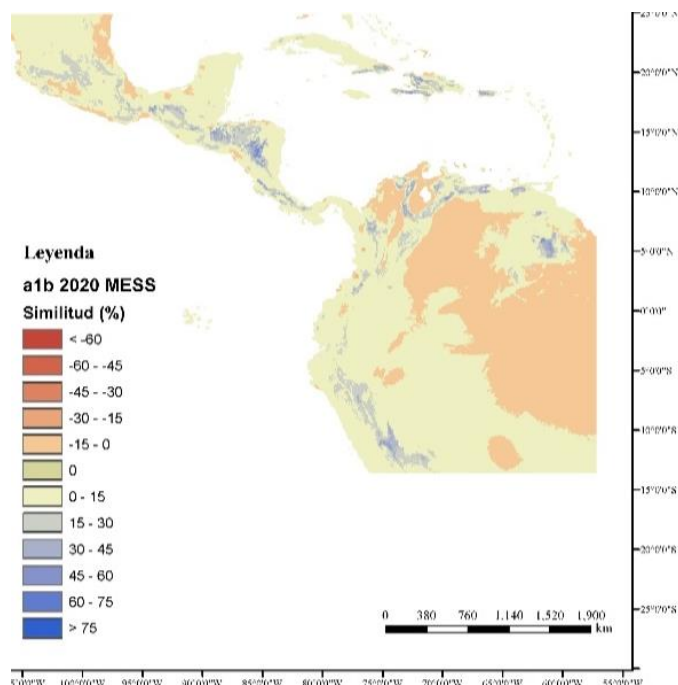
Escenario b2a 2020



Escenario b2a 2050



Escenario a1b 2020



Escenario a1b 2050

Figura 9. Resultados análisis MESS (por sus siglas en inglés) realizados por MaxEnt, que calculan una “superficie de similitud multidimensional de variables medioambientales”.

Queremos resaltar que los modelos predicen áreas en tierras bajas que potencialmente podrían volverse adecuadas climáticamente para la Reinita Alidorada bajo influencia del cambio climático. Sin embargo, estas zonas suponen una mayor incertidumbre que aquellas áreas que potencialmente

podrían perderse, ya que implicarían el movimiento de propágulos (*sensu* Hallam 1967) desde áreas donde la especie ya existe y/o la adaptación a condiciones medioambientales nuevas fuera de las condiciones conocidas donde la especie habita, una posible hipótesis es que las especies migratorias como esta pueden moverse y establecer en nuevas zonas en el Neotrópico. De hecho los análisis MESS (por sus siglas en inglés) realizados por MaxEnt como parte del modelado, que calculan una “Superficie de Similitud Multidimensional de Variables Medio-ambientales”, mostraron que buena parte de las tierras bajas en Latinoamérica presentarían, bajo las condiciones de cambio climático especificadas por los escenarios usados, condiciones climáticas relativamente diferentes de las condiciones presentes (Figura 9).

Además, este tipo de movimientos podrían ser confundidos con otro tipo de procesos de dispersión y colonización en el caso que la especie no haya, en tiempo geológico, llenado su distribución potencial espacial (Graham et al. 2010), lo que no necesariamente implicaría adaptación. Por otro lado, en las zonas donde potencialmente se perdería el hábitat de la reinita se asume que dichas áreas vendrían a estar por fuera de las condiciones climáticas que usualmente ocupa la reinita, y en consecuencia la especie podría ser extirpada localmente; que básicamente correspondería a mantener el *status quo* en términos ecológicos para la especie. No obstante, de darse adaptación o haber un retraso con relación a cambios en la vegetación presente, dichos cambios podrían darse en otras direcciones u ocultarse temporalmente debido a la asincronía con la cual ocurrirían. Por lo tanto, los cambios sugeridos deben ser considerados con cautela, aún más en el caso de las áreas que potencialmente podrían llegar a estar disponibles para la especie.

Quisiéramos cerrar este artículo anotando que un siguiente paso a adelantar es usar estos modelos potenciales de la distribución de la Reinita Alidorada, así como continuar mejorando los mismos, para retroalimentar la formulación de un plan de conservación en el ámbito regional. Así pues, esperamos estos modelos que presentamos en este artículo puedan ser de utilidad para definir nuevas áreas de reserva, de ser necesario, y formular estrategias para asegurar la permanencia a futuro de la especie en el Neotrópico.

Agradecimientos

Agradecemos a la Fundación ProAves por la colección y organización de las bases de datos parte de la Alianza Alidorada, también a quienes contribuyeron, ellos Maria Isabel Moreno, Jorge Eduardo Paiba Álzate, Jhon Albert Guevara Patiño, Esteban Botero Delgadillo, Johanna Andrea Borrás, Marisol Escaño. A las personas que contribuyeron en la toma de datos en el campo Rosabel Miro R. de la Sociedad Audobon de Panamá, Liliana Chavarría de ALAS Nicaragua, Asociación Ornitológica de Costa Rica, Denis Torres de Fundación Andígena de Venezuela y los miembros de la Alianza Alidorada y el Grupo de Trabajo de la Reinita Alidorada por compartir la información y su apoyo financiero y en especie. A Ken Rosenberg, Kenneth

Rosemberg, Richard Chandler y todo el equipo de Cornell Lab of Ornithology, junto a George Fenwick, Sara Ines Lara, Benjamin Skolnik y el equipo de American Bird Conservancy por su interés en este trabajo, su apoyo logístico y financiero. A Paul Salaman por su apoyo en varias de las actividades desarrolladas en este proyecto. Finalmente, a Thomas Donegan y Alexander Monsalve por las revisiones a este artículo, que contribuyeron a mejorar las versiones finales del documento.

Referencias

- BirdLife–International. 2011. Species factsheet: *Vermivora chrysoptera*. <<http://www.birdlife.org/datazone/species>> (15th June 2011).
- BirdLife–International 2012. Data Zone: Sites – Important Bird Areas (IBAs). <<http://www.birdlife.org/datazone/site>> (8th February 2012).
- Botero–Delgadillo, E., y J. A. Borrás. 2010. Informe de Actividades Colombia enero – marzo 2010. Alianza Alas Doradas. En: Iniciativa para la conservación de la Reinita Alidorada. Informe interno, Fundación ProAves, Bogotá.
- Botero, J. E., J. C. Verhelst, y N. D. Fajardo. 1999. Neotropical migratory birds in the Colombian coffee–grown region. *Cenicafe Technical Advance* 266.
- Chandler, R. B. 2011. Avian Ecology and Conservation in Tropical Agricultural Landscapes with Emphasis on *Vermivora Chrysoptera*. Open Access Dissertations. Paper 333, University of Massachusetts, Amherst.
- Confer, J. L., P. Hartman, y A. Roth. 2011. Golden-winged Warbler (*Vermivora chrysoptera*), The Birds of North America Online (Poole, A. ed.). Ithaca: Cornell Lab of Ornithology. Retrieved from the Birds of North America <<http://bna.birds.cornell.edu/bna/species/020doi:10.2173/bna.20>> (15th June 2011).
- Confer, J. L., J. L. Larkin, y P. E. Allen. 2003. Effects of vegetation, interspecific competition, and brood parasitism on Golden-winged Warbler (*Vermivora chrysoptera*) nesting success. *The Auk* 120:138–144.
- Cooper, D. S. 2007. Ecological Assessment of Five Coffee Farms in North–central Nicaragua. Internal report. Cooper Ecological Monitoring, Inc., Pasadena.
- COSEWIC 2006. Assessment and status report on the Golden-winged Warbler *Vermivora chrysoptera* in Canada. Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada. <http://www.cosewic.gc.ca/eng/sct5/index_e.cfm> (15th June 2011).
- DeGraaf, R. M., y J. H. Rappole. 1995. Neotropical Migratory Birds: Natural History, Distribution, and Population Change. Cornell University Press, Ithaca.
- Eliith, J., S. J. Phillips, T. Hastie, M. Dudík, Y. E. Chee, y C. J. Yates. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 17:43–57.
- Ficken, M. S., y R. W. Ficken. 1968. Reproductive isolating mechanisms in the Blue-winged and Golden-winged Warbler complex. *Evolution* 22:166–179.
- Fielding, A. H., y J. F. Bell. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation* 24:38–49.
- Finch, D. M., y T. E. Martin [eds.]. 1995. Ecology and Management of Neotropical Migratory Birds: A Synthesis and Review of Critical Issues. Oxford University Press, Oxford.

- Gill, F. B., y B. G. Murray. 1972. Discrimination behavior and hybridization of the Blue-winged and Golden-winged warblers. *Evolution* 26:282–293.
- Graham, C. H., N. Silva, y J. I. Velásquez–Tibata. 2010. Evaluating the potential causes of range limits of birds of the Colombian Andes. *Journal of Biogeography* 37:1863–1875.
- Guevara, J. A., y J. E. Paiba. 2010. Informe de Actividades Colombia enero – marzo 2011. Alianza Alas Doradas/In ProAves [ed.], Iniciativa por la conservación de la Reinita Alidorada, Bogotá.
- Hagan, J. M., y D. W. Johnston [eds.]. 1992. Ecology and Conservation of Neotropical Migrant Landbirds. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.
- Hallam, A. 1967. The Bearing of Paleozoographic Data on Continental Drift – *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology* 3: 201–241, p. 366–406. In M. V. Lomolino, D. F. Sax y J. H. Brown [eds.], *Foundations of Biogeography: classic papers with commentaries* (2004). The University of Chicago Press in Association with the International Biogeography Society and the National Center for Ecological Analysis and Synthesis – USA, Chicago.
- Hannah, L. J., T. E. Lovejoy, y S. H. Schneider. 2006. Biodiversity and climate change in context, p. 3–14. In T. E. Lovejoy y L. J. Hannah [eds.], *Climate Change and Biodiversity*. Yale University Press, Ann Arbor.
- Hijmans, R. J., S. E. Cameron, J. L. Parra, P. G. Jones, y A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25:1965–1978.
- Hijmans, R. J., S. E. Cameron, J. L. Parra, P. G. Jones, y A. Jarvis. 2011. WorldClim, version 1.4. <<http://www.worldclim.org/>> (15th July 2011).
- Hilty, S. L., y W. L. Brown. 2001. Guía de Campo de las Aves de Colombia. Traducción y Comentarios Sobre las nuevas especies reportadas para el país desde la primera edición por Humberto Álvarez–López. American Bird Conservancy–Universidad del Valle –Sociedad Antioqueña de Ornitología, Medellín.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva.
- IUCN–UNEP–WCMC. 2010. The World Database on Protected Areas (WDPA): Annual Release [On–line]. UNEP–WCMC, Cambridge.
- IUCN 2011. The IUCN red list of threatened species: *Vermivora chrysoptera*. <<http://www.iucnredlist.org/apps/redlist/search>> (15th September 2011).
- Jaynes, E. T. 2003. Probability Theory: The Logic of Science. Cambridge University Press, Cambridge.
- Komar, O. 2006. Ecology and conservation of birds in coffee plantations: a critical review. *Bird Conservation International* 16:1–23.
- McPherson, J. M., W. Jetz, y D. J. Rogers. 2004. The effects of species' range sizes on the accuracy of distribution models: ecological phenomenon or statistical artefact? *Journal of Applied Ecology* 41:811–823.
- Nakicenovic, N., J. Alcamo, G. Davis, B. de Vries, J. Fenhann, S. Gaffin, K. Gregory, A. Grübler, T. Yong Jung, T. Kram, E. Lebre La Rovere, L. Michaelis, S. Mori, T. Morita, W. Pepper, H. Pitcher, L. Price, K. Riahi, A. Roehrl, H.-H. Rogner, A. Sankovski, M. Schlesinger, P. Shukla, S. Smith, R. Swart, S. van Rooijen, N. Victor, y Z. Dadi. 2001. Special Report on Emissions Scenarios. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) – GRID–Arendal.
- National–Audubon–Society 2011. Watch list: *Vermivora chrysoptera*. <<http://www.audubon.org/category/watchlist-status/red?page=5>> (15th September 2011).
- Parmesan, C., y G. Yohe. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421:37–42.
- Partners–in–Flight 2011. Watch lists: *Vermivora chrysoptera*. <<http://www.pwrc.usgs.gov/pif/watchlistneeds/GWWA.htm>> (15th September 2011).
- Phillips, S. J. 2011. Tutorial v6, MaxEnt software for species habitat modelling. AT & T, Florham Park.
- Phillips, S. J., R. P. Anderson, y R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190:231–259.
- Phillips, S. J., M. Dudik, y R. E. Schapire. 2004. A Maximum Entropy approach to species distribution modeling, p. 655–662. In C. E. Brodley [ed.], *Machine Learning, Proceedings of the Twenty–first International Conference (ICML)*, Banff, Alberta, Canada, July 4–8, 2004. Association for Computing Machinery, Banff.
- Phillips, S. J., M. Dudik, y R. E. Schapire 2010. MaxEnt software for species habitat modeling. <<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent>> (15th June 2011).
- Rappole, J. H. 1995. The Ecology of Migrant Birds: A Neotropical Perspective. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.
- Rencher, A. C. 1995. Methods of Multivariate Analysis. Wiley, New York.
- Ridgely, R. S., T. F. Allnutt, T. M. Brooks, D. K. McNicol, D. W. Mehlman, B. E. Young, y J. R. Zook. 2007. Digital Distribution Maps of the Birds of the Western Hemisphere, version 3.0. . NatureServe <http://www.natureserve.org/>.
- Ridgely, R. S., y G. Tudor. 1989. The Birds of South America: The Oscines Passerines. University of Texas Press, Austin.
- Robbins, C. S., J. R. Sauer, R. S. Greenberg, y S. Droege. 1989. Population declines in North American birds that migrate to the neotropics. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 86:7658–7662.
- Sauer, J. R., J. E. Hines, y J. Fallon 2006. The North American Breeding Bird Survey, Results and Analysis 1966 – 2005. Version 6.2.2006. USGS Patuxent Wildlife Research Center. <<http://www.mbr-pwrc.usgs.gov/bbs/bbs.html>>.
- Thuiller, W., C. Albert, M. B. Araujo, P. M. Berry, M. Cabeza, A. Guisan, T. Hickler, G. F. Midgley, J. Paterson, F. M. Schurr, M. T. Sykes, y N. E. Zimmermann. 2008. Predicting global change impacts on plant species' distributions: future challenges. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 9:137–152.
- Verhelst, J. C. 2011. Avifaunal Distribution in Colombia: Current Diversity and Potential Refugia Under Climate Change, King's College London – University of London, London.
- Wainwright, J., y M. Mulligan [eds.]. 2003. Environmental Modelling: Finding the Simplicity in Complexity. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
- Wieczorek, J., Q. Guo, y R. J. Hijmans. 2004. The point–radius method for georeferencing locality descriptions and calculating associated uncertainty. *International Journal of Geographical Information Science* 18:745–767.
- Wieczorek, J., R. Guralnick, A. Chapman, C. Frazier, N. Rios, R. Beaman, y Q. Guo. 2006. Guide to Best Practices for Georeferencing In A. D. Chapman y J. Wieczorek [eds.]. Global Biodiversity Information Facility – GBIF, Copenhagen.

Anexo 1. Variables climáticas BioClim y Análisis de Componentes Principales (PCA) para Latinoamérica.

Código BioClim	Nombre variable BioClim
BIO1	Temperatura media anual
BIO2	Rango medio diario (media mensual (máx. temp – mín. temp))
BIO3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) × 100
BIO4	Estacionalidad en la temperatura (DE temp. ×100)
BIO5	Temperatura máx. del mes más caliente
BIO6	Temperatura mín. del mes más frío
BIO7	Rango anual de la temperatura (BIO5-BIO6)
BIO8	Temperatura media del cuatrimestre más húmedo
BIO9	Temperatura media del cuatrimestre más seco
BIO10	Temperatura media del cuatrimestre más caliente
BIO11	Temperatura media del cuatrimestre más frío
BIO12	Precipitación anual
BIO13	Precipitación del mes más húmedo
BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO15	Estacionalidad en la precipitación (CV)
BIO16	Precipitación del cuatrimestre más húmedo
BIO17	Precipitación del cuatrimestre más seco
BIO18	Precipitación del cuatrimestre más caliente
BIO19	Precipitación del cuatrimestre más frío

Anexo 2. Matriz de componentes *Método de extracción: Análisis de Componentes principales. 4 componentes extraídos.*

	Componente			
	1	2	3	4
BIO1	0.851	0.519	0.005	-0.044
BIO2	-0.829	0.020	0.278	0.026
BIO3	0.568	-0.560	-0.440	0.027
BIO4	-0.692	0.357	0.455	-0.270
BIO5	0.646	0.723	0.170	-0.044
BIO6	0.937	0.309	-0.151	-0.003
BIO7	-0.843	0.240	0.413	-0.040
BIO8	0.757	0.622	0.103	-0.136
BIO9	0.894	0.426	-0.073	0.021
BIO10	0.767	0.625	0.087	-0.093
BIO11	0.908	0.392	-0.097	0.022
BIO12	0.855	-0.390	0.274	0.132
BIO13	0.765	-0.236	0.357	0.462
BIO14	0.669	-0.543	0.156	-0.413
BIO15	-0.728	0.279	0.106	0.422
BIO16	0.780	-0.246	0.350	0.442
BIO17	0.703	-0.541	0.155	-0.374
BIO18	0.500	-0.428	0.530	-0.190
BIO19	0.719	-0.328	-0.003	0.167

Plan de conservación preliminar para la Reinita Alidorada (*Vermivora chrysoptera*) durante su temporada no reproductiva, con énfasis en Colombia

*Preliminary conservation plan for the Golden-winged Warbler (*Vermivora chrysoptera*) during its non-breeding season, with emphasis on Colombia*

Yojanan Lobo-y-HenriquesJC.

Fundación ProAves, Cra. 20 #36-61, Bogotá, Colombia. Email: lobo.y.henriquesjc.yojanan@gmail.com

Abstract

The Golden-winged Warbler (*Vermivora chrysoptera*) is a species of interest for conservation because its population has significantly decreased. In this study I used new field data and environmental variables derived from remote sensing to improve the current distribution models by means of the MaxEnt algorithm. In addition, I used the distributions modelled in this study and previous studies to assess coverage by the national reserves system and to define priority areas for conservation using systematic conservation planning tools (CLUZ and Marxan). My results showed that the species has lost about 89% of its original habitat and that the most important areas for conservation are scattered in the buffer zones of various Andean reserves and the Sierra Nevada de

Santa Marta. Particularly, a conservation corridor at middle elevations covering from the northeastern portion of the Central Cordillera and the PNN Paramillo and south of it would be of great importance. For the conservation of this species should be considered extending the area of reserves and convening extensive reforestation plans in areas identified as important in this analysis. Additionally, the creation of observatories for migration throughout Latin America and the Caribbean, and studies of the ecology of the species in the medium and long term are necessary. I present a tentative action plan for the conservation of the species in its nonbreeding range, with emphasis on Colombia.

Key words: *Vermivora chrysoptera*, spatial distribution, preliminary conservation plan.

Resumen

La Reinita Alidorada (*Vermivora chrysoptera*) es una especie de interés para la conservación debido a que su población ha disminuido significativamente. En este estudio usé nuevos datos de campo y variables medioambientales derivadas de sensores remotos para mejorar los modelos de la distribución actual empleando el algoritmo MaxEnt. Además, empleé las distribuciones modeladas en este estudio y estudios previos para evaluar su cobertura por parte del sistema nacional de reservas y para definir las zonas prioritarias para la conservación usando herramientas de planeación sistemática (CLUZ y Marxan). Mis resultados muestran que la especie ha perdido cerca del 89% de su hábitat original y que las zonas de mayor importancia para su conservación se encuentran esparcidas en las zonas de amortiguamiento de varias reservas andinas y en la Sierra Nevada de Santa Marta. Particularmente, un corredor de conservación a elevaciones medias cubriendo desde la porción nororiental de la Cordillera Central hasta el PNN Paramillo y hacia el sur del mismo sería de gran importancia. Para la conservación de esta especie se debe considerar extender el área de reservas, así como convenir extensos planes de reforestación en las zonas señaladas como de importancia por mis análisis. También se hace necesaria la creación de observatorios de migración a lo largo de Latinoamérica y el Caribe, y estudios de ecología para la especie a mediano y largo plazo. Además presento un plan de acción tentativo para la conservación de la especie en su zona no reproductiva, con énfasis en Colombia.

Palabras clave: *Vermivora chrysoptera*, distribución espacial, MaxEnt, plan de conservación preliminar.

Introducción

La Reinita Alidorada (*Vermivora chrysoptera*) es un ave migratoria neotropical, que se reproduce en el sureste de Canadá y noreste de los Estados Unidos y que migra hacia Latinoamérica y el Caribe durante el invierno boreal. Durante su etapa no reproductiva, la especie se encuentra desde el sur de México hasta el noroeste de Venezuela y el norte de Ecuador, ocupando una variedad amplia de hábitats boscosos y cafetales de sombra en elevaciones medias (Lobo-y-HenriquesJC & Arteaga 2013). La especie ha sido clasificada como casi-amenazada (NT) por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza debido a que su población y hábitat han disminuido rápidamente a través de su distribución espacial en las décadas recientes, y de continuar esta tendencia la especie podría llegar a estar bajo amenaza (IUCN 2011).

La Fundación ProAves, con el apoyo de la Alianza Alas Doradas y varias otras instituciones en los Estados Unidos, ha venido liderando una iniciativa a escala continental con el objetivo de estudiar la ecología de la Reinita Alidorada durante su migración y temporada no reproductiva. Como parte de esta iniciativa, en 2008 se modeló la distribución espacial potencial de la especie. El modelo se construyó tomando como base registros de museo, literatura, usando el programa Maxent y datos climáticos de WorldClim. Además, se iniciaron una serie de inventarios en el campo en búsqueda de la especie en Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Colombia y Venezuela.

Recientemente Lobo-y-HenriquesJC & Arteaga (2013) usaron toda la información disponible, datos históricos y la nueva información colectada en el campo entre 2008 y 2010, para mejorar el modelo de la distribución potencial de la especie en su zona no reproductiva y hacer unas primeras proyecciones de la misma bajo futuros escenarios de cambio climático.

Por otro lado la designación de áreas de reserva con diferentes propósitos (*e.g.* culto religioso, caza, *etc.*) ha sido una constante en la historia desde la antigüedad (Chandrashekara & Sankar 1998; Margules & Pressey 2000). Sin embargo, la actual crisis de la biodiversidad ha hecho necesario un cambio en la forma oportunista en la cual estas áreas han sido comúnmente designadas (Margules 1989; Pressey *et al.* 1993). Impulsando durante los últimos 20 años el desarrollo de varios algoritmos y programas para asistir la planeación sistemática de reservas y de esta forma incurrir en menores costos sociales al asignar adecuadamente y con una sólida base científica los limitados recursos para la conservación de la biodiversidad a diferentes escalas nacionales y globales (Sarkar *et al.* 2006). Estas herramientas de conservación han sido particularmente desarrolladas y usadas en Australia y Suráfrica (Margules *et al.* 1988; Margules 1989; Pressey & Nicholls 1989; Pressey & Logan 1998; Pressey *et al.* 2000; Pressey & Taffs 2001b, a; Pressey *et al.* 2002; Pressey *et al.* 2003), y su uso continúa extendiéndose; aunque todavía en Latinoamérica y el Caribe

dicha metodología ha sido poco utilizada (Velasquez-Tibata & Lopez-Arevalo 2006; Sarkar *et al.* 2009).

En este estudio se da continuidad a los ensayos de modelado de la distribución espacial potencial de la Reinita Alidorada en su zona no reproductiva iniciados por Lobo-y-HenriquesJC & Arteaga (2013), limitando la información usada solamente a los datos más nuevos colectados en el campo y usando una nueva serie de variables medioambientales que incluyen datos provenientes de sensores remotos. Estos describen el terreno, las coberturas vegetales, la intervención humana de los ecosistemas y la precipitación. Estos nuevos análisis tienen como primer objetivo generar modelos, lo más precisos posible, de la distribución actual de la especie y producir estimativos de la proporción que la especie ha perdido de su distribución espacial. Además, usando a Colombia como estudio de caso, tienen como segundo objetivo utilizar los nuevos modelos generados para realizar un análisis de cobertura de la distribución de la especie dentro del sistema nacional de reservas y determinar las zonas de prioridad para la conservación usando los programas CLUZ y Marxan para la planeación sistemática de reservas. A partir de los resultados de mis análisis planteo un borrador de un plan de conservación para la especie en Colombia, con miras a que el mismo sirva de guía para otros países en Latinoamérica y el Caribe.

Métodos

Modelado de la distribución espacial

En este estudio doy continuidad a los ejercicios de modelado iniciados por Lobo-y-HenriquesJC & Arteaga (2013). De esta manera, usé las mismas bases de datos compiladas por la GWWA y ProAves, y revisadas y curadas por Lobo-y-HenriquesJC & Arteaga. Sin embargo, en esta ocasión solamente me enfoqué en modelar la distribución actual de la Reinita Alidorada en su zona de no reproducción usando los datos nuevos de campo compilados entre 2009 y 2011 y 34 nuevas variables medioambientales que describen el terreno, las coberturas vegetales, la intervención humana de los ecosistemas y la precipitación (Jarvis *et al.* 2004; WCS-CIESIN 2005; Hansen *et al.* 2006; NASA 2007; Ellis & Ramankutty 2008; Ramankutty *et al.* 2010) (Anexo 1). Cabe anotar que todas estas variables han sido derivadas de sensores remotos durante la última década, lo que las hace ideales para generar las envolturas medioambientales que describen las relaciones entre la distribución de la especie y el medioambiente en su zona no reproductiva. Igualmente que en los ejercicios anteriores de modelado realizados por Lobo-y-HenriquesJC & Arteaga (2013), para construir los modelos de la distribución potencial de la especie usé el algoritmo MaxEnt (Phillips *et al.* 2006). Así, generé un único modelo (final-actual), usando 151 puntos de presencia para el entrenamiento y 34 variables ambientales, 1,000 iteraciones y una prevalencia de ≈ 0.24 – valor empírico reportado por Lobo-y-HenriquesJC & Arteaga (2013); mientras que para otros parámetros usé los valores

predeterminados por Phillips (2011). Además, realicé análisis de re muestreo (*Jackknife*) durante el entrenamiento para determinar la importancia de las diferentes variables medioambientales en el desempeño del modelo. Cabe resaltar que el modelo no fue evaluado con información independiente.

De manera similar a Lobo-y-HenriquesJC & Arteaga (2013), generé mapas binarios de presencia/ausencia a partir de los resultados crudos de MaxEnt usando el Umbral EETOD (Entropía Ecuilizada entre las distribuciones a las cuales se les ha aplicado un Umbral y las distribuciones originales). Por otro lado, con el fin de determinar la magnitud en la cual la distribución espacial potencial actual llena los mapas potenciales de distribución de la especie basados en la información histórica y los nuevos datos de campo compilados por la GWWA, el mapa potencial actual de distribución espacial producido fue superpuesto con dos de los mapas potenciales producidos por Lobo-y-HenriquesJC & Arteaga (2013). Un primer modelo generado utilizando la base de datos histórica (187 puntos de presencia) y las 19 variables bioclimáticas de WorldClim para el entrenamiento y los nuevos datos colectados en campo por la GWWA, 236 puntos de presencia para la evaluación del modelo (Final 3-Z20) y un segundo modelo generado con todos los datos disponibles (336 puntos de presencia) y las 19 variables bioclimáticas de WorldClim, aunque sin evaluar el modelo con información independiente (Final 7-Z22). Además, con el fin de tener más detalle en cuanto a los varios posible remanentes de hábitat para la especie, los mapas superpuestos fueron restringidos a áreas que potencialmente podrían sostener bosques y arbustos (códigos 1-8, 11, 12) (Ramankutty & Foley 1998), áreas que actualmente representan remanentes de bosque, habitados o no (códigos 51, 52, 61, 62) y áreas que actualmente representan zonas de cultivos (códigos 31-35) (Ellis & Ramankutty 2008).

Portafolios de conservación

Con el objetivo de delinear una metodología para determinar las zonas de mayor importancia para la conservación de la Reinita Alidorada en su zona no reproductiva, realicé un estudio de caso para Colombia. Empléé el mapa final de distribución potencial (Final 7-Z22) generado por Lobo-y-HenriquesJC & Arteaga (2013), los varios mapas potenciales de distribución de la especie producidos en este estudio y el mapa de la Base de Datos Mundial de Áreas Protegidas versión 2010 (IUCN-UNEP-WCMC 2010) para seleccionar áreas potenciales de reserva usando los programas Marxan y CLUZ.

Marxan (Ball *et al.* 2009) es un programa para la planeación sistemática de reservas diseñado para resolver un tipo específico de problema en conservación llamado “el paquete mínimo de conservación” (Game & Grantham 2008). Así, el programa selecciona áreas potenciales de reserva intentando capturar un objetivo mínimo (meta) en la representación de ciertos atributos de la biodiversidad de una zona o región (*e.g.* especies, ecosistemas, *etc.*) en tanto que optimiza el

valor del portafolio de conservación seleccionado (*i.e.* minimiza su costo) (Game & Grantham 2008). El programa usa una serie de algoritmos heurísticos que generan de manera relativamente rápida un amplio rango de soluciones cercanas a la solución más óptima, tratando de minimizar la función:

$$\sum_{UP} Co + MLB \sum_{UP} Li + \sum_{i=1}^n A_i + PUC$$

(Game & Grantham 2008)

Donde:

Co = costo económico real o un sustituto como por ejemplo el área

UP = unidades de planeación incluidas en la solución

MLB = constante modificadora de la longitud del borde

Li = longitud del borde de las unidades de planeación incluidas en la solución

A = valor de penalización si no se logra la meta de conservación para cada atributo *i* de biodiversidad

PUC = penalización en caso de pasar el umbral de costo máximo especificado (generalmente opcional).

CLUZ es una extensión programada para Arc View 3.x que permite la planeación sistemática de reservas en pantalla y que actúa como una interfase para Marxan, permitiendo producir y exportar los archivos necesarios para correr Marxan desde Arc View 3.x, e importando luego parte de los resultados producidos (*i.e.* solución acumulada y mejor portafolio) para su posterior análisis (Smith 2005). Una vez habiendo ejecutado el programa, dado un número específico de repeticiones e iteraciones para cada repetición, la solución acumulada muestra el número de veces del total de repeticiones que cada unidad de planeación fue seleccionada dentro de la solución, constituyéndose como un índice de importancia o “irreemplacibilidad”; en tanto que el mejor portafolio muestra las unidades de planeación incluidas dentro de la solución que exhibió un menor costo (Game & Grantham 2008).

Previo a iniciar mis ensayos, generé usando CLUZ el archivo de unidades de planeación; para el cual tome como base un mapa de hexágonos cada uno con un área de 100 km² cubriendo toda Colombia continental. Luego, el mapa de la Base de Datos Mundial de Áreas Protegidas, versión 2010 (IUCN-UNEP-WCMC 2010), fue usado para determinar el porcentaje de área protegida dentro de cada unidad de planeación. Definí como áreas de reserva, en el portafolio de línea base, todas aquellas unidades con una proporción de área protegida por encima del 50% del área total. Además, preparé el mapa final de distribución potencial (Final 7-Z22) generado por Lobo-y-HenriquesJC & Arteaga (2013), convirtiéndolo a formato de vector (*.shp), recortándolo al área de Colombia y eliminando las áreas más improbables hacia el sur y al oriente de las cordilleras Andinas, y lo utilicé para extraer la cobertura de la distribución de la especie dentro de las unidades de planeación. Así mismo, preparé con CLUZ la Cuadro de metas de conservación; que en este caso solo tuvo un

atributo de conservación, i.e. la distribución potencial de la especie en Colombia continental, para el cual se dispuso como meta la conservación del 50% de área total ($\approx 107,224 \text{ km}^2$). Finalmente, basado en la información procesada, exporté los archivos necesarios (*abundance.dat*, *target.dat*, *unit.dat* y *bound.dat*) para ejecutar Marxan usando CLUZ.

Seguido, realicé una primera ronda de 10 ensayos para evaluar la sensibilidad del índice de importancia y el mejor portafolio a cambios en el valor de la constante modificadora de la longitud del borde (*MLB*) y el uso del *PSDOS* – proceso de selección en dos pasos (i.e. *Simulated Annealing*). Primero, ejecuté Marxan desde CLUZ de la manera más simple, sin usar el *PSDOS* y sin incluir el costo derivado de la longitud del borde (*Li*), y luego incluí el costo derivado de la longitud del borde variando la *MLB* (0.001, 0.01 y 0.1). Los ensayos restantes se ejecutaron usando el *PSDOS* y variando la *MLB* en un rango de valores un poco más estrecho, aunque evaluando un número mayor de valores (0.001, 0.004, 0.007, 0.01, 0.04 y 0.07). En todos los ensayos ejecuté 1,000 repeticiones y 1'000,000 de iteraciones para cada repetición, y asigné un valor de penalización (*A*) de 1'000,000 en caso de no lograr la meta de conservación para el atributo de biodiversidad en cuestión. Otros parámetros los asigné según los valores predeterminados en Marxan.

Para concluir, convertí a formato de vector (*.shp) los mapas mostrando la distribución potencial histórica (Final 7–Z22) y potencial actual (Final–actual) sobrepuestas y restringidas a los diferentes tipos de hábitat remanentes (bosques y

cultivos). Igualmente como hice anteriormente, los recorté al área de Colombia y eliminé las áreas más improbables hacia el sur y al oriente de las cordilleras Andinas, y los utilicé para extraer la cobertura de la distribución de la especie dentro de las unidades de planeación. Sin embargo, en este caso logré diferenciar seis tipos de atributos de biodiversidad para la distribución espacial potencial de la Reinita Alidorada y definí las metas de conservación de cada uno con base en tipos de importancia asignados de manera subjetiva a cada uno de ellos, los cuales se correspondieron con porcentajes predeterminados del área total de la distribución de la especie según se explica en la Cuadro 1. Finalmente, basado en la información procesada, actualicé y exporté los archivos necesarios (*abundance.dat*, *target.dat*, *unit.dat* y *bound.dat*) para ejecutar Marxan usando CLUZ.

Ejecuté un primer ensayo final teniendo como objetivo las metas de conservación definidas en la Cuadro 1 y utilizando el *PSDOS* y el costo derivado de la longitud del borde (*Li*) con una *MLB* de 0.004. Un segundo ensayo final redujo las metas de conservación en un 50% y un tercero redujo las metas de conservación en un 50% nuevamente. Es decir, que si en el primer ensayo final se puso como meta la conservación del 50% del total de la distribución de la especie, en el segundo esta meta se redujo a un 25% del total y subsecuentemente en el tercero a un 12.5% del total. Por otro lado, igualmente a como hice anteriormente, en todos los ensayos ejecuté 1,000 repeticiones y 1'000,000 de iteraciones para cada repetición, y asigné un valor de penalización (*A*) para cada atributo de acuerdo a los tipos asignados como se detalla en la Cuadro 1.

Cuadro 1. Ejemplo de objetivos de conservación para el primer ensayo final durante los ejercicios ejecutados para la planeación sistemática de reservas de la Reinita Alidorada (*Vermivora chrysoptera*) usando CLUZ y Marxan para Colombia como estudio de caso.

Id	Nombre	Tipo ¹	Meta ¹	A ²	Conservado ³	Total ⁴	Pc_objetivo ⁵
1	Bosque en Final 7–Z22	3	2,256.173	1,000,000	10,285.39	37,939.98	455.88
2	Bosque en Final–actual	3	2,256.173	1,000,000	294.71	3,430.27	13.06
3	Bosque en ambos	1	22,561.734	10,000,000	3,980.99	20,839.06	17.64
5	Cultivo en Final 7–Z22	3	2,256.173	1,000,000	4,149.24	53,311.98	183.91
6	Cultivo en Final–actual	3	2,256.173	1,000,000	138.30	10,253.16	6.13
7	Cultivo en ambos	2	13,537.040	5,000,000	1,887.95	54,719.42	13.95

¹ Tipos de importancia asignados de manera subjetiva que se corresponden con las metas de conservación definidas como porcentajes predeterminados del área total ($180,493.87 \text{ km}^2$) de la distribución de la especie así: 1 = conserva 25%, 2 = conserva 15% y 3 = conserva 2.5%.

² Valor de penalización para cada atributo de biodiversidad en caso de no lograr la meta de conservación.

³ Área total conservada dentro del portafolio de reservas de la línea base.

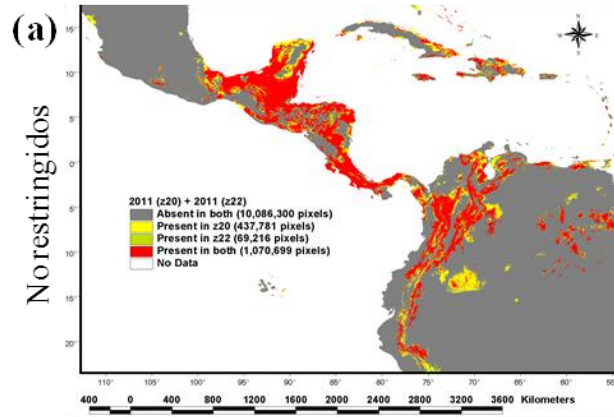
⁴ Área total estimada de distribución para cada atributo de biodiversidad.

⁵ Porcentaje que el área conservada representa de la meta definida.

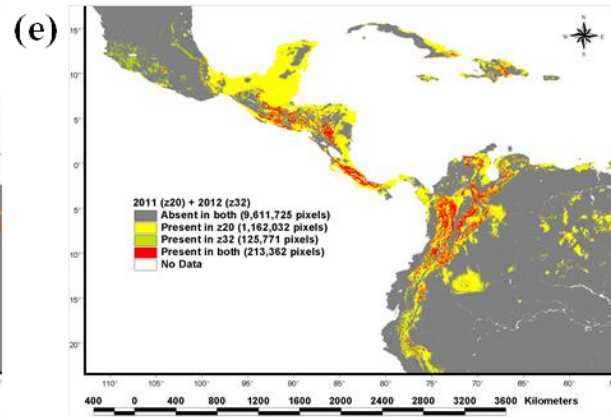
Cuadro 2. Comparación del desempeño entre el modelo de distribución potencial actual producido en este estudio (Final–actual) y dos modelos de distribución potencial puramente climáticos generados previamente por Lobo–y–HenriquesJC & Artega (2012).

Nombre modelo	Código	Omisión Entren.	Omisión Eval.	Ganancia Reg.	Ganancia No–reg.	AUC Entren.	AUC Eval.
Final 3	Z20	0.043	0.013	1.941	2.365	0.966	0.972
Final 7	Z22	0.033	—	2.099	2.367	0.967	—
Final–actual	Z32	0.013	—	3.175	3.459	0.990	—

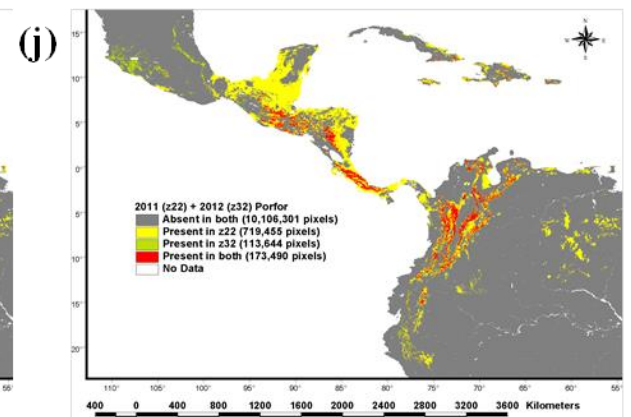
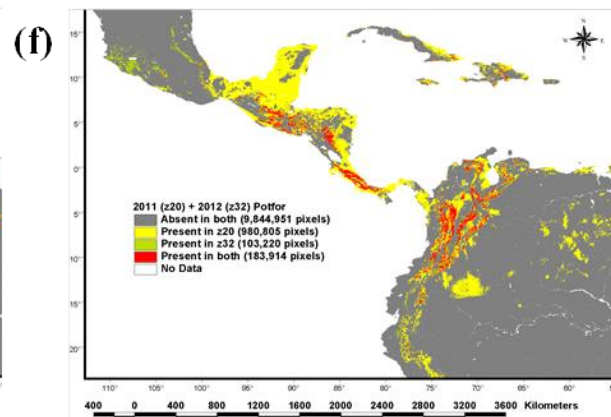
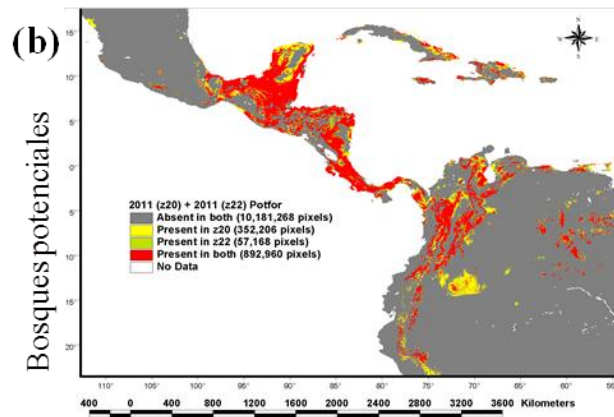
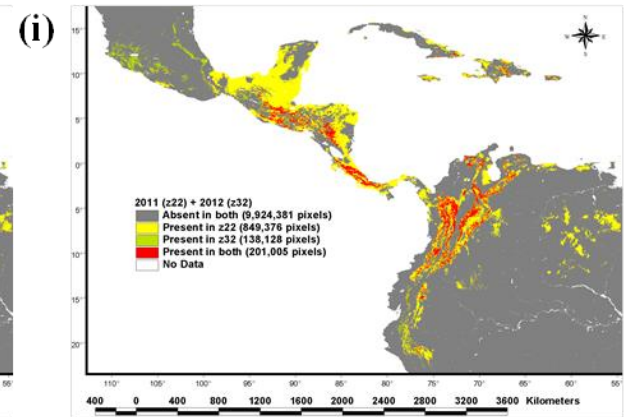
Z20 and Z22 superpuestos



Z20 and Z32 superpuestos



Z22 and Z32 superpuestos



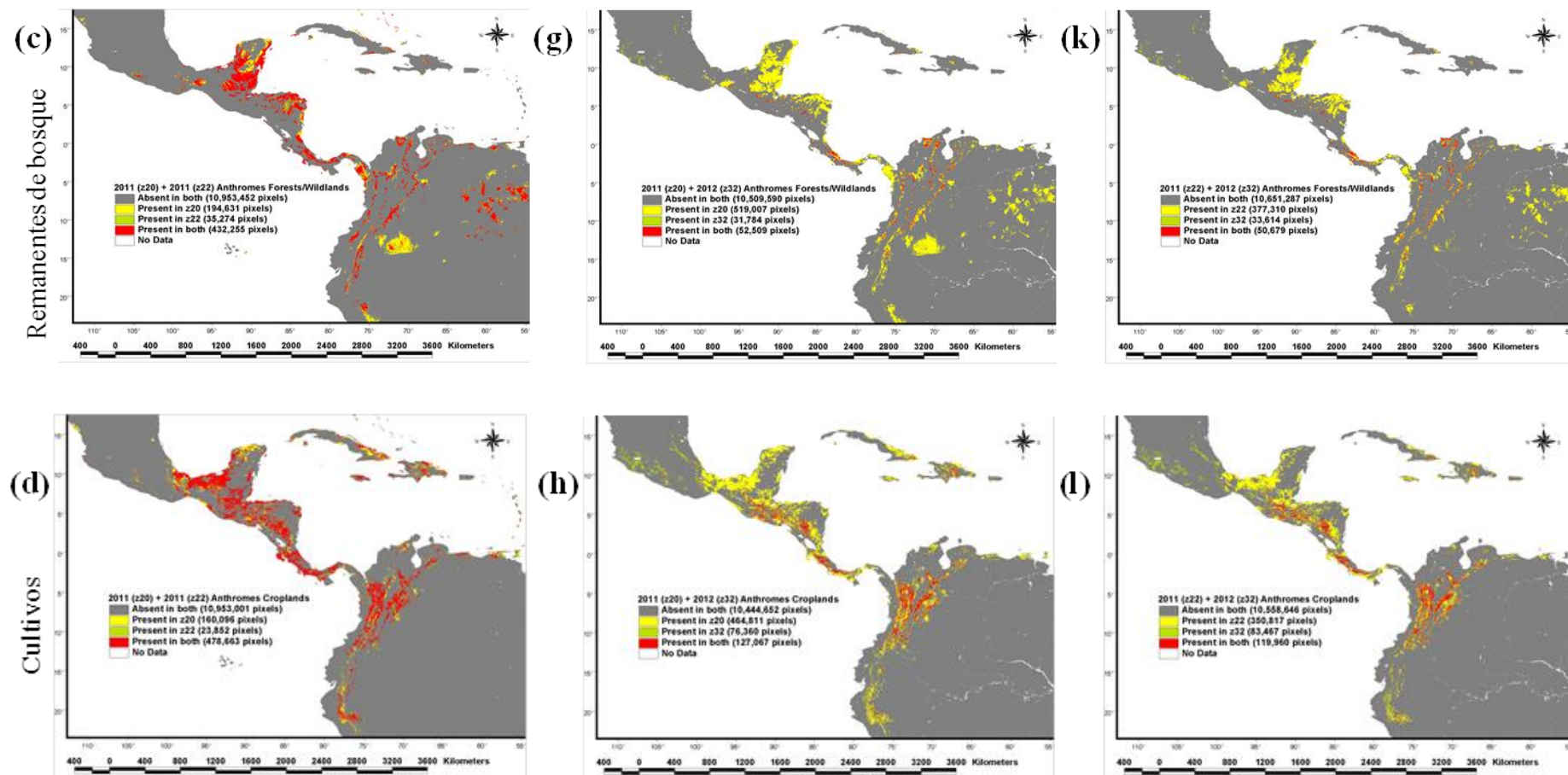


Figura 1. Mapas potenciales de distribución para la Reinita Alidorada (*Vermivora chrysoptera*) en su zona de no reproducción superpuestos y restringidos a varios tipos de ecosistemas. Modelo Final 3 (Z20) y Final 7 (Z22), generados por Lobo-y-HenriquesJC & Arteaga (2013) con base en información histórica y nuevos datos de campo usando las 19 biovariables de WorldClim, y modelo Final-actual (Z32), generado con base en nuevos datos de campo usando 34 variables medioambientales que describen el terreno, las coberturas vegetales, la intervención humana de los ecosistemas y la precipitación.

Plan de acción

Tomando como base los resultados obtenidos a partir de mis modelos y análisis, delineé un borrador de plan de conservación para la Reinita Alidorada en Colombia. El mismo también se nutrió de la revisión de un primer borrador no publicado esbozado por Arteaga (2011) y de varios de los vacíos de investigación señalados por Chandler (2011), en un estudio sobre la ecología de la especie realizado en Costa Rica. Usé un esquema similar a otros planes de acción previamente publicados en *Conservación Colombiana*. Así, planteé primero unos objetivos, de cada uno de los cuales derivé una serie de resultados esperados y actividades propuestas para alcanzar los mismos. Espero, que este plan de conservación sea una guía que ayude a desarrollar actividades específicas tendientes a la conservación de la Reinita Alidorada en su zona no reproductiva, inicialmente enfocándose en Colombia.

Resultados

Distribución espacial

Mis resultados mostraron que el modelo Final-actual exhibió un muy buen desempeño, el cual fue incluso mejor que los modelos anteriormente generados por Lobo-y-HenriquesJC & Arteaga (2013). En este sentido, pude notar que el modelo Final-actual mostró menor omisión, en tanto que tuvo mayor ganancia y AUC (Cuadro 2).

El análisis *Jackknife* realizado por MaxEnt para evaluar la importancia de las variables medioambientales usadas para el modelado mostró que las variables relacionadas a la elevación (*SRTM*-promedio, *SRTM*-mínimo y *SRTM*-máximo) tuvieron cada una las mayores contribuciones en la ganancia regularizada del modelo (≈ 1.67), seguidas por los índices de intervención humana de los ecosistemas (*LWP*-*HFP2* y *LWP*-*HII2*) que tuvieron una ganancia regularizada cada uno de ≈ 1.10 . Además, el análisis de contribuciones, que estima el aporte relativo de cada variable al modelo, mostró que para el modelo Final-actual las variables que exhibieron mayor contribución porcentual fueron en orden descendente: *SRTM*-máximo (22.6%), *LWP*-*HII2* (17.2%), *SEDAC*-pastos (15.7%), *VCF*-suelo (10.8%), *VCF*-árboles (9.5%), *SRTM*-mínimo (8.4%) y *SRTM*-promedio (5.2%). En tanto que las variables con mayor importancia de permutación fueron: *VCF*-suelo (46.8%), *SEDAC*-pastos (20.0%) y *LWP*-*HII2* (8.1%).

Por otro lado, al superponer los diferentes mapas potenciales de la distribución de la Reinita Alidorada pude observar una serie de patrones emergentes de interés (Figura 1). Los modelos Final 3-Z20 y Final 7-Z22 (Lobo-y-HenriquesJC & Arteaga 2013), generados solamente con base en capas climáticas, mostraron una alta similitud. Superponiéndose en un ≈ 65 –72% de las áreas predichas como adecuadas para la existencia de la especie (Figura 1a–d). Sin embargo, es de interés resaltar que el modelo Final 7-Z22, generado con base en información histórica y nuevos datos de campo,

exhibió predicciones más precisas y algo más restringidas espacialmente que el modelo Final 3-Z20.

El modelo Final-actual, generado solo con base en los nuevos datos de campo, no mostró una saturación espacial de las áreas predichas como adecuadas para la Reinita Alidorada por los modelos puramente climáticos (Final 3-Z20 y Final 7-Z22); superponiéndose en solamente ≈ 14 –17% de las áreas (Figura 1e–i). Este patrón varió cuando los modelos fueron restringidos a áreas que potencialmente podrían sostener bosques (Figura 1f, j), áreas que actualmente constituyen remanentes de bosque, habitados o no (Figura 1g, k) y áreas que actualmente constituyen cultivos (Figura 1h, l). Así, cuando los modelos superpuestos fueron restringidos a áreas que potencialmente podrían sostener bosques (Ramankutty & Foley 1998), no observé mayor cambio en la saturación de las áreas adecuadas para la Reinita Alidorada. Sin embargo, al ser restringidos a zonas que actualmente son remanentes de bosque y cultivos (Ellis & Ramankutty 2008), observé que para el caso de los bosques la saturación disminuyó a un ≈ 9 –11% de las áreas, mientras que en el caso de los cultivos la saturación aumentó a un ≈ 19 –22% de las áreas predichas como adecuadas para la Reinita Alidorada.

Además, cabe anotar que, en general, cuando los modelos superpuestos fueron restringidos a zonas que potencialmente podrían sostener bosques el área total predicha como adecuada para la Reinita Alidorada disminuyó en un ≈ 14 % (Figura 1b, f, j). Este patrón fue exacerbado al restringir los modelos superpuestos a remanentes de bosque, disminuyendo en ≈ 75 % (Figura 1c, g, k). De manera contraria, cuando los modelos superpuestos fueron restringidos a zonas de cultivos el área adecuada para la especie fue mayor con relación al área adecuada para la especie después de restringir los modelos superpuestos a remanentes de bosque, superándola en un ≈ 137 –142% (Figura 1d, h, l). Hecho que sugiere la potencial importancia de este último “Antroma” para cualquier iniciativa de conservación para la especie en su zona no reproductiva; puesto que buena parte del hábitat original ha sido extirpado. Los remanentes de bosque, la vegetación secundaria y los cultivos amigables con la biodiversidad (e.g. café a la sombra) son de gran importancia en estas regiones; esto, siempre y cuando las tasas de supervivencia para la especie en los diferentes hábitats dentro de la matriz de cultivos sean iguales o mayores a las de los hábitats originales.

Finalmente, es interesante anotar que en lo referente a la distribución espacial de las predicciones, el modelo Final-actual llenó los modelos puramente climáticos – Final 3-Z20 y Final 7-Z22 – (Lobo-y-HenriquesJC & Arteaga 2013) principalmente en las zonas de Montaña entre los $\approx 1,000$ –2,500 m. En tanto que no saturó los modelos climáticos en áreas por debajo de los $\approx 1,000$ m y por encima de los $\approx 2,500$ m. De forma diferente, el modelo Final-actual mostró nuevas áreas que anteriormente no habían sido predichas por los modelos climáticos, especialmente en la cota cercana a los $\approx 1,000$ m en varios segmentos de la Sierra Madre entre

México y Guatemala, y en las cordilleras Andinas de Venezuela, Colombia y Ecuador; en Colombia particularmente en la vertiente oriental de la Cordillera Oriental y en los valles altos de los ríos Cauca y Magdalena.

Portafolios de conservación

Los análisis iniciales mostraron que el sistema de reservas existente no cubre la meta propuesta de protección del 50% de la distribución continental de la Reinita Alidorada; incluyendo solamente cerca del 20% de la meta. Esta situación cambió después de haber ejecutado mis experimentos, incluso desde los primeros ensayos de sensibilidad, demostrando la utilidad de la herramienta.

Así pues, todos los mejores portafolios obtenidos durante los ensayos de sensibilidad cumplieron con la meta propuesta. Además, pude notar un incremento en el costo total de los mejores portafolios a medida que incrementé la constante modificadora de la longitud del borde (*MLB*). Por otro lado, inicialmente el costo fue muy similar cuando el *PSDOS* – proceso de selección en dos pasos (i.e. *Simulated Annealing*) estuvo desactivado o activado. Esta tendencia cambió después de usar un valor para *MLB* de 0.01, cuando pude notar que al activar el *PSDOS* el costo total fue ligeramente mayor (Figura 2). Estos resultados parecerían contradecir el principio mismo de optimización bajo el cual trabaja Marxan. Sin embargo, al calcular la diferencia entre el costo del portafolio que incluye la mejor solución y el portafolio inicial de reservas se puede ver que la diferencia inicialmente incrementa pero que después disminuye vertiginosamente; siendo de menor magnitud al activar el *PSDOS* (Figura 2). Un mayor detalle en los diferentes componentes del costo total puede ser hallado en el Anexo 2. A partir de estos resultados decidí usar valores de la *MLB* entre 0.004 y 0.01 para los ensayos finales. Sin embargo, debido a que el costo incrementa al incrementar el valor de la *MLB* decidí usar un valor de 0.004, el cual optimiza el costo total (Figura 2).

Por otro lado, la inspección visual de los mejores portafolios obtenidos durante los ensayos de sensibilidad mostró que las soluciones fueron más compactas al incrementar el valor de la *MLB* (Figura 3). Aunque, también incrementando en su costo total, como se mencionó en el párrafo anterior. Además, se pudo observar la emergencia de manera más clara de varias áreas de importancia o áreas irremplazables en las zonas de amortiguamiento de varias de las reservas en la zona Andina (Figura 4). Como por ejemplo, Parque Nacional Natural (PNN) Sierra Nevada de Santa Marta, Resguardo Indígena (RI) Arahuaco de la Sierra, PNN Catatumbo–Bari, Reserva Nacional Protectora de Bosques (RNPB) Cuenca Alta del Río Algodonal ríos Orocué y Frio,

PNN Paramillo, RI Río Murindo, RI Chimurro y Nedo, RI Chuscal y Tuguriducito,

RNPB Zona Musinga–Carauta, PNN Las Orquídeas, RNPB Paramo de Urrao, RNPB Río Nare, RI Cobaria, PNN El Cocuy, PNN Pisba, RNPB Cuenca Alta del Río Cravo Sur, RI Tahami del Andagueda, PNN Tatama, PNN Los Nevados, PNN Chingaza, RNPB Paramo Grande, RNPB Cuenas Río Blanco y Negro, RNPB Paramo de Chingaza, PNN Farallones de Cali, PNN Munchique, PNN las Hermosas, PNN Nevado del Huila, PNN Sumapaz, PNN Cordillera de Los Picachos, PNN Alto Fragua–Indi Wasi, RNPB Cuenca Alta del Río Mocoa, RI Sibundoy Parte Alta, y RNPB Laguna La Cocha–Cerro Patascóy.

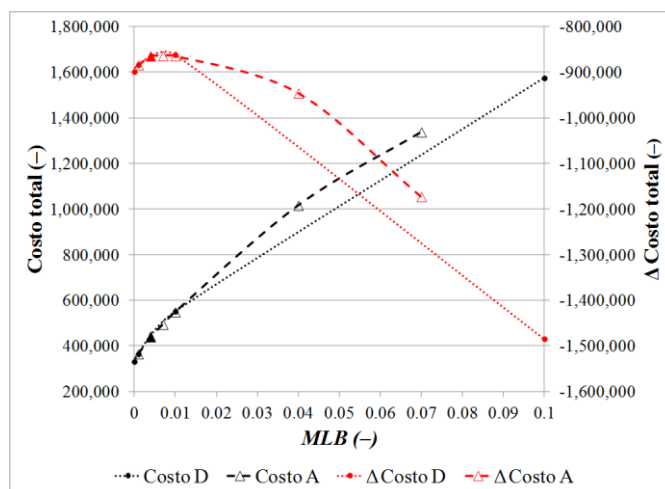


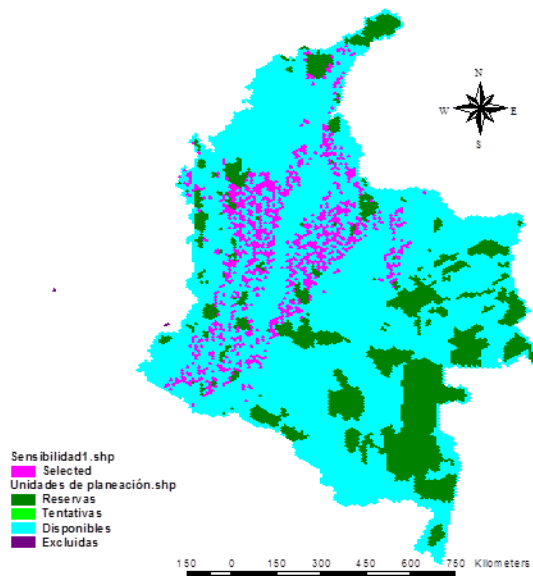
Figura 2. Planeación sistemática de reservas, estudio de caso para Colombia con una meta de conservación del 50% de la distribución en el país de la Reinita Alidorada (*Vermivora chrysoptera*) – modelo Final 7–Z22 (Lobo–y–HenriquesJC & Arteaga 2013). Costo total de los nuevos sistemas de reservas incluyendo las mejores soluciones halladas y la diferencia con relación a la línea base de reservas para los varios ensayos ejecutados en CLUZ–Marxan con el fin de evaluar la sensibilidad a cambios en el valor de la constante modificadora de la longitud del borde (*MLB*) y el uso del *PSDOS* – proceso de selección en dos pasos (i.e. *Simulated Annealing*). Costo D: costo total del sistema de reservas al incluir la mejor solución, *PSDOS* desactivado; Costo A: costo total del sistema de reservas al incluir la mejor solución, *PSDOS* activado, Δ Costo D: diferencia entre el costo total al incluir la mejor solución menos el costo de la línea base de reservas, con el *PSDOS* desactivado; Δ Costo A: diferencia entre el costo total al incluir la mejor solución menos el costo de la línea base de reservas, con el *PSDOS* activado.

PSDOS desactivado

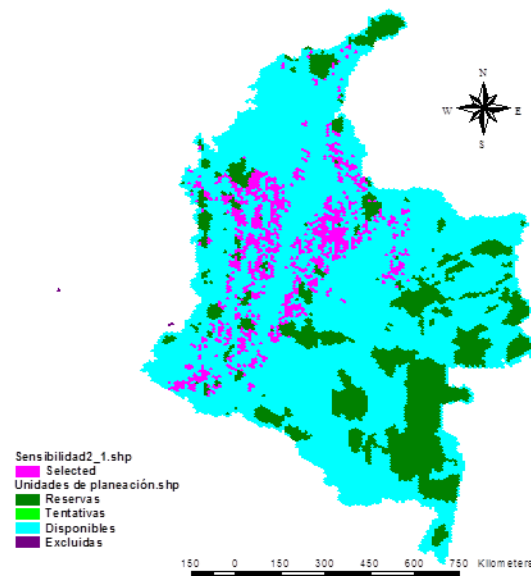
PSDOS activado

PSDOS activado

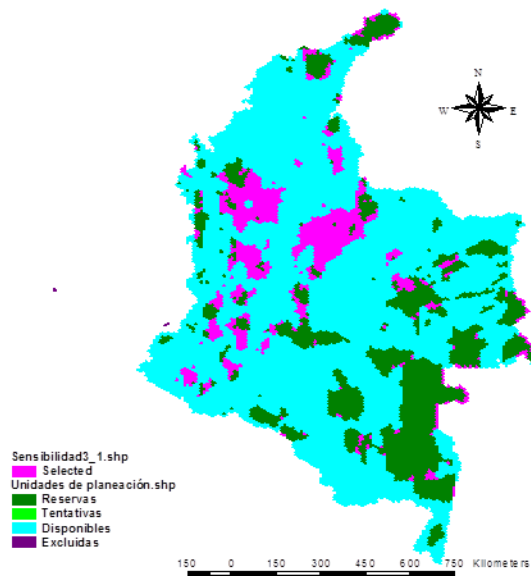
(a)



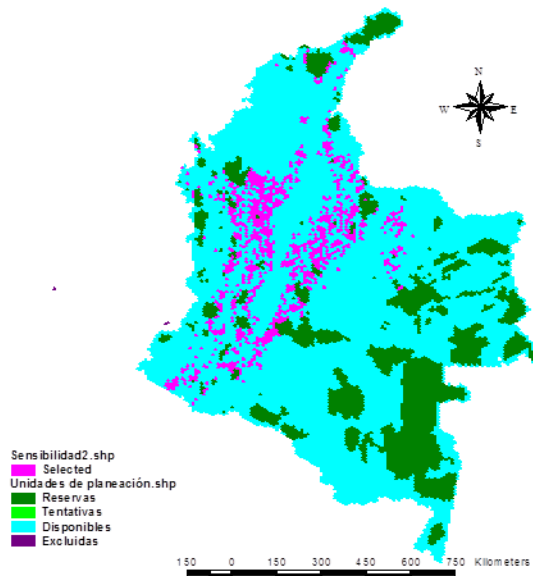
(e)



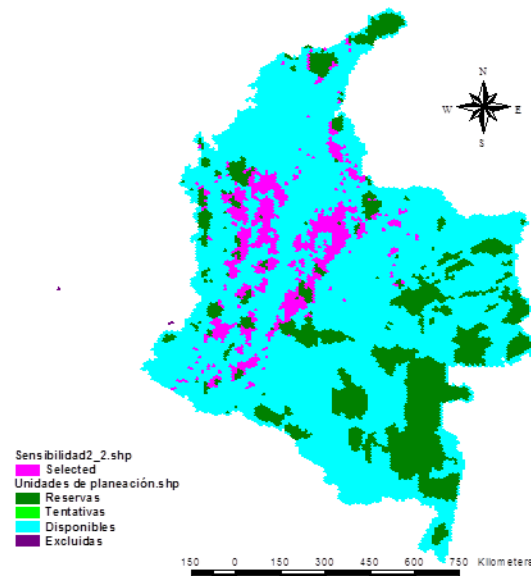
(h)



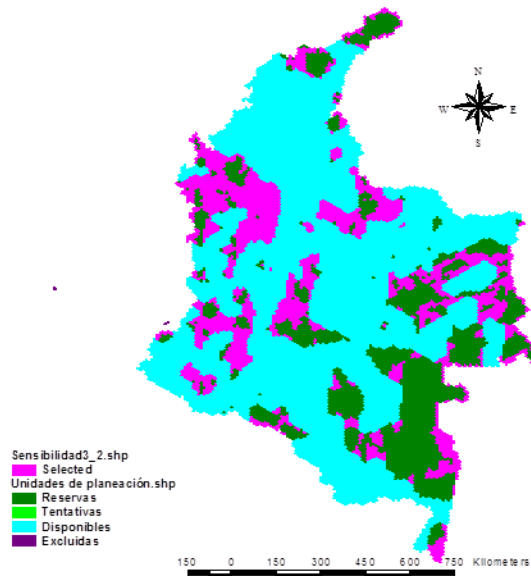
(b)



(f)



(i)



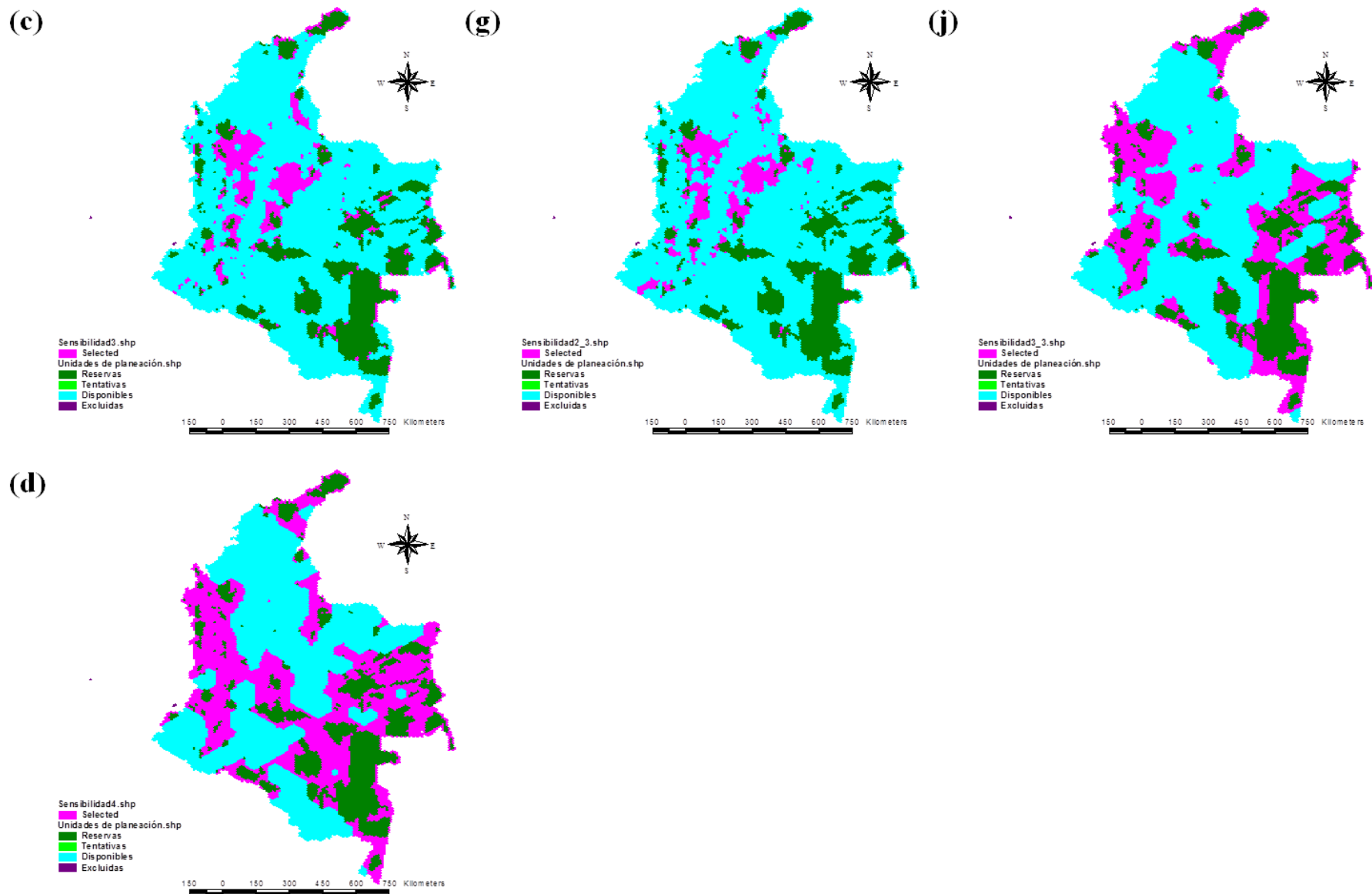
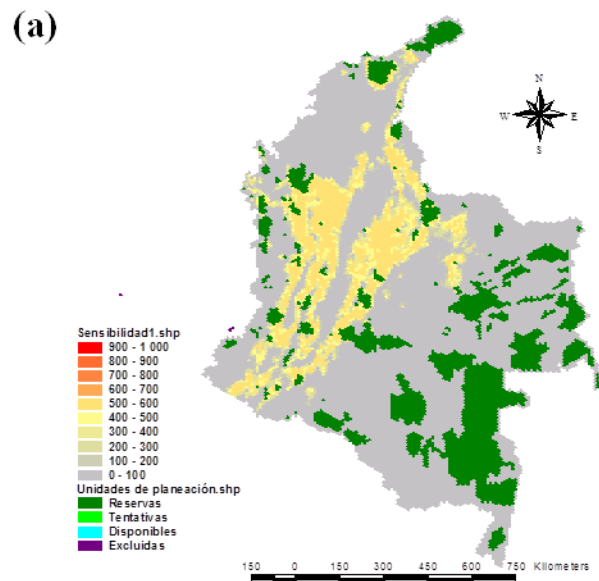
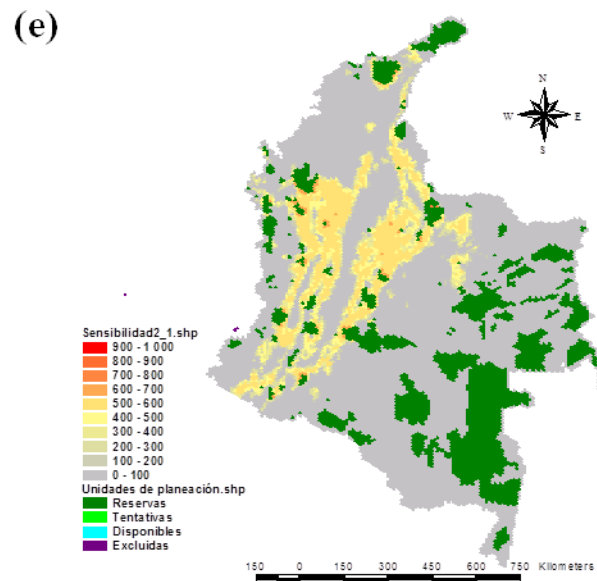


Figura 3. Planeación sistemática de reservas, estudio de caso para Colombia con una meta de conservación del 50% de la distribución en el país de la Reinita Alidorada (*Vermivora chrysoptera*) – modelo Final 7–Z22 (Lobo–y–HenriquesJC & Arteaga 2013). Mejores soluciones de varios ensayos ejecutados en CLUZ–Marxan para evaluar la sensibilidad a cambios en el valor de la constante modificadora de la longitud del borde (*MLB*) y el uso del PSDOS – proceso de selección en dos pasos (*i.e. Simulated Annealing*). Valores que tomó *MLB*: (a) 0, (b) 0.001, (c) 0.01, (d) 0.1, (e) 0.001, (f) 0.004, (g) 0.007, (h) 0.01, (i) 0.04, (j) 0.07. PSDOS desactivado: (a)–(d) y PSDOS activado: (e)–(j).

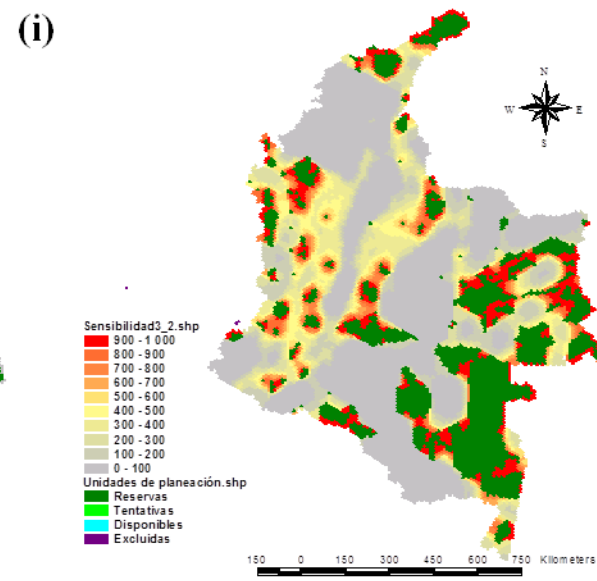
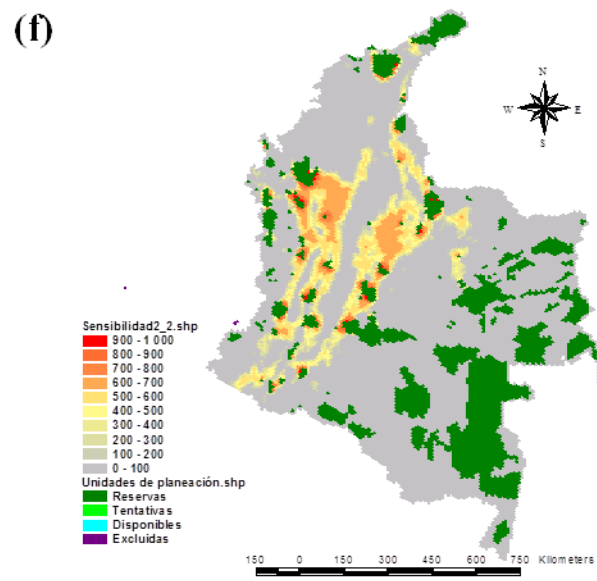
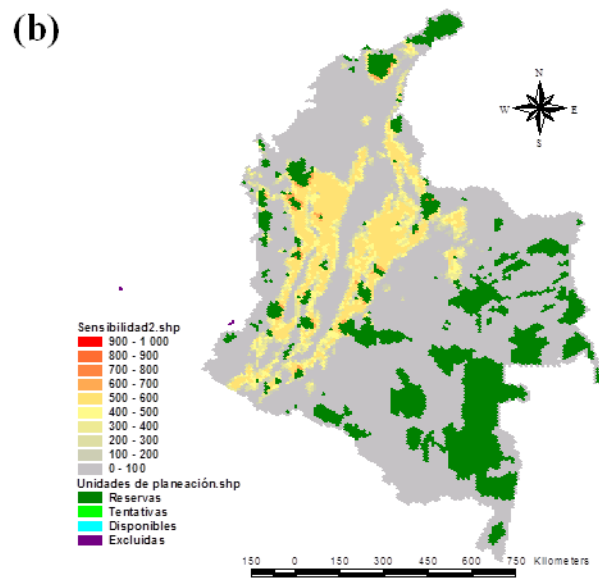
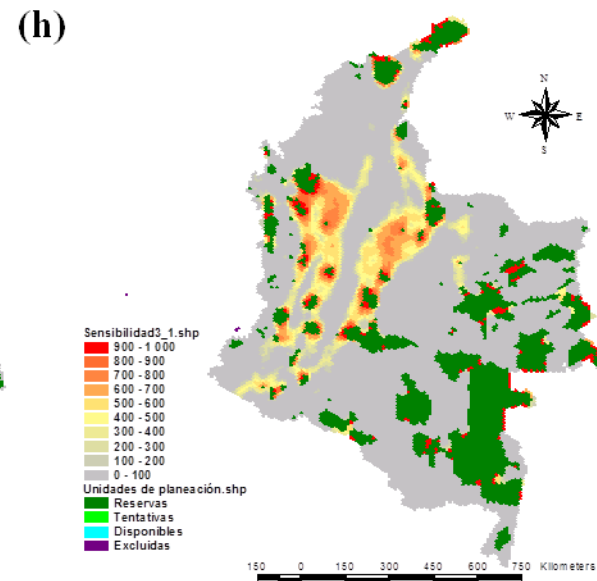
PSDOS desactivado



PSDOS activado



PSDOS activado



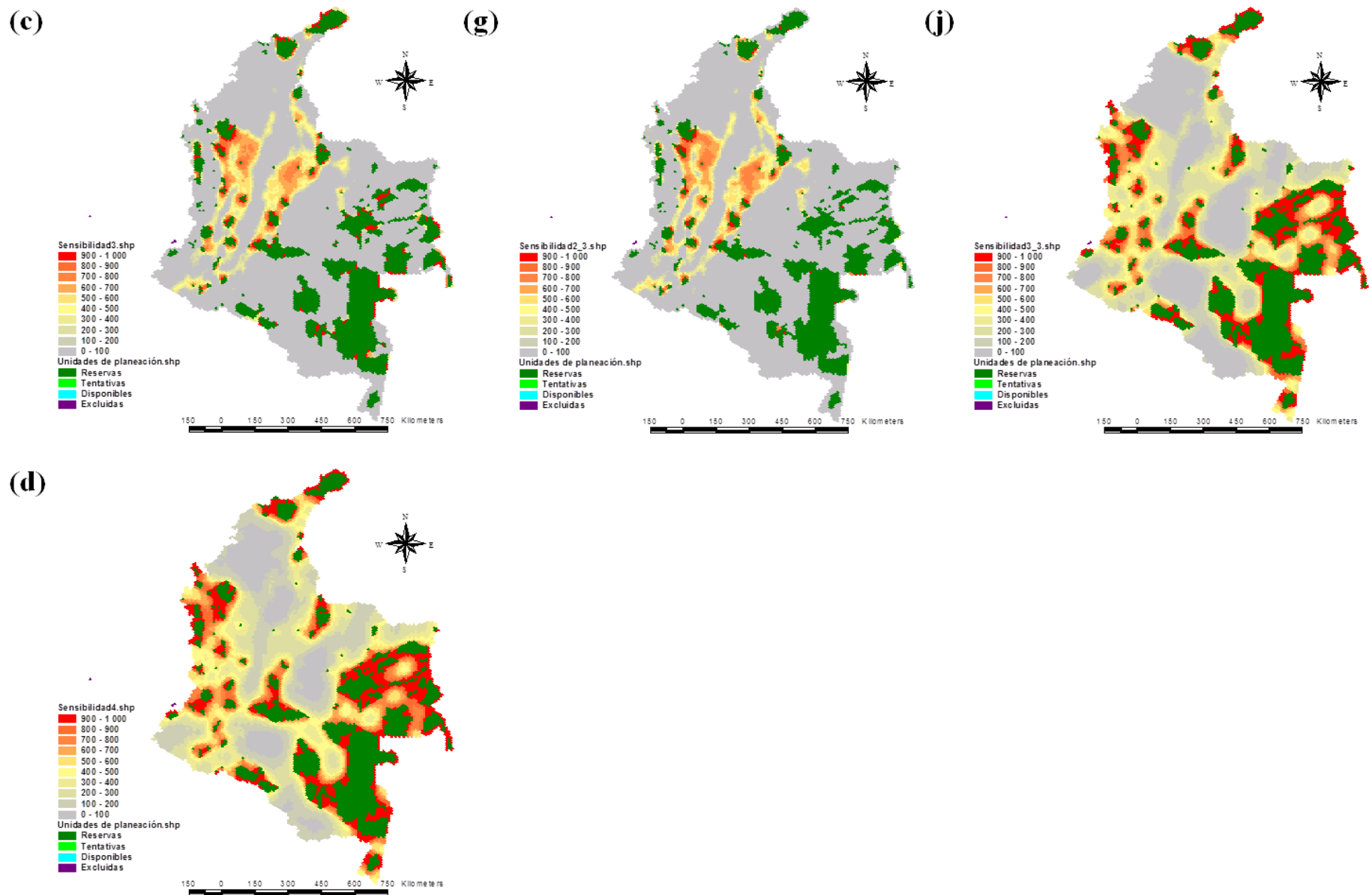


Figura 4. Planeación sistemática de reservas, estudio de caso para Colombia con una meta de conservación del 50% de la distribución en el país de *Vermivora chrysoptera* – modelo Final 7–Z22 (Lobo–y–HenriquesJC & Arteaga 2013). Soluciones acumuladas de varios ensayos ejecutados en CLUZ–Marxan para evaluar la sensibilidad a cambios en el valor de la constante modificadora de la longitud del borde (*MLB*) y el uso del PSDOS – proceso de selección en dos pasos (*i.e. Simulated Annealing*). Valores que tomó *MLB*: (a) 0, (b) 0.001, (c) 0.01, (d) 0.1, (e) 0.001, (f) 0.004, (g) 0.007, (h) 0.01, (i) 0.04, (j) 0.07. PSDOS desactivado: (a)–(d) y PSDOS activado: (e)–(j).

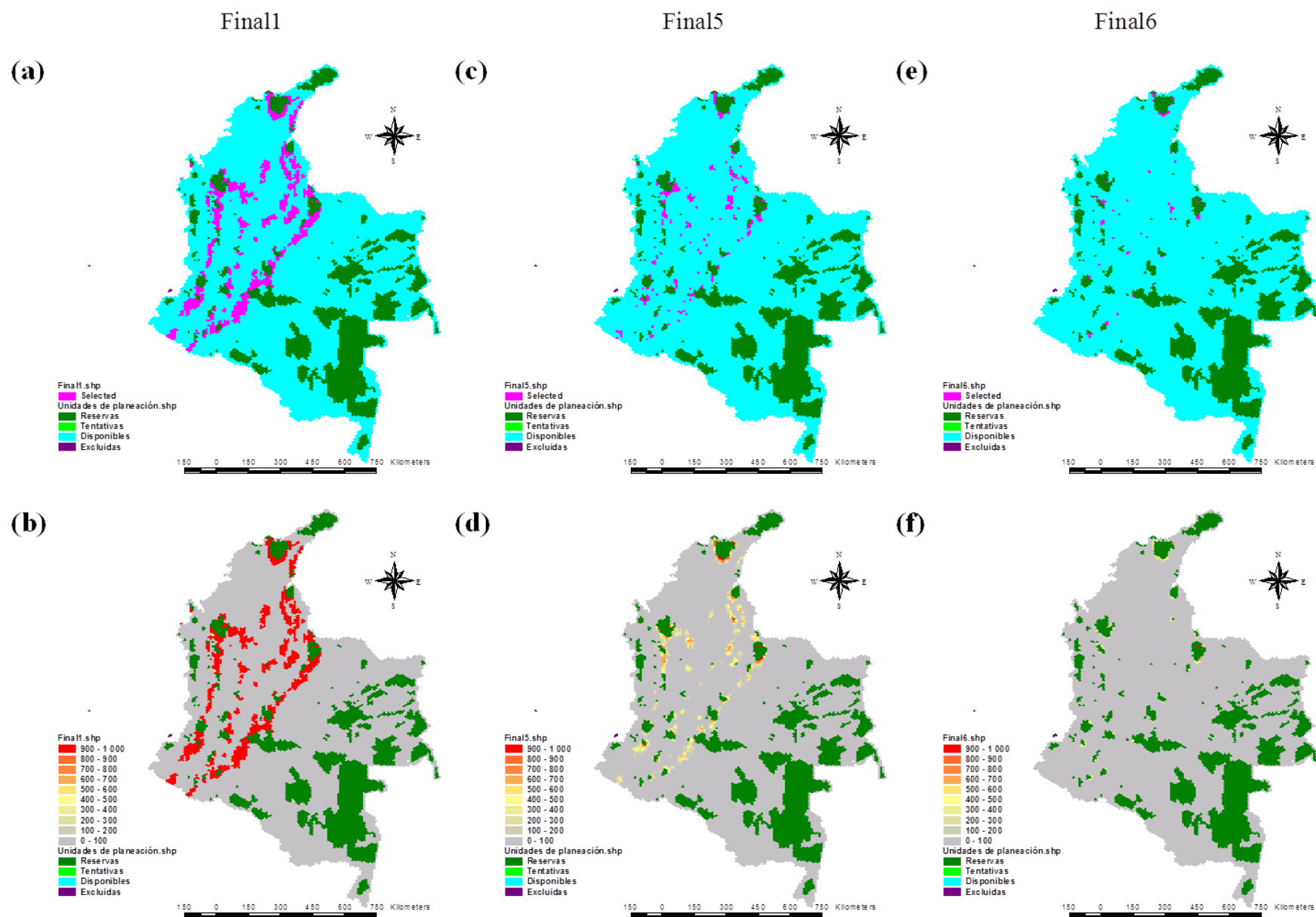


Figura 5. Planeación sistemática de reservas, estudio de caso para Colombia. Soluciones acumuladas (a), (c), (e) y mejores soluciones (b), (d), (f) de varios ensayos ejecutados en CLUZ–Marxan para evaluar la sensibilidad a cambios en las metas de conservación, que variaron así: 50% (CLUZ–Final1), 25% (CLUZ–Final5) y 12.5% (CLUZ–Final6) de la distribución en el país de *Vermivora chrysoptera* – modelos Final 7–Z22 (Lobo–y–HenriquesJC & Arteaga 2013) y Final–actual superpuestos – usando diferencialmente los remanentes de bosques y cultivos. El valor de la constante modificadora de la longitud del borde (*MLB*) fue 0.004 y el PSDOS fue activado.

Cuadro 3. Planeación sistemática de reservas, estudio de caso para Colombia. Costo de los mejores portafolios obtenidos para varios ensayos ejecutados en CLUZ–Marxan para evaluar la sensibilidad a cambios en las metas de conservación, que variaron así: 50% (CLUZ–Final 1), 25% (CLUZ–Final 5) y 12.5% (CLUZ–Final 6) de la distribución en el país de la Reinita Alidorada (*Vermivora chrysoptera*) – modelos Final 7–Z22 (Lobo–y–HenriquesJC & Arteaga 2013) y Final–actual superpuestos – usando diferencialmente los remanentes de bosques y cultivos. El valor de la constante modificadora de la longitud del borde (*MLB*) fue 0.004 y el *PSDOS* – Proceso de selección en dos pasos (*i.e. Simulated Annealing*) fue activado.

Nombre ejercicio	Área combinada ¹	Longitud total del borde ²	Costo total del borde ³	Metas fallidas	Costo combinado del factor de penalización ⁴	Costo total portafolio	Δ Costo ⁵
Estado inicial	230,600	18,277,072	73,108	4.00	17,000,000	17,303,708	
Final1	321,500	26,509,820	106,039	1.00	10,000,000	10,427,539	-6,876,169
Estado inicial	230,600	18,277,072	73,108	4.00	17,000,000	17,303,708	
Final5	253,700	22,166,999	88,668	0.00	0	342,368	-16,961,340
Estado inicial	230,600	18,277,072	73,108	4.00	17,000,000	17,303,708	
Final6	236,300	19,083,596	76,334	0.00	0	312,634	-16,991,074

¹ Unidad: km²; este valor equivale en este Cuadro al mismo **costo combinado** por lo cual no lo repetimos en otra columna

² Unidad: m

³ Longitud total del borde × *MLB*

⁴ Sin unidades

⁵ Costo del portafolio que incluye la mejor solución en el sistema de reservas – Costo del portafolio inicial de reservas.

Al inicio del primer ensayo final (CLUZ–Final 1), antes de ejecutar Marxan, solo dos metas de conservación estaban cubiertas; incluso sobrepasando ampliamente los valores propuestos en la Cuadro 1. Sin embargo, las metas asociadas a los atributos de biodiversidad que se consideraron de mayor importancia, que básicamente correspondieron a las áreas de coincidencia de los mapas potenciales de distribución superpuestos y restringidos a zonas de bosque y cultivos, fueron cubiertas dentro el sistema de reservas de línea base en ≈14% y ≈18% del valor propuesto respectivamente. En los dos ensayos posteriores, CLUZ–Final 5 y CLUZ–Final 6, al cambiar la meta general de conservación inicial del 50% al 25% y luego al 12.5 % de la distribución potencial continental de la Reinita Alidorada, la cobertura de las metas de conservación se duplicó en cada paso con relación al anterior. Así pues, por ejemplo, cuando la meta general se redujo al 25% de la distribución, los dos atributos de mayor importancia fueron cubiertos en un ≈35% y ≈28% del valor propuesto respectivamente; mientras que cuando la meta general se redujo al 12.5% de la distribución, los dos atributos de mayor importancia fueron cubiertos en un ≈71% y ≈56% del valor propuesto respectivamente (Cuadro 1).

Después de haber ejecutado Marxan para los ensayos finales y haber agregado el mejor portafolio de conservación producido en cada ensayo a la línea base de reservas, pude observar que para el ensayo CLUZ–Final 1 no se cumplió la meta de conservación para uno de los atributos de la biodiversidad evaluados, a diferencia, en los dos ensayos restantes las metas de conservación propuestas se cumplieron a cabalidad (Cuadro 3). Por otro lado, en el ensayo CLUZ–Final 1, el mejor portafolio de conservación incluyó varias áreas formando una franja que corre de manera cuasi–continua en las vertientes exteriores de las cordilleras Occidental y Oriental y de forma más quebrada en las vertientes de las cordilleras que encierran el valle del Río Magdalena; así como también en la Sierra Nevada de

Santa Marta, la Serranía del Perijá y la Serranía de San Lucas (Figura 5a). La mayor parte de estas áreas también resultaron con puntajes altos en la solución acumulada, mostrando de esta forma las áreas más irremplazables un patrón muy similar (Figura 5b).

Los ensayos CLUZ–Final 5 y CLUZ–Final 6 presentaron mejores soluciones de menor área y costo (Cuadro 3), aunque las mismas aparentemente fueron más fragmentadas (Figura 5c–f). De estos dos análisis se identificó una serie de áreas de potencial importancia para avanzar acciones de conservación. Como por ejemplo, la zona de amortiguación entre el PNN Sierra Nevada de Santa Marta, el PNN Tayrona y La Reserva Natural de las Aves El Dorado; la zona de amortiguación al sur del RI Arahua de la Sierra Nevada; la sección norte de la Serranía de San Lucas; La Reserva Natural de las Aves hormiguero de Torcoroma, la zona al sur de Ocaña, entre San Martín, Abrego, San Alberto y hasta la zona al suroriente de Cachira (incluyendo las RNPB Río Tejo y Cuenca Alta del Río Algodonal, ríos Orocué y Frio); continuando al oriente la zona entre Salazar de las Palmas, Babilonia, Arboledas, Durania, Chinacota, Cucutilla y Pamplonita (zona de amortiguación al occidente de PNN Tama); la zona de la Serranía de Los Cobardes–Yariguies entre San Vicente del Chucuri, Betulia, Zapatoca, Galán, La Reserva Natural de las Aves reinita Cielo Azul y Reserva Natural de las Aves Pauxi Pauxi, El Carmen, Hato, Palmar, Santa Helena del Opón, Simacota y Socorro (nuevo PNN Yariguies); la zona entre Santa María y el área de amortiguación al nororiente del PNN Nevado del Huila (entre Planadas y Río Blanco); la zona entre Sonsón, Argelia y Nariño; la zona entre Yolombo y la Reserva Natural de las Aves Arrierito Antioqueño; la zona de amortiguación al sur del PNN Paramillo desde la zona al occidente de Valdivia y Briceño hasta Dabeiba y Uramita; continuando al sur en la zona entre Frontino y el PNN Las Orquídeas; y más al sur en la zona entre Urrao, Betulia y Salgar; Finalmente, la zona de amortiguación oriental, sur y occidental del PNN

Munchique, La Reserva Natural de las Aves Mirabilis Swarovski y al oriente hacia el Tambo.

Discusión

Distribución espacial

Dado que variables correlacionadas en el espacio no tienen un efecto mayor en los resultados de MaxEnt (Reside *et al.* 2012), creo que el hecho que el modelo Final-actual mostró mejor desempeño, indica que el nuevo modelo generado en este estudio fue realmente más preciso que los modelos anteriores generados por Lobo-y-HenriquesJC & Arteaga (2013). También es interesante anotar que la mayor ganancia obtenida en el modelo Final-actual parece debida al mayor número de variables usadas en este caso (34 variables medioambientales).

En el modelo Final 7 producido anteriormente por Lobo-y-HenriquesJC & Arteaga (2013), los autores encontraron que las variables de mayor importancia de acuerdo al análisis de *Jackknife* realizado por MaxEnt fueron aquellas relacionadas con la temperatura (temperatura media anual-Bio1, temperatura máxima del mes más cálido-Bio5, temperatura media del cuatrimestre más húmedo-Bio8, temperatura media del cuatrimestre más caliente-Bio10 y temperatura media del cuatrimestre más frío-Bio11 (com. pers.)). De manera similar en el modelo Final-actual las variables que exhibieron mayor importancia fueron variables relacionadas con la temperatura (*SRTM*-promedio, *SRTM*-mínimo y *SRTM*-máximo); aunque indirectamente en este caso. Además, en este último ensayo aparecieron en segundo reglón de importancia los índices de intervención humana de los ecosistemas (*LWP-HFP2* y *LWP-HII2*). De manera interesante, las respuestas en las gráficas a cada variable parecen indicar una respuesta unimodal con un pico en la probabilidad logística al tener elevaciones medias (i.e. temperaturas templadas) e índices de intervención medio-bajos. Por otro lado, es interesante anotar que estos resultados son diferentes de lo encontrado por Chandler (2011) en Costa Rica, quien reporta que la selección de hábitat a nivel de segundo orden en dicho país esta correlacionado con la precipitación y no la temperatura. El modelado a nivel de país es de importancia en muchas instancias, aunque como podemos ver en este caso el estudio comparativo a diferentes escalas geográficas es de mucho valor, pues diferentes controles y procesos ecológicos pueden ejercer influencia a diferentes niveles geográficos (Huston 1994; Rosenzweig 1995; Huston 1999).

La saturación tan baja que el modelo Final-actual mostró con relación a los modelos puramente climáticos parece indicar que potencialmente la especie ha perdido la mayor parte de su hábitat original en las zonas no reproductivas en el Neotrópico. Particularmente en el caso de bosques, dicha saturación no superó el 11%, sugiriendo una pérdida cercana al 89% de su hábitat original. Sin embargo, el área cubierta por los nuevos muestreos de campo es algo menor en comparación con la información histórica usada para generar

los modelos puramente climáticos, lo que hipotéticamente podría haber reducido ligeramente el valor predictivo del modelo Final-actual, introduciendo un poco de ruido en la estimación del área del hábitat potencial perdido. Por otro lado, los análisis mostraron que al restringir los varios modelos superpuestos a los remanentes de bosque actuales, el área total potencial para la Reinita Alidorada disminuyó en aproximadamente un 75%.

Para otras especies de aves migratorias neotropicales de interés para la conservación, como por ejemplo la Reinita Cerúlea (*Dendroica cerulea*), se ha demostrado una pérdida de hasta el 64% de área de cobertura boscosa dentro de su rango potencial (modelado usando principalmente variables de clima - WorldClim) solamente para Colombia (ProAves 2009). Sin embargo, la distribución durante la temporada de no reproducción para esta especie incluye también Venezuela, Ecuador y Perú, lo que sugeriría que esta cifra podría llegar a ser de mayor magnitud de considerar el total de su distribución durante la temporada no reproductiva.

De manera similar como para la Reinita Alidorada, para la Reinita Cerúlea y otras aves migratorias neotropicales una porción importante de sus distribuciones potenciales han sido transformadas a cultivos, buena parte de ellos relacionados con café y cultivos varios de manutención (ProAves 2009). La deforestación y fragmentación por un lado disminuyen el hábitat disponible (Meffe & Carroll 1997), mientras que por otro lado pueden ejercer un efecto en la calidad de los hábitats remanentes, y así a su vez en el estado general de salud y la supervivencia de las aves migratorias que utilizan dichos hábitats durante la temporada de no reproducción (ProAves *et al.* 2010).

A pesar que varios estudios han sugerido la importancia de los cultivos de café a la sombra para la biodiversidad y en particular para las aves (Calvo & Blake 1996; Perfecto *et al.* 1996; Greenberg *et al.* 1997; Botero *et al.* 1999b, a; Botero & Verhelst 2001; Verhelst *et al.* 2002; Sanchez-Clavijo *et al.* 2008; Duran *et al.* 2009), hasta al menos hace seis años ningún estudio había demostrado si las aves migratorias neotropicales realmente tienen preferencia por dicho hábitat o si el uso de este hábitat tiene un efecto positivo en la supervivencia e idoneidad biológica de dichas aves comparado con bosques nativos (Komar 2006). En este sentido, en el estudio más detallado hasta el momento sobre la ecología de la Reinita Alidorada durante su etapa no reproductiva, realizado en Costa Rica, Chandler (2011) demostró que la especie es un especialista de micro-hábitats con características que indican perturbación (e.g. bejucos y hojas secas en el perfil vertical) y con afinidad por aperturas en bosque primario, bosque secundario avanzado y pendientes inclinadas; aunque la especie también puede usar el cafetal con sombrío, debido aparentemente a que las características de micro-hábitat que prefiere también pueden encontrarse allí. Además, el mismo autor sugiere que la especie registró durante su estudio una supervivencia aparente relativamente baja en comparación a otros estudios de aves migratorias neotropicales realizadas en

Latinoamérica y el Caribe (0.93 individuos/mes); que él explica como consecuencia de la potencial tasa diferencial de depredación entre estudios realizados en zonas insulares y el continente, e indicando que potencialmente la mayor mortalidad de individuos posiblemente ocurre previamente a la migración. No obstante, este estudio falla en obtener estimativos específicos para la supervivencia en los diferentes elementos del paisaje, particular sobre el cual el mismo estudio apunta como un área potencial de desarrollo para futuras investigaciones.

Es interesante anotar también, que resultados similares a los obtenidos por Chandler (2011) en Costa Rica en lo referente a la selección de hábitat, ya habían sido sugeridos en un estudio realizado en Colombia. En dicho estudio, Sanchez–Clavijo *et al.* (2008), utilizando una base de datos de cerca de 5,000 registros de aves migratorias neotropicales obtenidos durante 1998 y 2008 para la zona cafetera de Colombia, demostraron que la Reinita Alidorada presenta una afinidad neutra por dicha zona, en tanto que obtuvieron estimativos de frecuencia de encuentros de mayor magnitud en fragmentos de bosque en comparación al cafetal bajo sombra (0.81 vs. 0.17). Por otro lado, un resultado de mayor significancia obtenido por Chandler (2011), a partir del seguimiento de 27 individuos de la Reinita Alidorada usando radio-telemetría, parece ser el hecho que todos los individuos registrados en el cafetal de sombra usaron este hábitat como corredor para cruzar entre parches de bosque cercanos; lo que demostraría de manera casi concluyente la preferencia de las zonas de bosque en este tipo de regiones fragmentadas. En Colombia observaciones realizadas en campo son coincidentes con estas conclusiones.

De todos los anteriores resultados se desprenden tres directivas de importancia para la conservación de la especie en la zona no reproductivas. Primero, debido a la gran proporción que se estima se ha perdido en el área potencial de distribución de la especie dentro de zonas de bosques, es prioritario enfocar nuestros esfuerzos de conservación hacia la protección de áreas con bosques primarios y secundarios en estado avanzado de conservación. Segundo, en zonas ocupadas principalmente por cultivos, las cuales forman una porción importante del área potencial de distribución de la especie en la actualidad, es esencial avanzar en la reforestación y restauración de los parches de bosque existentes para crear un mosaico de hábitats apto para esta especie. En este sentido, por ejemplo, en Colombia la Federación Nacional de Cafeteros y CENICAFE han avanzado extensas campañas para la conservación de los bosques aledaños a cursos de aguas en fincas cafeteras durante los últimos 30 años. La razón primordial para dichas campañas fue inicialmente la conservación del recurso hídrico. Sin embargo, así como ha avanzado el conocimiento regional de la biodiversidad y se ha confirmado la importancia de estos remanentes de bosque (Botero *et al.* 1999b, a; Botero & Verhelst 2001; Botero *et al.* 2001; Verhelst *et al.* 2002; Sanchez–Clavijo *et al.* 2008; Duran *et al.* 2009), así mismo se ha empezado a hacer hincapié en el valor de los mismos desde el punto de vista de la Biología de

la Conservación (J. E. Botero com. pers.). Sin embargo, aún es necesario hacer extensivos a toda la zona de no reproducción esfuerzos similares e introducir todas las posibles herramientas de conservación para la protección y restauración de los remanentes de bosque dentro de regiones altamente fragmentadas. Tercero, es esencial avanzar de manera coordinada estudios ecológicos y de monitoreo de poblaciones de mediano y largo plazo en toda la zona de no reproducción. Además, es importante establecer observatorios ornitológicos para la migración, replicando metodologías similares a las usadas por Chandler en Costa Rica (2011), que en última instancia, sería la única forma de definir de manera concluyente la importancia a nivel regional de los remanentes de bosque dentro de las zonas de cultivos altamente fragmentadas para las aves migratorias neotropicales.

Portafolios de conservación

El uso de metodologías y herramientas de conservación como las que empleé en este estudio para la planeación sistemática de reservas aún es incipiente en Latinoamérica y el Caribe. Así, hasta el momento la designación de reservas se ha hecho de manera oportunista y con base en la opinión de expertos, comúnmente tratando de proteger ecosistemas y/o especies de interés para la conservación (Verhelst 2011). Sin embargo, con la aparición de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Sensores Remotos (SR) se han dado pasos importantes en la evaluación de la cobertura de la biodiversidad dentro de los sistemas de reservas existentes. Por ejemplo, en Colombia se ha evaluado usando SIG y SR la cobertura de los ecosistemas presentes dentro de su territorio (Chaves & Arango 1998; Armenteras *et al.* 2003; Romero *et al.* 2008). Igualmente, se ha avanzado, usando herramientas similares, en el modelado de los factores determinantes de la deforestación y de las regiones más vulnerables a la remoción de la vegetación natural (Etter *et al.* 2006; Etter *et al.* 2008). No obstante, a pesar de estos avances, aún hay pocos ejemplos del uso de herramientas de planeación sistemática de reservas para plantear y resolver problemas específicos de conservación. Por ejemplo, para Mesoamérica, El Chocó y los Andes Tropicales, Sarkar *et al.* (2009) usando el programa ResNet llevaron a cabo una evaluación de la cobertura y las áreas prioritarias de conservación para las especies en peligro identificadas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). Estos autores encontraron una cobertura relativamente baja de los atributos de la biodiversidad estudiados dentro del sistema de reservas regionales, obteniendo las coberturas más bajas en Colombia y Ecuador. Además, sus análisis demostraron una amplia distribución espacial para las áreas sugeridas como de importancia para la conservación, y sugieren que de desear una alta cobertura de la biodiversidad amenazada, los sistemas de reservas deben complementarse con estrategias de manejo que incluyan el uso humano de áreas fragmentadas, puesto que de otra manera deberían adquirirse áreas demasiado extensas para la conservación. En otro ejemplo, en Colombia, Velasquez–Tibata & Lopez–Arevalo (2006), usando los programas Marxan y C–Plan, realizaron un análisis similar

para 11 especies de loros amenazados de Colombia según la UICN. Estos autores encontraron una cobertura baja de las distribuciones espaciales de los loros amenazados dentro del sistema nacional de reservas, y una baja superposición de las áreas identificadas como de alta prioridad – zona sur de la Sierra Nevada de Santa Marta y zona centro-sur de las cordilleras andinas, particularmente en la cordillera Central – con las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAs). Además, su estudio sugiere la necesidad de ampliar las áreas de reserva y las AICAs para lograr proteger porciones mayores de las distribuciones de las especies de interés. Cabe anotar que los sistemas de áreas protegidas de la Fundación ProAves y la Asociación Red de Reservas de la Sociedad Civil – RESNATUR, que no fueron incluidos en este estudio, aportarían a las necesidades encontradas en lo que se refiere a la ampliación de áreas protegidas.

De manera similar a los estudios mencionados en el párrafo anterior, en mi estudio pude observar una cobertura relativamente baja de las metas de conservación propuestas antes de ejecutar Marxan. Primero, durante los ensayos de sensibilidad la meta única establecida – $\approx 107,224 \text{ km}^2$ de la distribución continental de la Reinita Alidorada – solo estuvo incluida dentro del sistema nacional de reservas en un $\approx 20\%$. Segundo, durante los análisis finales las dos metas de conservación más importantes – $\approx 22,562 \text{ km}^2$ de las áreas de coincidencia de los varios modelos superpuestos y los remanentes de bosque y $\approx 13,537 \text{ km}^2$ de las áreas de coincidencia de los varios modelos superpuestos y las zonas de cultivos – solo estuvieron inicialmente incluidas en $\approx 14\%$ y $\approx 18\%$ respectivamente en el ensayo CLUZ-Final 1. Posteriormente en los ensayos CLUZ-Final 5 y CLUZ-Final 6, al reducir dichas metas de conservación en un 50% cada vez de manera consecutiva, la cobertura de las mismas dentro del sistema nacional de reservas aumentó a un $\approx 35\%$ y $\approx 28\%$ y luego a un $\approx 71\%$ y $\approx 56\%$ respectivamente.

Por otro lado, al ejecutar Marxan solamente para el ensayo CLUZ-Final 1 no se logró una meta de conservación, de otra forma todas las metas fueron alcanzadas. Además, cabe anotar que las soluciones del ensayo CLUZ-Final 5 fueron de mucho interés, pues el mismo combina varias características deseables. Primero las soluciones obtenidas estuvieron basadas en un objetivo de conservación general intermedio y segundo en la solución acumulada las áreas señaladas exhibieron un rango más amplio de valores, lo que permite priorizarlas de manera más objetiva. Así mismo, aunque el mejor portafolio de conservación y la solución acumulada parecen más fragmentadas, las mismas permitieron distinguir varias zonas de interés en la Sierra Nevada de Santa Marta y en las vertientes de las cordilleras Andinas (Figura 5) lugares de actividad y establecimiento de reservas naturales de la Fundación ProAves que pueden ser de importancia para concentrar una serie de primeros esfuerzos dirigidos a la expansión de las áreas de reserva existentes o al manejo de áreas de cultivo para la conservación de la Reinita Alidorada.

A pesar de nuestro avance inicial en la planeación sistemática de reservas para la Reinita Alidorada en Colombia, aún hay varios puntos para ser fortalecidos en estudios subsecuentes. En particular, un punto en el cual fallan muchos estudios es que estos no incluyen bases de datos completas de las áreas de reserva al hacer los análisis de cobertura. Por ejemplo, para nuestro estudio piloto en Colombia, sabemos que en la Base de Datos Mundial de Áreas Protegidas versión 2010 (IUCN-UNEP-WCMC 2010) buena parte de las áreas bajo la jurisdicción de las corporaciones autónomas regionales, áreas de reserva municipales y áreas de reserva privadas, como por ejemplo las reservas de RESNATUR y ProAves no están incluidas. Actualmente aún es un reto conseguir en el “dominio público” bases de datos digitalizadas de muchas de estas reservas, aunque varias entidades a nivel nacional han avanzado esfuerzos para completar dichas bases de datos (Vazquez & Serrano 2009). No obstante, hasta no tener bases de datos más completas de los sistemas nacionales de reserva, los estimativos realizados de cobertura continuaran siendo subestimados. Un rápido análisis de las áreas de reserva de ProAves muestra que varias de estas se encuentran en zonas predichas por nuestros modelos como de importancia; El Dorado, Pauxi-pauxi, Reinita Cielo-azul, Miriabilis-Swarosky, Ranita Dorada, Las Tangaras, Arrierito de Antioquia y Hormiguero de Torcoroma. Aumentando el área protegida para la especie en $\approx 71 \text{ km}^2$. Por otro lado la inclusión de las AICAs, probablemente también aumentaría la figura de protección pues varias de estas áreas se superponen con nuestros modelos, aunque estas son mejor interpretadas como herramientas de conservación debido a que no cuentan con figura legal de protección. Además, es necesario extender esfuerzos similares al realizado en este estudio a otros países en Latinoamérica y el Caribe para lograr una aproximación regional a la definición de las zonas prioritarias para la conservación de la Reinita Alidorada. Sin embargo, cabe anotar que un esfuerzo así, debería considerar incluir todas las especies migratorias de interés para la conservación. Por otro lado, también es recomendable a futuro refinar los costos según las diferentes acciones de conservación planeadas, pues investigaciones relativamente recientes han demostrado que una definición más clara del problema de conservación y costos más ajustados a la realidad pueden conllevar a resultados más precisos, reduciendo los costos totales significativamente (Carwardine *et al.* 2008).

Plan de acción

El siguiente plan de acción lo planteamos enfocándonos en Colombia, pero dentro del contexto general de la zona de no reproducción. De manera tal, que este plan sea una guía para la ejecución de acciones en otros países en Latinoamérica y el Caribe donde la Reinita Alidorada (*Vermivora chrysoptera*) pasa o permanece durante el invierno boreal. A continuación planteamos el objetivo último de nuestro plan y seguidamente en la Cuadro 4 desarrollamos una serie de objetivos específicos, resultados esperados y tareas a realizar para llegar al mismo.

Cuadro 2. Plan de conservación para la Reinita Alidorada (*Vermivora chrysoptera*) en su zona de no reproducción con énfasis en Colombia.

Plan de conservación para la Reinita Alidorada (*Vermivora chrysoptera*) en su zona de no reproducción con énfasis en Colombia.

Objetivo general: Asegurar la protección y el manejo adecuado de los hábitats que la Reinita Alidorada usa durante los ocho meses del año que permanece en sus zonas de no reproducción en el Neo trópico.

Objetivos específicos	Resultados esperados	Tareas a realizar	Posibles actores responsables
1. Identificar las áreas prioritarias para la conservación de la Reinita Alidorada	a. Análisis de cobertura y prioridades de conservación para los países dentro del área de no reproducción completado	i. Extender los análisis realizados por Lobo-y-HenriquesJC en este artículo, usando CLUZ y Marxan u otro tipo de programas para la planeación sistemática de reservas, al resto de países que hacen parte de la distribución de la especie durante su temporada de no reproducción	- ONGs
	b. Posibles áreas para expansión de reservas identificadas	ii. Continuar mejorando los modelos de distribución usando otras técnicas de modelado como MaxVer “Máxima Verosimilitud” y Estadísticas Bayesianas que aparentemente generan buenos resultados con datos de presencia-ausencia ¹	- Laboratorio de Ornitología de Cornell, otras instituciones estatales y privadas
	c. Posibles áreas para implementación de herramientas de manejo de hábitats identificadas	iii. Repetir análisis cada 5 años iterativamente, según nuevos datos sobre la especie son colectados en el campo. Así mismo como aparezcan nuevos datos provenientes de sensores remotos de mayor precisión	- USGS e instituciones conservacionistas con o sin presupuesto.
2. Determinar las mejores herramientas de conservación y manejo de hábitats para las áreas prioritarias	a. Zonas para compra de tierras establecidas y verificadas	i. Verificar en campo las zonas prioritarias sugeridas a partir de las simulaciones <i>in silico</i> , y según la situación específica en cada área seleccionar las tierras para compra, reforestación y/o restauración	- ONGs y Universidades
		ii. Revisar la literatura relacionada con el tema (c, d) y producir un documento síntesis resumiendo las mejores opciones para la situación latinoamericana	- Miembros GWWA en los países miembros en Latinoamérica y el Caribe
	b. Zonas para reforestación y restauración establecidas y verificadas	iii. Llevar a cabo talleres con los diferentes actores envueltos para obtener una visión participativa y comunitaria sobre los mejores incentivos que podrían funcionar dependiendo de cada zona	- ONGs y Universidades
	c. Programas e incentivos de manejo de bosques secundarios dentro de zonas de cultivos definidos		- Gobiernos locales, regionales (alcaldías, gobernaciones, etc.) y Corporaciones Regionales
	d. Programas e incentivos de manejo de cafetales de sombra definidos		- Cultivadores (<i>e.g.</i> café, cacao, etc.)
3. Implementar las herramientas de conservación y manejo específicas según cada	a. Sistema de reservas expandido	i. Comprar tierras definidas como de importancia	- ProAves y Corporaciones Regionales
		ii. Establecer semilleros y viveros de plantas nativas en cada zona de importancia	- Miembros GWWA en los países miembros en Latinoamérica y el Caribe
	b. Programas de reforestación y restauración	iii. Planear y ejecutar jornadas de reforestación en cada zona de importancia con la participación de las	- ONGs

caso	constituidos	comunidades y gobiernos locales	
	c. Folletos de manejo de bosques secundarios dentro de fincas publicados y diseminados	iv. Producir publicaciones sencillas para dar amplia difusión y extensión a los programas e incentivos de mayor interés según cada zona	- Gobiernos locales, regionales (alcaldías, gobernaciones, etc.) y corporaciones Regionales
	d. Incentivos para la protección de bosques secundarios y sombríos en fincas (e.g. cafeteras, cacaoteras) activados	v. Establecer entidades y/o programas de soporte encargados de realizar un seguimiento sobre la adopción y desempeño de los programas e incentivos de manejo bajo implementación	- Cultivadores (e.g. café, cacao, etc.)
4. Incrementar el conocimiento sobre la ecología de la Reinita Alidorada en su zona de no reproducción	a. Plan de monitoreo y demografía poblacional regional establecido	i. Revisar el actual protocolo de muestreo que usa la GWWA para los inventarios de aves y asegurarse que responde a los varios puntos nuevos de investigación que es necesario resolver, o a tantos de ellos como sea posible	- ProAves y Cornell Lab
	b. Investigaciones locales y regionales sobre la ecología de la Reinita Alidorada incentivadas	ii. Hacer conocer dicho protocolo a un panel amplio de expertos para obtener una adecuada retroalimentación sobre el mismo	- Laboratorio de Ornitología de Cornell e instituciones internacionales
	c. Densidad y abundancia de la especie a través de su distribución espacial estimada	iii. Realizar talleres de entrenamiento internacionales a los miembros de la GWWA en las técnicas de campo a usar	- USGS y ONGs
	d. Uso y preferencia de hábitat a lo largo de su distribución evaluado (usando radio-telemetría)	iv. Hacer presentaciones en universidades locales para dar a conocer la GWWA, sus objetivos y la forma en que estudiantes de tesis pueden participar	- Miembros GWWA en los países miembros en Latinoamérica y el Caribe
	e. Tasas de supervivencia diferencial entre hábitats usados en paisajes fragmentados y no fragmentados estimadas	v. Crear un fondo de tesis y pasantías para financiar pequeños proyectos de investigación en la ecología de la especie	- ONGs
	f. Radio entre sexos y posible segregación espacio-temporal evaluada	vi. Crear una base de datos pública y articularla con iniciativas que estén en ejecución en este momento, como por ejemplo AKN ² , GBIF ³ , etc.	- Universidades
	g. Bases de datos de acceso público en el Internet establecidas		
5. Aumentar el conocimiento público de la especie y la participación comunitaria y gubernamental en los programas de conservación de la especie	a. Programas de educación ambiental en colegios en zonas prioritarias incrementados	i. Entidades miembros de la GWWA en las zonas prioritarias deben fortalecer los lazos con colegios, comunidades y gobiernos locales a través de charlas, convenios interinstitucionales y la creación de grupos ecológicos	- ONGs
		ii. Involucrar a los gobiernos locales en los programas de conservación y manejo y tratar de asegurar contrapartidas por parte de los mismos	- Laboratorio de Ornitología de Cornell, Ministerio del Medio Ambiente, corporaciones y ProAves
	b. Número de miembros de grupos ecológicos y de amigos de las aves incrementado	iii. Establecer un modelo de proyecto de ciencia participativa para ser ejecutado con las comunidades de las zonas de importancia y retroalimentar a las comunidades y a la GWWA con los resultados obtenidos en las diferentes zonas prioritarias	- USGS
	c. Material educativo de extensión sobre la GWWA,	iv. Producir y publicar material educativo de extensión en formato físico y electrónico de soporte	- Miembros GWWA en los países miembros en

	sus objetivos, e información sobre la especie (<i>e.g.</i> afiches y folletos, <i>etc.</i>) publicados y ampliamente diseminados	para las diferentes programas, campañas y festivales que lleven a cabo las instituciones miembros de la GWWA en las zonas prioritarias	Latinoamérica y el Caribe
	d. Proyectos de ciencia participativa junto con las comunidades de las zonas prioritarias establecidos y en marcha		- ONGs
	e. Festival de las aves migratorias en zonas prioritarias establecido y en marcha		- Gobiernos locales y regionales (alcaldías, gobernaciones, <i>etc.</i>)
	f. Relaciones interinstitucionales con Gobiernos locales, ONGs y entre miembros de la GWWA fortalecidos		- Universidades

¹ Royle *et al.* (2012)

² AKN Avian Knowledge Network

³ GBIF Global Biodiversity Information Facility

Agradecimientos

Agradezco a la Fundación ProAves y todo su equipo de trabajo, también a quienes contribuyeron ellos, Maria Isabel Moreno, Jorge Eduardo Paiba Álzate, Jhon Albert Guevara Patiño, Esteban Botero Delgadillo, Johanna Andrea Borrás, Marisol Escaño. A las personas que contribuyeron en la toma de datos en el campo Rosabel Miro R. de la Sociedad Audobon de Panamá, Liliana Chavarría de ALAS Nicaragua, Asociación Ornitológica de Costa Rica, Denis Torres de Fundación Andígena de Venezuela y los miembros de la Alianza Alidorada y el Grupo de Trabajo de la Reinita Alidorada por compartir la información y su apoyo financiero y en especie. A Ken Rosemberg, Kenneth Rosemberg, Richard Chandler y todo el equipo de Cornell Lab of Ornithology, junto a George Fenwick, Sara Ines Lara, Benjamin Skolnik y el equipo de American Bird Conservancy por su interés en este trabajo, su apoyo logístico y financiero. Al Paul Salaman por su apoyo y dirección en varias de las actividades desarrolladas en este proyecto. Finalmente, a Thomas Donegan y Alexander Monsalve por las revisiones a este artículo que contribuyeron a mejorar las versiones finales del documento.

Referencias

Armenteras, D., F. Gast & H. Villareal. 2003. Andean forest fragmentation and the representativeness of protected natural areas in the eastern Andes, Colombia. *Biological Conservation* 113:245–256.

Arteaga, M. 2011. Pilot for the conservation plan of the Golden-winged Warbler in the nonbreeding grounds. Internal report. ProAves, Bogotá, D. C.

Ball, I. R., H. P. Possingham & M. E. Watts. 2009. Marxan and relatives: Software for spatial conservation prioritisation, p. 185–195. *In* A. Moilanen, K. A. Wilson & H. P. Possingham [eds.],

Spatial Conservation Prioritisation: Quantitative Methods and Computational Tools. Oxford University Press, Oxford.

Botero, J. E. & J. C. Verhelst. 2001. Turquoise Dacnis, *Dacnis hartlaubi*, a Colombian endemic in shade coffee plantations. *Cotinga* 15:34–36.

Botero, J. E., J. C. Verhelst & N. D. Fajardo. 1999a. Las aves de la zona cafetera de Colombia. *Avance Tecnico Cenicafe* 265.

Botero, J. E., J. C. Verhelst & N. D. Fajardo. 1999b. Neotropical migratory birds in the Colombian coffee-grown region. *Cenicafe Technical Advance* 266.

Botero, J. E., J. C. Verhelst, O. A. Orrego, A. M. Pfeifer, F. Pulido, J. C. Rodríguez, J. A. Lopez & V. M. Franco. 2001. La biodiversidad en el municipio de Manizales: Inventario y diagnóstico del patrimonio biótico. Centro Nacional de Investigaciones de Café-Alcaldía de Manizales. Informe ante Planeación Municipal, Manizales.

Calvo, L. & J. G. Blake. 1996. Bird diversity and abundance on two different shade coffee plantations in Guatemala. *Bird Conservation International* 8:297–308.

Carwardine, J., K. A. Wilson, M. E. Watts, A. Etter, C. Klein & H. Possingham. 2008. Avoiding costly conservation mistakes: the importance of defining actions and costs in spatial priority setting. *PLoS Biol* 3:e2586.

Chandler, R. B. 2011. Avian Ecology and Conservation in Tropical Agricultural Landscapes with Emphasis on *Vermivora Chrysoptera*. Open Access Dissertations. Paper 333, University of Massachusetts, Amherst.

Chandrashekara, U. M. & S. Sankar. 1998. Ecology and management of sacred groves in Kerala, India. *Forest Ecology and Management* 112:165–177.

Chaves, M. E. & N. Arango [eds.]. 1998. Informe Nacional Sobre el Estado de la Biodiversidad 1997. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt – PNUMA – Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá.

Duran, S. M., G. Lentijo, A. M. Lopez & J. E. Botero. 2009. Nuevos registros de la distribución y uso de hábitat del Tororoi Dorsiescamado (*Grallaria guatimalensis*) en Colombia. *Ornitología Neotropical* 20:285–290.

Ellis, E. C. & N. Ramankutty 2008. Putting people in the map: anthropogenic biomes of the world. Data distributed by SEDAC.

- <<http://sedac.ciesin.columbia.edu/es/anthropogenicbiomes.html>> (17th November 2011).
- Etter, A., C. McAlpine & H. Possingham. 2008. Historical patterns and drivers of landscape change in Colombia since 1500: A regionalized spatial approach. *Annals of the Association of American Geographers* 98:2–23.
- Etter, A., C. McAlpine, K. Wilson, S. Phinn & H. Possingham. 2006. Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 114:369–386.
- Game, E. T. & H. S. Grantham. 2008. *Marxan User Manual: For Marxan version 1.8.10*. University of Queensland – Pacific Marine Analysis and Research Association, St. Lucia (AU), Vancouver (CA).
- Greenberg, R., P. Bichier & J. Sterling. 1997. Bird populations in rustic and planted shade coffee plantations of Eastern Chiapas, Mexico. *Biotropica* 29:501–514.
- Hansen, M., R. DeFries, J. R. Townshend, M. Carroll, C. Dimiceli & R. Sohlberg. 2006. *Vegetation Continuous Fields MOD44B, 2001 Percent Tree Cover, Collection 4*. University of Maryland, Maryland.
- Huston, M. A. 1994. *Biological Diversity: The Coexistence of Species on Changing Landscapes*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Huston, M. A. 1999. Local processes and regional patterns: appropriate scales for understanding variation in the diversity of plants and animals. *Oikos* 86:393–401.
- Imhoff, M. L., L. Bounoua, T. Ricketts, C. Loucks, R. Harriss & W. T. Lawrence. 2004. *HANPP Collection: Global Patterns in Net Primary Productivity (NPP)*. Data distributed by SEDAC. <<http://sedac.ciesin.columbia.edu/es/hanpp.html>> (17th November 2011).
- IUCN–UNEP–WCMC. 2010. *The World Database on Protected Areas (WDPA): Annual Release [On–line]*. UNEP–WCMC, Cambridge.
- IUCN. 2011. *The IUCN red list of threatened species: Vermivora chrysoptera*. <<http://www.iucnredlist.org/apps/redlist/search>> (15th September 2011).
- Jarvis, A., H. I. Reuter, A. Nelson & E. Guevara. 2004. *Processed Void–filled Seamless SRTM 90m Digital Elevation Model Data (DEM), v 3.0*. Ambiotek – International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), London – Cali.
- Jenness, J. S. 2002. Surface areas and ratios from elevation grid (surfgrids.avx) extension for ArcView 3.x, v. 1.2. <http://www.jennessent.com/arcview/surface_areas.htm>.
- Jenness, J. S. 2006. *Grid Tools (Jenness Enterprises) v. 1.7 (grid_tools_jen.avx) extension for ArcView 3.x*. Jenness Enterprises. <http://www.jennessent.com/arcview/grid_tools.htm> (15th June 2007).
- Komar, O. 2006. Ecology and conservation of birds in coffee plantations: a critical review. *Bird Conservation International* 16:1–23.
- Lobo–y–HenriquesJC, Y. & M. Arteaga. 2012. Distribución espacial de la Reinita Alidorada (*Vermivora chrysoptera*) en la región Neotropical: avances en el conocimiento de su distribución actual y posibles efectos del cambio climático global. *Conservacion Colombiana* 17.
- Margules, C. R. 1989. Introduction to some Australian developments in conservation evaluation. *Biological Conservation* 50:1–11.
- Margules, C. R., A. O. Nicholls & R. L. Pressey. 1988. Selecting networks of reserves to maximise biological diversity. *Biological Conservation* 43:63–76.
- Margules, C. R. & R. L. Pressey. 2000. Systematic conservation planning. *Nature* 405:243–253.
- Meffe, G. K. & C. R. Carroll. 1997. *Principles of conservation Biology*. Sunderland, MA, Third edition.
- NASA. 2007. *Precipitation: TRMM Product Level 2B Combined (PR, TMI) Rainfall Profile*. <http://daac.gsfc.nasa.gov/precipitation/TRMM_README/TRMM_2B31_readme.shtml> (15th May 2007).
- Perfecto, I., R. Rice, R. Greenberg & M. Van der Voorts. 1996. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. *Bioscience* 46:598–608.
- Phillips, S. J. 2011. Tutorial v6, MaxEnt software for species habitat modelling. AT & T, Florham Park.
- Phillips, S. J., R. P. Anderson & R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190:231–259.
- Pressey, R. L., R. M. Cowling & M. Rouget. 2003. Formulating conservation targets for biodiversity pattern and process in the Cape Floristic Region, South Africa. *Biological Conservation* 112:99–127.
- Pressey, R. L., T. C. Hager, K. M. Ryan, J. Schwarz, S. Wall, S. Ferrier & P. M. Creaser. 2000. Using abiotic data for conservation assessments over extensive regions: quantitative methods applied across New South Wales, Australia. *Biological Conservation* 96:55–82.
- Pressey, R. L., C. J. Humphries, C. R. Margules, R. I. Vane-Wright & P. H. Williams. 1993. Beyond opportunism: Key principles for systematic reserve selection. *Trends in Ecology & Evolution* 8:124–128.
- Pressey, R. L. & V. S. Logan. 1998. Size of selection units for future reserves and its influence on actual vs targeted representation of features: a case study in western New South Wales. *Biological Conservation* 85:305–319.
- Pressey, R. L. & A. O. Nicholls. 1989. Application of a numerical algorithm to the selection of reserves in semi-arid New South Wales. *Biological Conservation* 50:263–278.
- Pressey, R. L. & K. H. Taffs. 2001a. Sampling of land types by protected areas: three measures of effectiveness applied to western New South Wales. *Biological Conservation* 101:105–117.
- Pressey, R. L. & K. H. Taffs. 2001b. Scheduling conservation action in production landscapes: priority areas in western New South Wales defined by irreplaceability and vulnerability to vegetation loss. *Biological Conservation* 100:355–376.
- Pressey, R. L., G. L. Whish, T. W. Barrett & M. E. Watts. 2002. Effectiveness of protected areas in north-eastern New South Wales: recent trends in six measures. *Biological Conservation* 106:57–69.
- ProAves. 2009. *Plan para la conservacion de las aves migratorias en Colombia*. *Conservacion Colombiana* 11:1–154.
- ProAves, American–Bird–Conservancy & Grupo–Ceruleo. 2010. *Plan de conservación para la Reinita Cerúlea en su rango no reproductivo*. *Conservacion Colombiana* 12:1–62.
- Ramankutty, N., A. T. Evan, C. Monfreda & J. A. Foley. 2010. *Global Agricultural Lands: Croplands and Pastures, 2000*. Data distributed by SEDAC. <<http://sedac.ciesin.columbia.edu/es/aglands.html>> (17th November 2011).
- Ramankutty, N. & J. A. Foley. 1998. Characterising patterns of global land use: an analysis of global croplands data. *Global Biogeochemical Cycles* 12:667–685.
- Reside, A. E., J. VanDerWal, A. Kutt, I. Watson & S. Williams. 2012. Fire regime shifts affect bird species distributions. *Diversity and Distributions* 18:213–225.
- Romero, M., E. Cabrera & N. Ortiz. 2008. *Informe Sobre el Estado de la Biodiversidad en Colombia 2006–2007*. Instituto de Investigacion de Recursos Biologicos Alexander von Humboldt, Bogota, D. C.

- Rosenzweig, M. L. 1995. Species Diversity in Space and Time. Cambridge University Press, Cambridge.
- Royle, J. A., R. B. Chandler, C. Yackulic & J. D. Nichols. 2012. Likelihood analysis of species occurrence probability from presence-only data for modelling species distributions. *Methods in Ecology and Evolution* doi: 10.1111/j.2041-210X.2011.00182.x.
- Sanchez-Clavijo, L. M., R. Espinoza & J. E. Botero. 2008. Cerulean and Golden-winged Warblers in the coffee-growing regions of Colombia: abroad-scale analysis, III Cumbre de la Reinita Cerulea y II Cumbre de la Reinita Alidorada, Bogota.
- Sarkar, S., R. L. Pressey, D. P. Faith, C. Margules, T. Fuller, D. M. Stoms, A. Moffett, K. Wilson, K. J. Williams, P. H. Williams & S. Andelman. 2006. Biodiversity conservation planning tools: present status and challenges for the future *Annual Review of Environment and Resources* 31:123–159.
- Sarkar, S., V. Sanchez-Cordero, M. C. Londoño & T. Fuller. 2009. Systematic conservation assesment for the Mesoamerica, Choco, and the Tropical Andes biodiversity hotspots: a preliminary analysis. *Biodiversity and Conservation* 18:1793–1828.
- Smith, R. 2005. CLUZ guide version 1.6. University of Kent – DICE, Canterbury. <<http://www.kent.ac.uk/dice/cluz/index.html>> (15th January 2012).
- Vazquez, V. H. & M. A. Serrano. 2009. Las Areas Naturales Protegidas de Colombia. Conservacion Internacional Colombia, Bogota, D. C.
- Velasquez-Tibata, J. I. & H. Lopez-Arevalo. 2006. Analisis de Omisiones y Prioridades de Conservacion para los Loros Amenazados de Colombia. *Conservacion Colombiana* 1:58-66.
- Verhelst, J. C. 2011. Avifaunal Distribution in Colombia: Current Diversity and Potential Refugia Under Climate Change, King's College London – University of London, London.
- Verhelst, J. C., J. E. Botero, O. A. Orrego & N. D. Fajardo. 2002. El Carpinterito Punteado, *Picumnus granadensis*, en las zonas cafeteras de Colombia. *Caldasia* 24:201–208.

Anexo 1. Listado de variables medioambientales usadas en el modelado con MaxEnt.

Nombre variable	Descripción corta
srtm_promedio srtm_máximo srtm mínimo	Elevación; agregada a 1km de DEM original a 90m (Jarvis <i>et al.</i> 2004)
pendiente_promedio pendiente_máximo pendiente_mínimo aspecto_promedio aspecto_máximo aspecto_mínimo	En grados decimales. Derivadas a partir del DEM a 1km en Arc View, usando Jenness (2006)
superficie_promedio superficie_máxima superficie_mínima radio_superficie_promedio radio_superficie_máximo radio_superficie_mínimo	Superficie en m ² y radio (rugosidad del terreno) sin unidades. Derivadas a partir del DEM a 1km en Arc View, usando Jenness (2002)
curvatura_total_promedio curvatura_total_máximo curvatura_total_mínimo curvatura_planimétrica_promedio curvatura_planimétrica_máximo curvatura_planimétrica_mínimo curvatura_perfil_promedio curvatura_perfil_máximo curvatura_perfil_mínimo	Tasa de cambio del paisaje; sin unidades. Derivadas a partir del DEM a 1km en Arc View, usando Jenness (2006)
vcf_árboles vcf_herbáceas vcf_suelo	Porcentaje de cobertura en árboles, herbáceas y suelo (Hansen <i>et al.</i> 2006)
sedac_cultivos sedac_pastos sedac_antromas sedac_ppn	Porcentaje de cobertura en cultivos y pastos (Ramankutty <i>et al.</i> 2010) Clasificación de usos del suelo (Ellis & Ramankutty 2008) Productividad primaria neta; en unidades elementales de Carbono (Imhoff <i>et al.</i> 2004)
lwp_hii2 lwp_hfp2	Índice de influencia humana; en porcentaje Huella humana en los ecosistemas; en porcentaje (WCS-CIESIN 2005)
precipitación_anual	Precipitación anual en mm (NASA 2007)

Anexo 2. Planeación sistemática de reservas, estudio de caso para Colombia con una meta de conservación del 50% de la distribución en el país de la Reinita Alidorada (*Vermivora chrysoptera*) – modelo Final 7–Z22 (Lobo–y–HenriquesJC & Artega 2013). Costo de los mejores portafolios obtenidos para varios ensayos ejecutados en CLUZ–Marxan, realizados con el fin de evaluar la sensibilidad del costo a cambios en el valor de la constante modificadora de la longitud del borde (*MLB*) y el uso del PSDOS – proceso de selección en dos pasos (*i.e. Simulated Annealing*).

Nombre ejercicio	PSDO S ¹	MLB ²	Área combinada ³	Costo combinado	Longitud total del borde ⁴	Costo total del borde ⁵	Metas fallidas	Costo combinado del factor de penalización ⁶	Costo total portafolio	Δ Costo ⁷
Estado inicial	0	0	230,600	230,600	18,277,072	0	1.00	1,000,000	1,230,600	
Sensibilidad1	0	0	331,300	331,300	38,657,311	0	0.00	0	331,300	-899,300
Estado inicial	0	0.001	230,600	230,600	18,277,072	18,277	1.00	1,000,000	1,248,877	
Sensibilidad2	0	0.001	329,200	329,200	35,406,399	35,406	0.00	0	364,606	-884,271
Estado inicial	0	0.01	230,600	230,600	18,277,072	182,771	1.00	1,000,000	1,413,371	
Sensibilidad3	0	0.01	352,200	352,200	19,908,732	199,087	0.00	0	551,287	-862,083
Estado inicial	0	0.1	230,600	230,600	18,277,072	1,827,707	1.00	1,000,000	3,058,307	
Sensibilidad4	0	0.1	659,400	659,400	9,144,740	914,474	0.00	0	1,573,874	-1,484,433
Estado inicial	1	0.001	230,600	230,600	18,277,072	18,277	1.00	1,000,000	1,248,877	
Sensibilidad2.1	1	0.001	329,500	329,500	34,928,689	34,929	0.00	0	364,429	-884,448
Estado inicial	1	0.004	230,600	230,600	18,277,072	73,108	1.00	1,000,000	1,303,708	
Sensibilidad2.2	1	0.004	327,200	327,200	27,744,422	110,978	0.00	0	438,178	-865,531
Estado inicial	1	0.007	230,600	230,600	18,277,072	127,940	1.00	1,000,000	1,358,540	
Sensibilidad2.3	1	0.007	331,100	331,100	23,277,521	162,943	0.00	0	494,043	-864,497
Estado inicial	1	0.01	230,600	230,600	18,277,072	182,771	1.00	1,000,000	1,413,371	
Sensibilidad3.1	1	0.01	353,000	353,000	19,567,511	195,675	0.00	0	548,675	-864,696
Estado inicial	1	0.04	230,600	230,600	18,277,072	731,083	1.00	1,000,000	1,961,683	
Sensibilidad3.2	1	0.04	462,600	462,600	13,822,579	552,903	0.00	0	1,015,503	-946,180
Estado inicial	1	0.07	230,600	230,600	18,277,072	1,279,395	1.00	1,000,000	2,509,995	
Sensibilidad3.3	1	0.07	568,200	568,200	10,981,133	768,679	0.00	0	1,336,879	-1,173,116

¹ Proceso de selección en dos pasos (*i.e. Simulated Annealing*): 0 desactivado, 1 activado

² Constante modificadora de la longitud del borde

³ Unidad: km²

⁴ Unidad: m

⁵ Longitud total del borde × MLB

⁶ Sin unidades

⁷ Costo del portafolio que incluye la mejor solución en el sistema de reservas – Costo del portafolio inicial de reserva.

INSTRUCCIONES PARA AUTORES

Conservación Colombiana es publicada dos veces al año por la Fundación ProAves, una entidad sin ánimo de lucro registrada, que tiene como misión “proteger las aves silvestres y sus hábitat en Colombia a través de la investigación, las acciones de conservación puntuales y el acercamiento con las comunidades locales. El propósito de la revista es divulgar los resultados de las investigaciones y acciones de conservación de las especies colombianas amenazadas de extinción. El formato y tipo de los artículos que se publican es variado incluyendo reportes internos de las actividades en conservación desarrolladas por la Fundación, resultados de las investigaciones y el monitoreo de especies amenazadas, proyectos de grado de estudiantes universitarios, inventarios y conteos poblacionales, planes de acción o estrategias desarrolladas para especies particulares, sitios o regiones y avances en la expansión de la red de áreas protegidas en Colombia.

Conservación Colombiana está dirigida a un público amplio. Principalmente a científicos, conservacionistas y personas interesadas en general en la conservación de las especies amenazadas de Colombia y sus hábitats. Por esta razón es una publicación de carácter científico, aunque laxa en su formato y contenidos.

Las contribuciones deben ser en castellano o inglés y todo manuscrito debe incluir títulos y resúmenes en castellano y en inglés. Los artículos preferiblemente deberán tener una extensión aproximada entre 2,000 y 7,000 palabras, y se dará preferencia a los escritos más cortos. Aunque también se aceptan, a discreción del comité editorial, artículos o compendios largos, los cuales pueden constituir artículos en un mismo tema o monografías que abarquen un número completo de la revista. Las contribuciones serán evaluadas por el comité editorial y en cada caso se ofrecerá a los autores un concepto sobre su publicación tan pronto como sea posible.

Deben entregarse en formato digital, vía correo electrónico en formato RTF. El texto se debe ajustar a dos columnas y se debe usar interlineado sencillo, párrafos justificados, márgenes de 1.78 cm a cada lado, a excepción del inferior que debe ser de 1.52 cm. Títulos y subtítulos de los artículos en letra *Times New Roman* 12, texto en general y para nombrar graficas y Cuadros en *Times New Roman* 10.

Los nombres científicos deben estar escritos en letra cursiva y deben estar mencionados después del nombre en castellano la primera vez en el título, resumen y texto. En adelante solo debe usarse el nombre en castellano. Abreviaturas como sp. y spp. no son nombres y no van en cursiva. Todo artículo científico debe contener las siguientes secciones a excepción de las pequeñas revisiones de especies.

- Título en castellano e inglés y autores

- Resumen en castellano e inglés
- Introducción
- Métodos
- Resultados
- Discusión
- Agradecimientos
- Bibliografía

Contribuciones como descripciones de nuevas taxa, revisiones de literatura, discusiones de manuscritos, o artículos en forma de ediciones completas, deben usar secciones apropiadas como es su usanza en la literatura científica. No obstante, su aceptación final queda a criterio del comité editorial.

El título debe ser en mayúsculas (sin punto final), Arial 16 y negrilla, el segundo título en inglés o español dependiendo del lenguaje del artículo deberá ir en *Times New Roman* 12, seguido en renglón aparte por el nombre de los autores en negrilla, sus afiliaciones institucionales y la dirección electrónica del primer autor. Se recomienda a los autores usar solo su primer nombre y apellido. Sin embargo, en caso que quiera usar su segundo apellido deberá ligarlo con un guión corto (–) al primer apellido.

Es recomendable que los resúmenes no excedan las 300 palabras o el 5% de la longitud total del texto y debe incluirse una lista de palabras clave en el idioma respectivo.

3. CONSERVACIÓN EN COLOMBIA

La conservación en Colombia ha sido históricamente...

7.1. Loros amenazados

Los loros amenazados de Colombia...

7.1.1. Loros en peligro (EN)

Los loros en peligro en Colombia se encuentran principalmente en la zona Andina...

Las Cuadros, figuras y anexos deben estar citados en el texto. Como figuras se entienden todo tipo de gráficos, dibujos, mapas, fotos e ilustraciones. Para las Cuadros, la leyenda debe ir arriba y las explicaciones de abreviaturas o simbología al pie en cursiva. Solamente se deben usar líneas horizontales en las Cuadros. Para las figuras, la leyenda debe ir al pie de la misma. Se recomienda que cada leyenda incluya información suficiente para ser entendida por sí misma sin necesidad de volver al texto y que incluya el nombre de la figura, un referente geográfico y temporal, y el nombre abreviado del manuscrito y el periodo del estudio.

Todas las citas en el texto deben estar en la bibliografía y viceversa. Las citas en el texto se deben ordenar cronológicamente. Cuando se cita en el texto no se debe usar coma entre el nombre del autor y la fecha, y se usan comas

para separar dos referencias. En citas donde hay dos autores, estos se separan usando “&” no “y”. Para citas donde hay más de dos autores se usa “*et al.*”, escrito en cursiva. Se deben usar letras minúsculas seguidas al año para diferenciar varios trabajos del mismo autor y año, así: Moreno 1995b, Moreno 1995d. Se pueden citar trabajos publicados o aceptados para publicación, tesis universitarias e informes y reportes internos; que a su vez deberán ir en la Bibliografía. Artículos aceptados para publicación pero aún no publicados se citan como “*en imprenta*”, ej: Carriker (*en imprenta*). Manuscritos inéditos o no aceptados y comunicaciones personales se citan únicamente en el texto, como datos no publicados y comunicación personal respectivamente, incluyendo la inicial del nombre del autor, ej: D. Caro (datos no publ.), C. Gómez (com. pers.).

La bibliografía debe estar ordenada alfabéticamente por autor y cronológicamente cuando haya varias citas del mismo autor. Se deben escribir los apellidos de todos los autores y sus iniciales capitalizándolos. Cuando el autor sea una institución, cítela por su nombre completo en el texto la primera vez seguido en mayúscula sostenida por su acrónimo en paréntesis, que deberá ser usado en adelante y en la bibliografía. Cuando un manuscrito ha sido aceptado pero todavía no ha sido publicado y se encuentra en imprenta cítelo como “*en imprenta*”, sin fecha, y cuando hace parte de una publicación seriada reemplace el número de volumen o número y páginas por “0:00”. Los nombres de las publicaciones seriadas deben escribirse completos y en cursiva. Recomendamos seguir el siguiente estilo la bibliografía:

• Libros

Autor (Año) Título. Editorial o institución que publica. Ciudad de publicación. Si se cita un libro colegiado, se cita el nombre del editor o editores con (ed.) o (eds.). Ej:
Hilty, S. & Brown W. (1986) A Guide to the Birds of Colombia. Princeton University Press. Princeton.
Chaves, M.E. & Arango, N. (eds.) (1998) Informe nacional sobre el estado de la biodiversidad 1997, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, PNUMA, Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá.

• Artículos

Autor (Año) Título. *Revista* volumen (o número): páginas del artículo. Ej:
Kattan, G., Alvarez, H. & Giraldo, M. 1994. Forest fragmentation and bird extinctions: San Antonio eighty years later. *Conservation Biology* 8: 138–146.
Pacheco, A. (en prensa). Biología reproductiva del Loro Orejiamarillo (*Ognorhynchus icterotis*) en el Municipio de Roncesvalles, Departamento del Tolima. *Conservación Colombiana* 0:00.

• Capítulos o contribuciones dentro de un libro

Autor (Año) Título. Páginas en: Editor (ed.). *Título libro*. Editorial o institución que publica. Ciudad de publicación. Ej:

Rosselli, A. & Estela, F. 2002. *Vireo caribeus*. Págs. 367–370 en Renjifo, L.M., Franco–Maya, A.M., Amaya–Espinel, J.D., Kattan, G.H. & López–Lanús, B. (eds.) *Libro rojo de aves de Colombia*. Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt & Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá.

• Artículos publicados en el Internet o extractos de páginas electrónicas.

Autor (Año) Título. Institución que publica. Disponible en URL [última fecha de acceso]

FAO 2001. *Global forest resources assessment 2000: main report*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Forestry Paper No. 140. Disponible en <http://www.fao.org/forestry/index.jsp> [descargado en febrero de 2006].

Unidades de medida. Recomendamos usar el Sistema Internacional de Unidades (SI) para todas las unidades de medida. Este puede ser revisado en el URL del “Bureau International des Poids et Mesures” <http://www.bipm.fr/en/home/>. Escriba las unidades usando un espacio intermedio después de los números, así: 33 °C ó 273 ha.

Numeración en el texto. Cuando un número va acompañado de una unidad siempre se deberá escribir como un número arábigo. Los miles se deberán marcar con una coma (,) y las fracciones decimales con puntos. Cuando los números no van seguidos de unidades, los dígitos de cero a nueve se escriben con palabras y de 10 en adelante con números arábigos. Para separar un intervalo, al igual que en cualquier otra oportunidad que se quiera usar un guión en el texto, se deberá usar el guión corto (–) y no el guión de no separación (-). Es recomendable no usar en cifras decimales más de tres dígitos.

Fechas y horas. Las fechas se deben escribir como día, mes y año, así: 11 de septiembre de 2006 ó 11 septiembre 2006 y use el sistema de 24 horas, así: 21.00 en vez de 9:00 P.M. ó 9:00 p.m., 6.00 en vez de 6:00A.M. ó 6.00 a.m.

La aceptación de los manuscritos dependerá de un proceso riguroso de la revisión de su calidad académica. La coordinación editorial y un miembro del Comité Editorial asociado con el área correspondiente al trabajo remitido, hacen una primera evaluación a fin de verificar el cumplimiento de los requisitos de presentación exigidos por la revista. Los manuscritos que no sean originales, que tengan serias deficiencias en su estructura, que presenten una pobre redacción o no se ajusten a las normas editoriales, serán devueltos para su adecuación antes de ser considerados para revisión por el Comité Editorial.

Los trabajos que pasen la primera etapa serán enviados a por lo menos dos árbitros expertos en el área de conocimiento

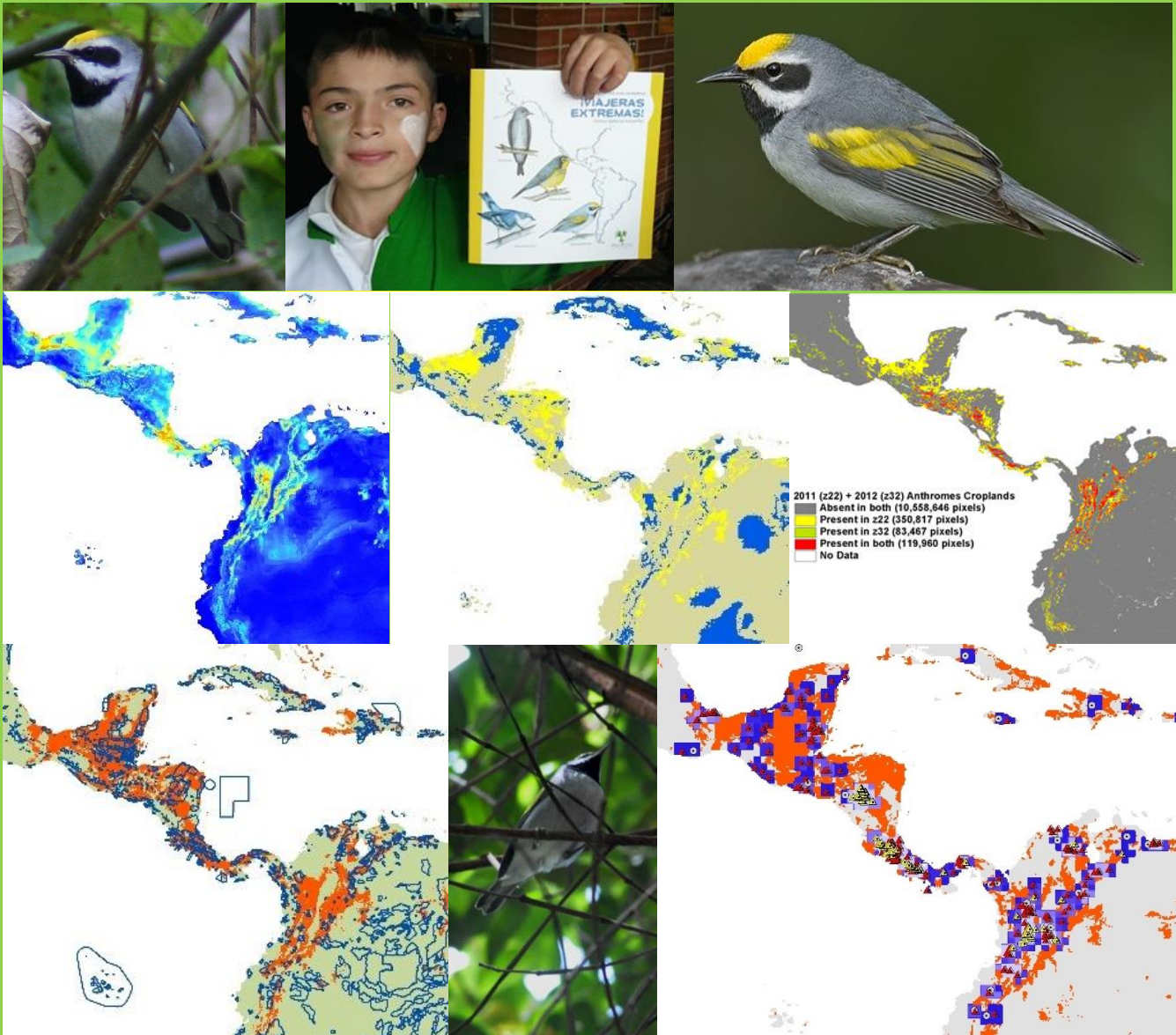
respectiva, cuyas identidades serán desconocidas para los autores a través de todo el proceso de evaluación. Para notas cortas (menos de dos páginas) el uso de un solo árbitro con comentarios del comité editorial es también posible. Para asegurar la imparcialidad en la evaluación, las identidades de los autores también resultan desconocidas para los árbitros (proceso de evaluación doblemente ciego). Los árbitros disponen de dos semanas para remitir un concepto detallado sobre los siguientes aspectos u otros: el título refleja el tema del escrito, el resumen es claro y permite conocer con claridad el contenido y los elementos básicos del escrito, las palabras clave son pertinentes, la organización y redacción del manuscrito, la originalidad y alcance del trabajo presentado, claridad y delimitación del problema, la justificación es coherente con el problema abordado, la descripción de la metodología utilizada es clara y pertinente, existe formalidad en la escritura, existe relación entre la temática abordada teóricamente y los objetivos y la metodología utilizada, es rigurosa la presentación y discusión de los resultados, la consistencia entre resultados y conclusiones y la pertinencia y precisión de las referencias bibliográficas citadas. Los árbitros pueden enviar sus comentarios o correcciones sobre el manuscrito mismo electrónicamente o en un documento o correo aparte.

Cuando la recomendación de los árbitros coincide, se toma la decisión de aceptar o rechazar el trabajo. Si se rechaza,

éste junto con los comentarios de los árbitros, es devuelto a los autores con la recomendación de corregirlo y considerar su publicación en otra revista o en otro número de la revista. La decisión de rechazar un trabajo es definitiva e inapelable. Si se acepta con la recomendación de hacer modificaciones, éste junto con los comentarios de los árbitros, es devuelto a los autores para que preparen una versión revisada y corregida, para lo cual disponen de dos semanas. Los autores deben remitir la versión corregida junto con detalles enviados al editor enumerando los cambios realizados de acuerdo con las recomendaciones hechas por los árbitros.

Anotar las correcciones utilizando subrayado para la pronta identificación. El Editor toma la última decisión acerca de la aceptación de la versión corregida considerando el concepto de los árbitros y las correcciones hechas por los autores. Los árbitros pueden hacer sus aportes en relación con la bibliografía u otro aspecto que no incida en el contenido del manuscrito, de igual manera, pueden hacer recomendaciones al Comité Editorial de la Revista (sólo será conocido por éste) al redactar un concepto de evaluación general del trabajo en el cual incluya las apreciaciones más importantes de su valoración, sugerir las observaciones, modificaciones, controversias y ajustes que estimen convenientes (aunque no se recomiende para publicación).





Fundación ProAves
Carrera 20 No. 36-61
Bogotá, Colombia
Tels: +57-1-245.5134 /340.3239
Fax: +57-1-340.3285
Email: fundacion@proaves.org

www.proaves.org

