

Distribución geográfica y ecológica, tamaño poblacional y vacíos de conservación del Periquito de Santa Marta (*Pyrrhura viridicata*)

Geographical and ecological distribution, population size, and conservation gaps of the Santa Marta Parakeet (*Pyrrhura viridicata*)

Esteban Botero-Delgadillo¹, Carlos Andrés Páez¹ & Juan Carlos Verhelst²

¹SELVA: Investigación para la Conservación en el Neotrópico, Calle 43 # 27A-55 Of. 201 Bogotá DC, Colombia

²Fundación ProAves, Carrera 20 # 36-61, Bogotá DC, Colombia

✉ esteban.botero@selva.org.co, andres.paez@selva.org.co, jverhelst@proaves.org

Resumen

El Periquito de Santa Marta (*Pyrrhura viridicata*) es una especie endémica y amenazada de Colombia, cuyas necesidades de conservación incluyen determinar su estado poblacional y distribución geográfica. En este trabajo recopilamos y analizamos datos geográficos y poblacionales obtenidos entre 2006 y 2012, aportando información para facilitar la definición de la situación actual de la especie. Modelamos su distribución potencial mediante el algoritmo MaxEnt y empleamos un sistema de información geográfico para estimar su área de ocupación y hábitat remanente e identificar sus principales vacíos de conservación. Extrapolamos estimados de densidad poblacional obtenidos en la cuchilla de San Lorenzo en 2006 y 2008 al área de ocupación y hábitat remanente para así estimar el tamaño de la población de la especie. El modelo de distribución reveló que *P. viridicata* se restringe a bosques húmedos principalmente entre 2000-3000 m de elevación en el flanco norte de la Sierra Nevada de Santa Marta, en zonas donde la estacionalidad de la precipitación y de la temperatura es baja. Suponiendo una ocupación de todo su hábitat original remanente (680 km²) y una densidad poblacional similar en toda su distribución, la población total de la especie se encontraría entre 2900 y 4800 individuos. En caso de una ocupación parcial de dichas áreas, es probable que la población no sobrepase los 2500 individuos. Un análisis de vacíos indicó que el 80% de la distribución de *P. viridicata* estaría dentro de áreas protegidas, pero que es necesario aumentar la cobertura mediante nuevas áreas e incrementar la efectividad de la protección al interior de las ya establecidas. De acuerdo al análisis, es probable que las poblaciones de la cuenca del río Ranchería estén aisladas de las otras ubicadas en el macizo, ya que eventuales migraciones requerirían de amplios movimientos por zonas extensamente deforestadas o por fuera de su distribución altitudinal. La futura validación del modelo permitirá identificar otras zonas de presencia de la especie. Monitoreos poblacionales y estudios sobre selección de hábitat, ámbito de acción y dinámica poblacional permitirán confirmar las conclusiones de nuestros análisis.

Palabras clave: Análisis de vacíos, estado poblacional, hábitat remanente, *Pyrrhura viridicata*, Sierra Nevada de Santa Marta.

Abstract

The Santa Marta Parakeet (*Pyrrhura viridicata*) is an endemic and threatened species from Colombia, whose conservation needs include determining its population status and geographical distribution. This study compiled and analyzed geographic and population data obtained between 2006 and 2012 to aid the establishment of the species' current status. We modeled the species' potential distribution using the MaxEnt algorithm, and we estimated the area of occupancy and remaining habitat using a geographic information system. We combined these results to identify conservation gaps. Extrapolating from population density values obtained on the San Lorenzo slope in 2006 and 2008, we estimated the species' population size based on its area of occupancy and the extent of remaining habitat. The distribution model revealed that *P. viridicata* is restricted to humid forests mainly between 2000-3000 m elevation on the northern flank of the Sierra Nevada de Santa Marta, in areas where seasonality in precipitation and in temperature is low. Assuming total occupation of remaining habitat (680 km²) and similar population densities across the species range, we estimate a population size of 2900-4800 individuals. If occupation is only partial, then the population is not expected to exceed 2500 individuals. A gap analysis indicated that 80% of the species' predicted range lies within protected areas, but we recommend increasing coverage through the creation of

reserves while simultaneously increasing the efficacy of protective measures in existing protected areas. According to the gap analysis, it is likely that populations in the Ranchería River Basin are isolated from other populations in the massif, because any local migration would require flights through extensively deforested areas or across areas outside of the species' elevational range. Validation of the model will help identify other areas of potential occurrence for the species. Population monitoring and studies of habitat selection, home range and population dynamics, will help confirm our conclusions.

Key words: Gap analysis, population status, *Pyrrhura viridicata*, remaining habitat, Sierra Nevada de Santa Marta.

Introducción

La familia Psittacidae es uno de los grupos de aves más amenazados debido a la pérdida de hábitat y la persecución para diversos fines (Collar 1997). En Colombia, 11 de las 53 especies presentes se encuentran bajo alguna categoría de amenaza de acuerdo a los criterios de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (BirdLife International 2012). La expansión de la frontera agrícola y la persecución para comercio o caza de sustento son las principales amenazas que pesan sobre estas aves, y el amplio desconocimiento de su historia natural es un gran impedimento para delinear medidas para su conservación (Quevedo-Gil 2006, Botero-Delgadillo & Páez 2011a).

Una de las especies de Psittacidae más amenazadas de Colombia es el Periquito de Santa Marta (*Pyrrhura viridicata*), endémica a la Sierra Nevada de Santa Marta, y cuya localidad típica es el Cerro Quemado, en la cuchilla de San Lorenzo (Rodríguez-Mahecha & Hernández-Camacho 2002). Su distribución geográfica ha sido estimada entre 456 y 1080 km² (Rodríguez-Mahecha & Renjifo 2002, Velásquez-Tibatá & López-Arévalo 2006). Además, se presume que la especie ha perdido entre el 26 y el 84% de su hábitat original y que su población no superaría los 500 individuos (Rodríguez-Mahecha & Renjifo 2002, Velásquez-Tibatá & López-Arévalo 2006). Debido a esto, *P. viridicata* se considera en peligro de extinción en el ámbito nacional (EN B2ab-iii-; C2a-ii-; VU B1ab-iii-; Renjifo et al. 2002) y global (EN B1a+b-i,ii,iii,iv-; VU C2a-ii-; BirdLife International 2012).

Debido al estado de amenaza de *P. viridicata*, la Fundación ProAves de Colombia diseñó una serie de estrategias para aumentar el conocimiento de esta y de otras especies de loros amenazados, con el ánimo de brindar directrices para efectuar acciones que favorecieran su conservación (Quevedo-Gil 2006). Este trabajo ha incluido varios estudios para conocer los requerimientos ecológicos y diversos aspectos de la biología de los loros amenazados (Botero-Delgadillo & Verhelst 2011a, 2011b, Botero-Delgadillo & Páez 2011b, Olaciregui & Borja 2011). A este esfuerzo se han unido acciones de otras entidades como la Fundación Ornitológica de la Sierra Nevada de Santa Marta (FOSIN) y la Alianza para Ecosistemas Críticos (ALPEC). No obstante estos trabajos, las estimaciones de tamaño poblacional y de distribución geográfica en los que se fundamenta la categoría de amenaza de *P. viridicata* son anteriores a los datos recopilados en los últimos años.

Con el fin de aportar información actualizada que pueda ser empleada para discernir el estado de conservación de *P. viridicata* con mayor exactitud, en este trabajo utilizamos el modelamiento de nicho climático, sistemas de información geográfica y recopilaciones de información geográfica y poblacional obtenida entre 2006 y principios de 2012 para los siguientes propósitos: (1) determinar la distribución ecológica y geográfica de la especie e inferir su área de ocupación y pérdida de hábitat; (2) proveer estimados recientes de su densidad y tamaño poblacional; y (3) identificar la representatividad de su área de ocupación en áreas protegidas legalmente reconocidas. Todos nuestros resul-

tados fueron contrastados con los datos que han sido empleados previamente para la categorización de la especie en el ámbito nacional y global.

Materiales & Métodos

ALCANCE GEOGRÁFICO.- Este estudio recopiló información obtenida en cuatro localidades de la Sierra Nevada de Santa Marta, norte de Colombia (Fig. 1). La mayor parte fue obtenida en la cuchilla de San Lorenzo, ubicada en el flanco noroccidental de la sierra en el departamento del Magdalena, y considerada un área de importancia para la conservación de las aves (AICA CO005; Franco & Bravo 2005). Una menor proporción de datos se obtuvo en el valle del río Frío, ubicado en el mismo flanco del macizo en el departamento del Magdalena, también considerada un AICA (CO007; Franco & Bravo 2005). La información restante fue recopilada en la cuenca media del río San Salvador y la cuenca del río Ranchería, dos localidades del sector norte de la sierra en el departamento de la Guajira (Fig. 1).

DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y ECOLÓGICA.- Utilizamos el modelamiento de nicho climático y localidades de presencia de *P. viridicata* referenciadas geográficamente para determinar su distribución geográfica y ecológica. Las referencias geográficas fueron obtenidas de tres bases de datos públicas: Proyecto BIOMAP (<http://www.biomap.net/>), DATAVES (2006) y e-Bird (<http://ebird.org/content/colombia>). También empleamos registros históricos publicados (Rodríguez-Mahecha & Hernández-Camacho 2002, Rodríguez-Mahecha & Renjifo 2002), registros recopilados por los autores entre 2006-2012 y observaciones inéditas (véanse agradecimientos). Un total de 28 registros fueron recopilados y sometidos a un proceso de validación y depuración mediante el programa DIVA-GIS (Hijmans *et al.* 2006) acorde a las recomendaciones de Hijmans *et al.* (1999) y Chapman (2005), identificando datos extremos en espacio geográfico y climático. El conjunto de datos se redujo a 12

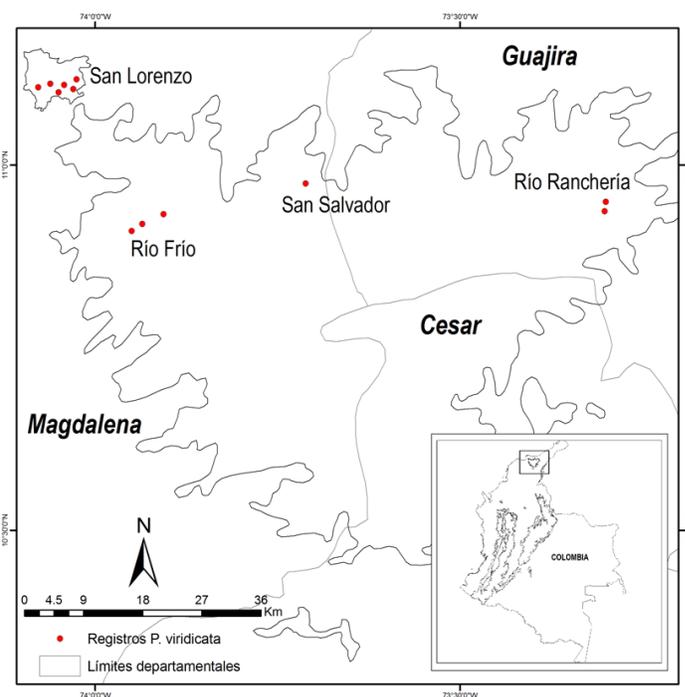


Figura 1. Alcance geográfico del estudio poblacional y geográfico de *Pyrrhura viridicata* en la Sierra Nevada de Santa Marta, norte de Colombia. Se detallan las cuatro localidades de donde provienen los datos y la ubicación de los doce registros empleados para el modelamiento de la distribución en cada uno de los departamentos.

registros espaciados a no menos de 3 km entre sí (Fig. 1).

Utilizamos el algoritmo de máxima entropía MaxEnt ver. 3.3.3 (Phillips 2010) para el modelamiento de la distribución potencial debido a su buen desempeño comparado con otros algoritmos (Elith *et al.* 2006, Peterson *et al.* 2007, Ortega-Huerta & Peterson 2008), especialmente con muestras reducidas (Pearson *et al.* 2007). Los datos climáticos para el modelamiento fueron obtenidos de la base de datos WorldClim a una resolución espacial de 1 km² (<http://www.worldclim.org/>). Para evitar los efectos de la multicolinealidad de las variables ambientales, redujimos el conjunto original de 19 a 10 variables (ver Tabla 1) mediante un análisis de componentes principales (véase Araujo & Guisan 2006). Con el fin de evitar un sobreajuste del modelo, empleamos una constante de regularización de 1 y las opciones de ajuste lineal y cuadrático de las variables climáticas (Phillips *et al.*

2006, Phillips & Dudik 2008, Elith *et al.* 2011). El alcance del modelo se restringió a la Sierra Nevada de Santa Marta y el fondo fue fijado en 1000 puntos de muestreo para aminorar la sobrepredicción alrededor de las localidades de registro (véanse detalles del procedimiento en Elith *et al.* 2011).

Teniendo en cuenta el relativo éxito del remuestreo en el modelamiento de distribuciones con una muestra reducida (Pearson *et al.* 2007), utilizamos el método de validación cruzada de 10 iteraciones (Refaeilzadeh *et al.* 2009) para evaluar la incertidumbre del ajuste del modelo y para obtener una predicción consenso que representara confiablemente la distribución geográfica de la especie (ver Dormann 2007, Elith *et al.* 2011). Para probar el ajuste de las réplicas de los modelos, estimamos el valor promedio del área bajo la curva de la característica operativa del receptor (ROC por sus siglas en inglés), donde valores cercanos a uno indican un alto desempeño (ver Elith *et al.* 2011). El valor promedio de ganancia (regularizada y no regularizada) de las réplicas también fue usado como indicador de un alto ajuste, donde valores superiores a 1.5 sugieren una verosimilitud relativamente alta (ver Phillips *et al.* 2006, Phillips & Dudik 2008).

Para determinar la distribución geográfica potencial de *P. viridicata*, escogimos la media de las 10 réplicas obtenidas mediante validación cruzada como modelo consenso. Seleccionamos el formato logístico de salida y lo exportamos al programa ArcGIS 9.3 (ESRI 2008). El modelo logístico fue ajustado a un formato de presencia-ausencia mediante el umbral acumulativo del percentil 20 de los datos de aprendizaje (Graham *et al.* 2010). Dado que la resolución de los modelos fue de *ca.* 1 km² por celda, un conteo de las celdas permitió estimar la extensión de la distribución.

La distribución ecológica fue evaluada como el

porcentaje de representación de cada bioma presente en la distribución geográfica modelada de *P. viridicata*. Para esto, usamos el programa ArcGIS 9.3 para superponer el modelo de distribución de presencia-ausencia con una capa de información geográfica de biomas de Colombia disponible en el portal del Sistema de Información Geográfica para el Ordenamiento Territorial (SIG-OT) del Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" (<http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/>). Con el fin de identificar las variables ambientales que podrían estar limitando la distribución de la especie en la Sierra Nevada de Santa Marta, superpusimos un mapa digital de las zonas de vida de Holdridge (<http://www.fao.org/geonetwork/srv/>) y capas de valores de temperatura y precipitación (WorldClim) con el modelo de distribución potencial de la especie. Además, usamos el método de *jackknife* incluido en MaxEnt para estimar los valores de contribución porcentual de cada variable climática para la construcción del modelo (Phillips *et al.* 2006, Phillips & Dudik 2008).

ÁREA DE OCUPACIÓN Y PÉRDIDA DE HÁBITAT.- El modelo consenso fue usado para estimar el área de ocupación de *P. viridicata* mediante el programa ArcGIS 9.3, de acuerdo a los criterios impartidos por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza IUCN (IUCN 2011). El hábitat potencial fue tomado como el área de ocupación, estimada a partir de la superposición del modelo de distribución potencial y una capa de información geográfica de cobertura vegetal y uso del suelo de 2008 disponible en el portal del SIG-OT. La estimación resultó del conteo del número de celdas donde la especie estaría presente y su hábitat potencial no ha sido removido (IUCN 2011). El hábitat potencial fue definido de acuerdo a los requerimientos de hábitat del taxón, por lo que además de los remanentes de bosque premontano y montano (*i.e.*, vegetación original), las áreas de vegetación nativa en regeneración y los fragmentos de bosque secundario también fueron incluidos

(Botero-Delgadillo & Páez 2011b).

La pérdida de hábitat original fue determinada al estimar el área total de la distribución potencial de la especie donde la vegetación original ha sufrido cualquier modificación, acorde a las capas de información sobre ecosistemas y uso del suelo de 2008 del SIG-OT. Por ende, definimos como hábitat remanente aquellas áreas donde persiste la vegetación original.

DENSIDAD Y TAMAÑO POBLACIONAL.- La información poblacional de *P. viridicata* fue obtenida únicamente en la localidad de San Lorenzo en 2006 y 2008 (Fig. 1A). Específicamente, los datos provienen de la Reserva Natural El Dorado de la Fundación ProAves y zonas de amortiguación en el Cerro Quemado. Empleamos conteos en puntos ventajosos, ideales para especies que suelen sobrevolar el dosel (Wunderle 1994). Los conteos se llevaron a cabo en cuatro puntos ubicados entre los 2140 y 2590 m de elevación y distanciados a más de 1 km entre sí, entre las 06:00 y 08:00 horas únicamente debido a las frecuentes lluvias de la tarde. Cada punto fue visitado tres veces al mes entre julio y diciembre de 2006 y entre abril y noviembre de 2008, para un total de 168 conteos. Además, hicimos exploraciones dentro de la reserva y en áreas de amortiguación en busca de la especie, abarcando un área total de 15.43 km² de bosques entre los 1600 y 2700 m. Dicha área fue estimada mediante el programa ArcGIS 9.3 y la capa de cobertura vegetal de 2008 del SIG-OT.

Debido a la imposibilidad de estimar la probabilidad de detección mediante los puntos ventajosos (Bibby *et al.* 2000), calculamos un intervalo en el que se supone se encuentra el tamaño de la población en San Lorenzo. El grupo más grande observado durante cualquiera de los días de conteo fue tomado como el límite inferior del intervalo; la suma máxima de todos los individuos observados durante un mismo día en el periodo de muestreo fue tomado como el límite superior. Para evitar el

reconteo de individuos para estimar la suma máxima, solo tuvimos en cuenta los datos cuando se emplearon conteos simultáneos con observadores en cada punto. Los grupos contados más de una vez fueron descartados al comparar la hora, tamaño del grupo y dirección de vuelo de cada banda registrada por cada observador.

El cociente entre los valores del intervalo del tamaño de la población y el área muestreada fue tomado como un intervalo en el cual se encuentra la densidad poblacional en San Lorenzo. Los intervalos obtenidos para 2006 y 2008 fueron comparados entre sí y con los estimativos consignados por Rodríguez-Mahecha y Renjifo (2002). Luego, y suponiendo una densidad poblacional similar en San Lorenzo y las otras localidades, extrapolamos los intervalos del tamaño poblacional de la especie al área de ocupación, con el fin de sugerir un tamaño poblacional para la especie. Este estimado fue comparado con los valores empleados para la categorización de amenaza en los ámbitos nacional (Rodríguez-Mahecha & Renjifo 2002) y global (BirdLife International 2012).

VACÍOS DE CONSERVACIÓN.- El análisis de vacíos fue realizado utilizando el programa ArcGIS 9.3, superponiendo las capas de hábitat potencial (*i.e.* área de ocupación) y hábitat remanente de la especie con una capa del Sistema Nacional de Áreas Protegidas SINAP (Vásquez-V. and Serrano-G. 2009). También evaluamos la representatividad de las AICAs CO005 y CO007 en su distribución, con el fin de identificar otras áreas complementarias al SINAP y que podrían ser tenidas en cuenta para incrementar el área ya protegida. Finalmente, evaluamos la presencia y cercanía de centros poblados al hábitat remanente de la especie con el fin de identificar áreas donde la transformación del paisaje y la persecución pudiesen ejercer mayor presión.

Debido a la aparente dependencia de la continuidad en el dosel de los bosques nativos que pre-

sentan las especies del género *Pyrrhura* para realizar movimientos a escala del paisaje (Botero-Delgadillo & Páez 2011b), determinamos la continuidad en la cobertura boscosa entre las localidades de registro para inferir la posibilidad de conectividad entre estas zonas. Utilizando ArcGIS 9.3, establecimos si cada una de las localidades estaba conectada por una línea continua a través de grandes extensiones de bosque o fragmentos separados por menos de 2 km entre los 1500 y 3000 m de elevación. Los criterios para la distancia máxima entre fragmentos y el rango altitudinal de la franja boscosa se basaron en la información hasta ahora disponible para *P. viridicata* (Botero-Delgadillo & Páez 2011b).

Resultados

MODELAMIENTO DE LA DISTRIBUCIÓN.- El modelo obtenido de las 10 réplicas de validación cruzada mostró un buen ajuste de acuerdo a los criterios empleados para su evaluación. La ganancia regularizada promedio de los datos de aprendizaje fue 1.66 (DE= 0.18), la ganancia no regularizada promedio fue de 2.49 (DE = 0.20) y la ganancia promedio de los datos de prueba fue 2.03 (DE= 1.63). La media del área bajo la curva ROC fue de 0.94 (DE= 0.11). El valor promedio de la entropía entre todas las réplicas de validación cruzada (*i.e.*, área predicha por el modelo) fue de 5.24 (DE= 0.19) y su escasa variación indicó que la predicción de la distribución geográfica fue similar en todos los casos, lo que apoya la selección del promedio de las réplicas como modelo consenso.

DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y ECOLÓGICA.- El área promedio predicha por el modelo de distribución potencial fue de 967 km² (DE= 37). Dicha predicción abarcó un continuo en el flanco noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta (en adelante SNSM) y un área considerablemente menor y más fragmentada en la región norcentral y nororiental de dicho macizo (ver Fig. 2A). De acuerdo al mo-

delo, las condiciones ambientales propicias para la presencia de *P. viridicata* se encontraron entre 2000 y 3500 m de elevación (72.4% de la distribución predicha) y en menor proporción entre 1500 y 2000 m (12.9%; Fig. 2A). Unos pocos píxeles fueron predichos entre 500 y 1500 m (14.7%; Fig. 2A), aunque la probabilidad de presencia de la especie asociada a éstos fue menor al 35%. Los biomas ocupados por esta ave serían el Orobioma bajo de Santa Marta y Macuira (15.1% de todo el rango), el Orobioma medio de Santa Marta (52.9%) y el Orobioma alto de Santa Marta (31.9%).

El modelo de nicho climático indicó que *P. viridicata* se restringe a las zonas del bosque húmedo premontano y bosque húmedo montano (*sensu* Holdridge 1963), pues el 62% de su distribución fue predicha en áreas con valores de precipitación anual entre 2000 y 2500 mm, mientras el 38% correspondió a zonas con más de 2500 mm (ver Fig. 2B). La presencia modelada de *P. viridicata* no solo coincidió con la zonificación de áreas húmedas en la SNSM (Fig. 2B), sino con los límites de zonas donde la variación estacional en los niveles de precipitación y de temperatura son menos pronunciados (Figs. 2C y 2D).

El estimado heurístico de la contribución relativa de cada variable ambiental al modelo indicó que las variables más relevantes para la delimitación del área predicha fueron la temperatura mínima del mes más frío del año (diciembre), el valor promedio del ámbito mensual de la temperatura, y la precipitación del mes más húmedo (octubre) y del mes más seco (enero) (Tabla 1). Las pruebas de *jackknife* para la ganancia regularizada de los datos de entrenamiento mostraron que la variable que más aportó para la construcción del modelo fue la temperatura del mes más frío, mientras que el ámbito mensual de temperatura fue la que contuvo la mayor cantidad de información ausente en las otras variables. El mismo resultado fue evidente al analizar los valores de la prueba de *jackknife* pa-

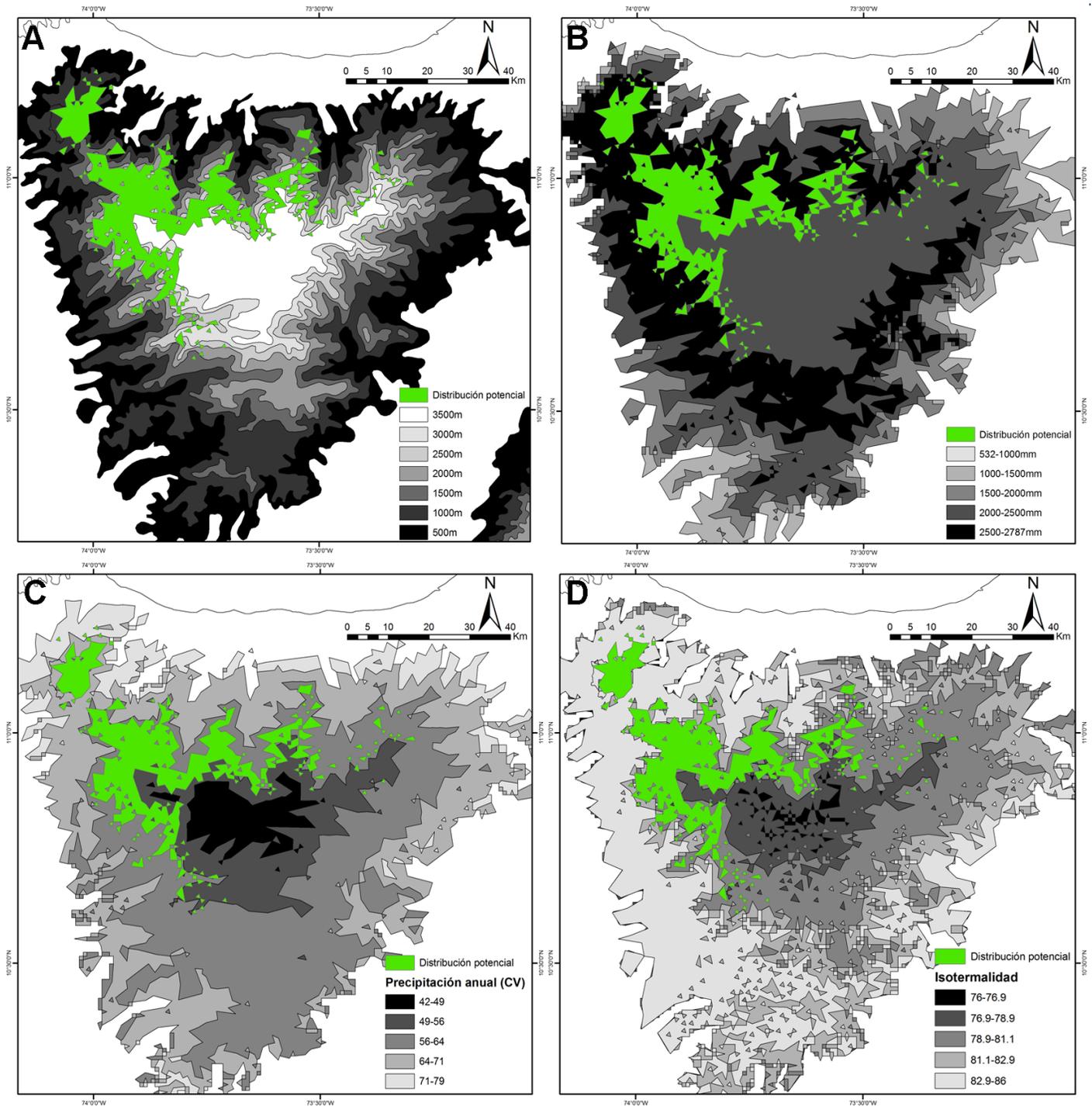


Figura 2. Distribución geográfica potencial y distribución ecológica de *Pyrrhura viridicata* en la Sierra Nevada de Santa Marta. (A) Modelo de distribución respecto al gradiente de elevación comprendido entre los 500 y 3500 m de elevación; (B) Modelo de distribución respecto a la zonificación de los valores anuales de precipitación (en mm); (C) Modelo de distribución respecto a la zonificación de la estacionalidad de la precipitación, tomada como el coeficiente de variación de los valores anuales de lluvias; (D) Modelo de distribución respecto a la zonificación de la estacionalidad de la temperatura, tomada como la isoterma (rango de la temperatura media mensual/rango anual de la temperatura *100).

ra la ganancia de los datos de prueba.

ÁREA DE OCUPACIÓN Y PÉRDIDA DE HÁBITAT.- La combinación del modelo de presencia-ausencia

(manteniendo solo los datos por encima del percentil 20, *i.e.* píxeles con probabilidad de presencia ≥ 0.35) con las capas de uso del suelo y ecosistemas permitió estimar el hábitat potencial (y por

ende el área de ocupación) de *P. viridicata* en 794 km² (DE= 37; Fig. 3A). Al considerar únicamente los bosques naturales continuos o fragmentados (*sensu* IDEAM 2010) para la superposición de capas, el estimado del hábitat original remanente fue de 680 km² (DE= 73; Fig. 3B). Esto quiere decir que el hábitat original de *P. viridicata* se ha transformado en un 29.7%.

DENSIDAD Y TAMAÑO POBLACIONAL.- Obtuvimos 72 registros de *P. viridicata* en 2006, con un promedio de 8.7 (DE= 16.5) individuos por avistamiento. En 2008 obtuvimos 97 registros, con un promedio de 7.1 (DE= 15.2) individuos por avistamiento. La abundancia promedio de la especie en San Lorenzo varió entre 4.8 y 12.6 individuos/conteo en 2006, y entre 2.5 y 10.3 en 2008.

El intervalo del tamaño poblacional estimado en San Lorenzo para 2006 estuvo entre 68 (el grupo más grande observado en todo el semestre) y 97 individuos (el número máximo de individuos contados en un mismo día). El intervalo de 2008 fue

de 62 a 104 individuos. Suponiendo que el área explotable (explotación *sensu* Mac Nally 1995) para la especie en San Lorenzo está constituida por bosques naturales y matorrales, la densidad poblacional de la especie en 2006 equivaldría a 4.4-6.3 individuos/km², y en 2008 a 4.1-7.1 individuos/km². Suponiendo que la densidad poblacional de *P. viridicata* es similar en otras localidades, y que ésta explota el 100% de su área de ocupación, la población de la especie se encontraría entre 3500 y 5600 individuos. Por el contrario, si solo el hábitat original remanente es completamente explotado, la población estaría entre 2900 y 4800 individuos.

VACÍOS DE CONSERVACIÓN.- Un área protegida de orden nacional y dos de orden regional protegen vastas áreas en distintos ecosistemas de la SNSM. El hábitat potencial y remanente de *P. viridicata* solo se encuentran representados en el Parque Nacional Natural SNSM (PNN SNSM), cuya extensión supera los 4000 km². Dos reservas de nivel local también cubren parte de su distribución

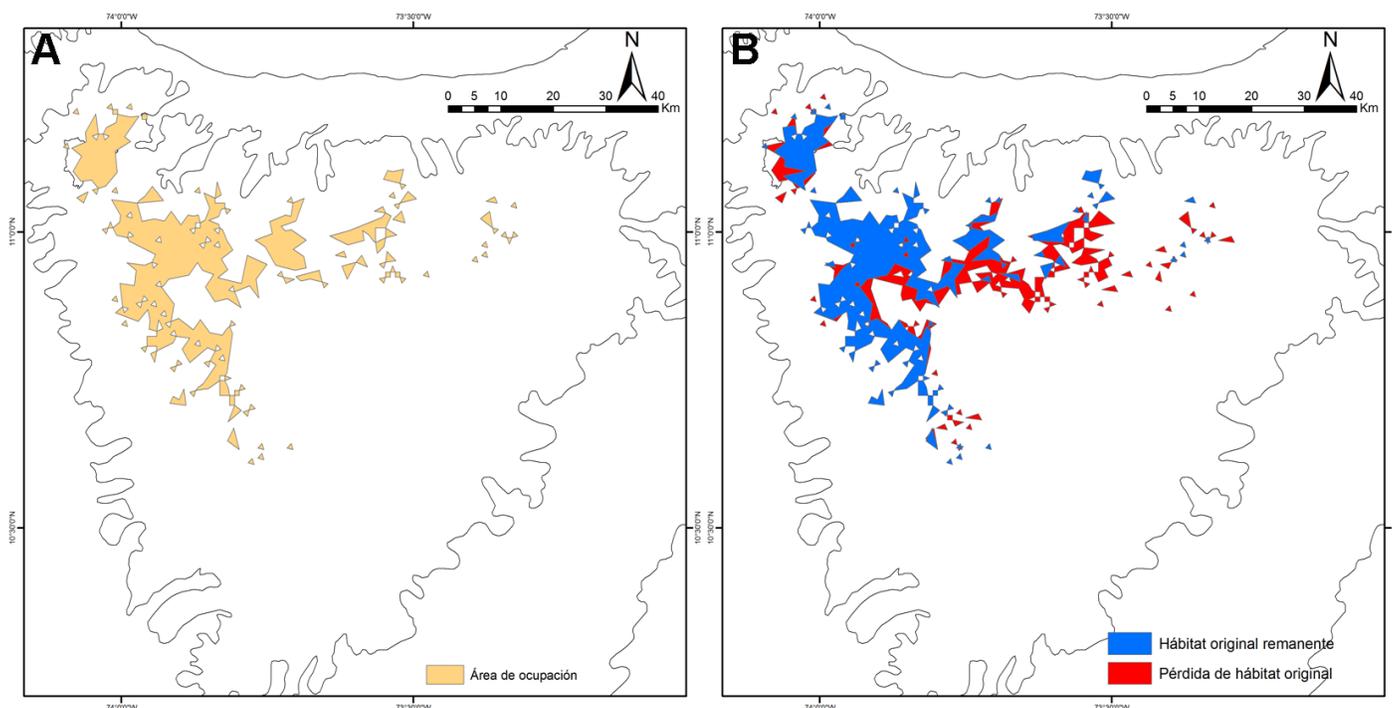


Figura 3. Extensión del hábitat potencial y remanente de *Pyrrhura viridicata* en la Sierra Nevada de Santa Marta. (A) Área de ocupación o hábitat potencial, estimado a partir del remanente del hábitat original remanente y áreas de vegetación secundaria y matorrales; (B) Extensión del hábitat original remanente (bosque primario y bosque secundario avanzado) y áreas donde la vegetación nativa ha sido transformada.

Tabla 1. Estimados heurísticos de la contribución porcentual de cada una de las variables climáticas a la construcción del modelo de distribución potencial de *Pyrrhura viridicata*.

Variable	Contribución Porcentual (%)
Temp. min. del mes más frío	31.6
Rango de la temp. media mensual	29.9
Precip. del mes más húmedo	16.1
Precip. del mes más seco	11.9
Precip. del trimestre más cálido	7
Precip. del trimestre más frío	1.9
Precip. del trimestre más húmedo	1.2
Precip. del trimestre más seco	0.3
Precip. anual	0.2
Temp. media del trimestre más frío	0

(reservas “El Dorado” de ProAves y “La Cumbre” apoyada por ALPEC), pero no fueron incluidas en los análisis. Los estimados indican que el PNN SNSM cubriría el 78.5% (ca. 623 km²) del hábitat potencial de la especie. Al tener en cuenta únicamente el porcentaje de áreas de la distribución geográfica con hábitat sin transformar, encontramos que el 79.1% (ca. 538 km²) estaría protegido (Fig. 4A). También observamos que las AICAs CO007 y CO005 se superponen con parte del hábitat remanente de la especie en la cuchilla de San Lorenzo y el valle del río Frío, donde ca. 86 km² están cubiertos por las AICAs pero no por el PNN SNSM (Fig. 4B).

Identificamos tres áreas donde la cercanía a centros poblados podría imponer mayor presión a las poblaciones de *P. viridicata*. La primera estaría constituida por seis centros poblados ubicados ca. 45 km al norte del municipio de Pueblo Bello, departamento del Cesar, cuya distancia promedio a la extensión de hábitat remanente de la especie es de 9.4 km (DE= 3.74; Fig. 4C). La segunda zona corresponde a cuatro asentamientos ca. 35 km al suroccidente del municipio de Dibulla, Guajira, localizados a unos 9.7 km en promedio (DE= 2.5) del hábitat de la especie (Fig. 4C). La tercera incluiría dos poblaciones localizadas a unos 16 km de Santa Marta y a tan solo 4 km de zonas habita-

das por la especie (Fig. 4C). Si bien la segunda zona de asentamientos está dentro del PNN SNSM y la tercera es muy cercana a las reservas “El Dorado” y “La Cumbre”, las áreas de influencia de dichos centros poblados exhiben un alto nivel de transformación y fragmentación de la vegetación original (Figs. 4C y 4D).

Los análisis indicaron que las poblaciones de San Lorenzo, río Frío y San Salvador podrían mantener contacto mediante vuelos de más de 25 km a lo largo de las zonas ambientalmente propicias para la presencia de la especie (por encima de 1500 m de elevación) evitando áreas transformadas de más de 2 km² (Fig. 4D). No obstante, los resultados sugieren que la población de la cuenca del río Ranchería requeriría de movimientos de más de 70 km a lo largo de zonas completamente transformadas o por fuera de su distribución altitudinal (línea punteada en Fig. 4D).

Discusión

Nuestro ejercicio de modelamiento de nicho sugiere que la distribución potencial de *P. viridicata* se restringe a bosques de áreas húmedas del flanco noroccidental, norte y nororiental de la Sierra Nevada de Santa Marta, principalmente por encima de los 2000 m de elevación. Nuestros resultados indican que el área de ocupación de la especie posiblemente no exceda los 800 km² y que un elevado porcentaje de ésta se encuentra dentro del PNN SNSM. Pese a la existencia de esta área protegida, algunas zonas dentro del mismo parque albergan asentamientos humanos donde la especie podría estar expuesta a diversas presiones (Figs. 4B, 4C y 4D). Este podría ser el caso de la población de la cuenca del río Ranchería, donde la transformación de los bosques es mayor que en otras áreas (Fig. 4D).

El modelo predijo la presencia de *P. viridicata* en un área continua que incluyó las cuatro localidades donde ha sido registrada en los últimos años,

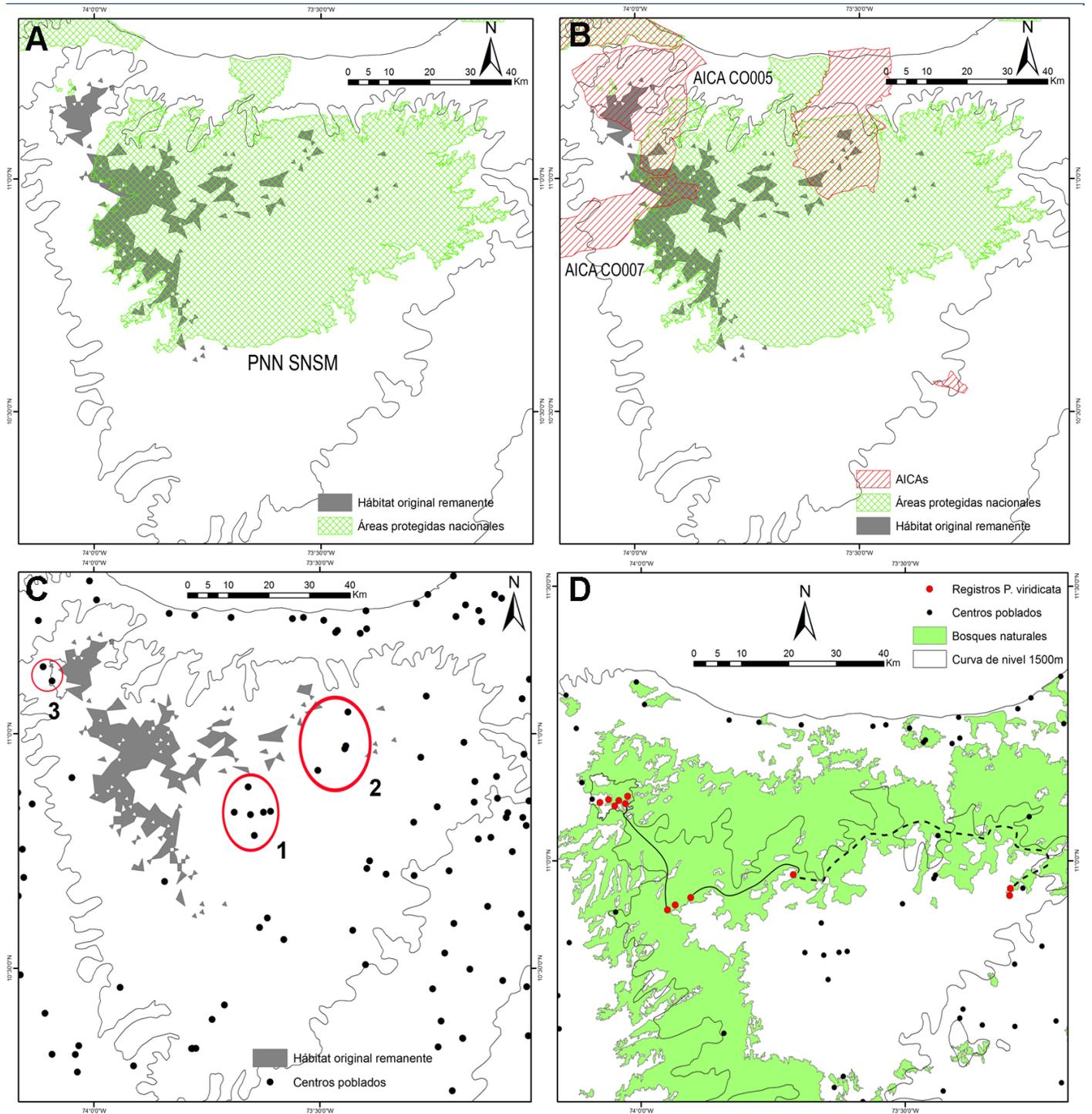


Figura 4. Análisis de vacíos de conservación para *Pyrrhura viridicata* en la Sierra Nevada de Santa Marta. (A) Cobertura de la distribución de la especie por el Parque Nacional Natural SNSM; (B) Cobertura de la distribución por Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves del norte de Colombia. AICA CO-005 o “San Lorenzo”; AICA CO-007 o “Valle del río Frío”; (C) Zonas de concentración de centros poblados alrededor del hábitat remanente de la especie. Ver texto para detalles sobre cada una; (D) Estado actual del bosque primario y secundario avanzado en la SNSM y la ubicación de las localidades de registro de la especie y los principales centros poblados. Las líneas representan el trayecto hipotético más corto entre las localidades. Las líneas continuas son movimientos a través ambientes con dosel continuo ubicados en el ámbito de elevaciones ocupados por la especie. La línea punteada representa desplazamientos que requieren atravesar extensas áreas transformadas o por fuera del ámbito de elevaciones de la especie para mantener contacto.

lo que indica una buena representación de las condiciones ambientales habitadas por la especie por parte del modelo (Guisan & Thuiller 2005).

Aunque el tamaño de muestra utilizado fue limitado, la reducción de la extensión y el fondo empleada para el modelamiento aminoró la posibilidad de un sobreajuste del modelo (Elith *et al.* 2011), lo que permitió predecir la presencia de la especie en zonas distanciadas de las localidades de registro. Mediante la validación cruzada de 10 iteraciones se obtuvo una distribución promedio poco variable ($967 \pm 37 \text{ km}^2$), lo que sugiere que el modelo consenso fue representativo de la distribución geográfica de la especie (Dormann 2007, Pearson *et al.* 2007, Elith *et al.* 2011). Los valores promedio del área bajo la curva ROC y de ganancia confirmaron que la incertidumbre en torno al ajuste del modelo fue baja, lo que fue corroborado por los bajos valores de varianza de la entropía y prevalencia entre todas las réplicas (Elith *et al.* 2011). Aunque modelos futuros con más registros podrán ajustarse mejor a la distribución real de la especie, la concentración del área predicha en áreas de bosques húmedos en nuestro modelo parece ser un reflejo confiable de su distribución ecológica, a juzgar por la información existente para otras especies de *Pyrrhura* con requerimientos ecológicos similares (Collar 1997, Forshaw 2010, Botero-Delgadillo & Páez 2010, Botero-Delgadillo & Páez 2011b, Botero-Delgadillo *et al.* 2011).

La distribución potencial de *P. viridicata* se restringió a zonas con altos niveles de precipitación en el norte de la SNSM y, especialmente, a zonas donde la variación estacional de la temperatura y la precipitación es leve. Esto fue indicado por la superposición de las capas ambientales con el modelo obtenido, análisis que sugirió que la interacción entre la precipitación anual y la variación anual de la temperatura y la precipitación serían los factores ambientales que limitan la presencia

de la especie en otras zonas del macizo (Fig. 2; la contribución de las variables climáticas a la construcción del modelo mostró un patrón similar, Tabla 1). La aparente restricción a regiones húmedas parece ser un patrón común a muchas especies de *Pyrrhura* (Collar 1997, Botero-Delgadillo & Páez 2011b), especialmente a aquellas cuya distribución se asocia a ecosistemas de montaña (Botero-Delgadillo *et al.* 2011).

Nuestros resultados sugieren que el hábitat potencial (*i.e.* área de ocupación) de *P. viridicata* es de *ca.* 794 km^2 si las zonas de vegetación secundaria son tomadas en cuenta, y de *ca.* 680 km^2 si solo se considera el hábitat original remanente. Aunque los estimados de Rodríguez-Mahecha y Renjifo (2002) y Velásquez-Tibatá y López-Arévalo (2006) difieren (1080 y 455 km^2 , respectivamente), es posible concluir a partir de todos estos estimados que el área de ocupación de la especie se concentra en el flanco norte de la SNSM y que no excedería los 1000 km^2 . Otros análisis (BirdLife International 2012) sostienen que la distribución de esta ave no excede los 460 km^2 , por lo cual ha sido ubicada en la categoría en peligro (EN) de acuerdo al criterio B1 (IUCN 2011). Si bien nuestros estimados muestran un escenario un poco menos alarmante, éstos no indican que la categorización del grado de amenaza de la especie deba ser reevaluada.

Los valores de pérdida de hábitat de *P. viridicata* propuestos aquí (29.7%) se asemejan a los de Rodríguez-Mahecha y Renjifo (2002), quienes estimaron una pérdida de vegetación original del 26%. La diferencia entre ambos porcentajes podría explicarse por el aumento en el área deforestada entre 2002 y 2008, o a diferencias entre las capas de uso de suelo y ecosistemas empleadas por cada estudio. En contraste, otros investigadores han sugerido que la transformación del hábitat de *P. viridicata* superaría el 80% (Velásquez-Tibatá y López-Arévalo 2006, BirdLife International 2012),

un valor extremadamente distinto de los anteriores. El hecho de que estas conclusiones se basen en el estudio de imágenes remotas sugiere que debe tenerse una extrema cautela al momento de interpretarse, especialmente cuando la información más reciente de uso del suelo no está disponible. Dado que nuestros análisis emplearon capas de uso del suelo de 2008, consideramos que los estimativos de pérdida de hábitat aportados aquí serían los más fiables hasta ahora.

La densidad poblacional de *P. viridicata* en San Lorenzo en 2006 y 2008 fue relativamente baja y similar a la de congéneres como *P. picta* y *P. rupicola* (7 y 8 individuos/km², respectivamente; Rodríguez-Mahecha & Renjifo 2002). Al extrapolar estas densidades a las áreas de ocupación, encontramos que los intervalos de la población total de la especie (2900-4800 individuos) no difieren notablemente de los estimados previos de entre 4000 y 4500 aves (BirdLife International 2012). Esta similitud obedece, en parte, a que dicho intervalo fue obtenido con el mismo método de este trabajo, proyectando el tamaño de la población de San Lorenzo (estimada en 120 aves) a toda el área de bosques disponibles en su distribución (Strewe 2005). Tanto en el estudio de Strewe (2005) como en el nuestro se supone que la especie ocupa toda el área de hábitat disponible con densidades poblacionales similares, lo que podría conducir a sobrestimar el tamaño poblacional. Tomando en cuenta lo anterior y basándonos en toda la información recolectada en 2006 y 2008, consideramos que el tamaño poblacional real podría no superar los 2500 individuos. Una evaluación de los tamaños poblacionales en todas las localidades de registro permitiría obtener una visión más exacta del estado de la especie.

Encontramos que cerca del 80% del hábitat remanente de *P. viridicata* estaría dentro de la jurisdicción del PNN SNSM (véase también Velásquez-Tibatá y López-Arévalo 2006, quienes obtuvieron resultados similares). Pese al elevado porcentaje,

se ha resaltado la necesidad de representar la totalidad de la distribución geográfica de la especie en el SINAP debido a su extensión reducida (Velásquez-Tibatá & López-Arévalo 2006) y a la baja efectividad de la protección del hábitat en algunos sectores del PNN SNSM (Botero-Delgadillo y Páez 2011b, BirdLife International 2012). Por ejemplo, el análisis de vacíos demuestra que la transformación de la vegetación natural dentro del parque es elevada en la cuenca del río Ranchería (Figs. 4C y 4D). Además, la cercanía de asentamientos humanos en dicha zona también incrementa la presión por persecución; en algunos caseríos indígenas se ha observado el uso de la especie como mascota (L. F. Cáceres, com. pers.). Por ende, futuros esfuerzos para incrementar el área del SINAP en la SNSM podrían tener en cuenta entre otras potenciales zonas, los 80 km² abarcados por las AICAs CO007 y CO005 en San Lorenzo y el valle del río Frío y que actualmente no hacen parte del parque (Fig. 4). En el contexto de la evaluación del grado de protección de los ambientes ocupados por *P. viridicata*, vale reconocer que algunas reservas de la sociedad civil ya se han establecido en San Lorenzo: la Reserva Natural "El Dorado" de la Fundación ProAves, y la Reserva Natural "La Cumbre", apoyada por ALPEC.

A pesar de la evidente transformación y fragmentación del hábitat de *P. viridicata* en todas las localidades de registro (Fig. 4D), nuestros análisis indican que la continuidad de los remanentes de bosque aún permitirían la conectividad entre las poblaciones de San Lorenzo, río Frío y San Salvador. Por el contrario, encontramos que la población de la cuenca del río Ranchería requeriría de extensos movimientos a través de áreas transformadas y por fuera de su distribución altitudinal típica para mantener contacto con las demás. Teniendo en cuenta la aparente sensibilidad de las especies de *Pyrrhura* a la fragmentación y su dependencia de la continuidad del dosel para realizar movimientos a escala del paisaje (Gilardi & Munn 1998, Botero-Delgadillo & Páez 2011b), es plausible que la po-

blación en Ranchería se encuentre aislada.

Aunque en este trabajo recopilamos y analizamos la información más reciente sobre población y distribución de *P. viridicata*, varias de nuestras conclusiones deben ser reexaminadas por estudios más específicos. Debido a que los estimados del tamaño poblacional y el área de ocupación requieren de ciertos supuestos debido a la ausencia de información, es probable que la situación de la especie sea más crítica de lo presupuestado de presentarse alguno de varios escenarios que nuestro trabajo no contempla. Entre éstos se encuentran una tasa de deforestación anual que no decrezca, una densidad poblacional menor a la de San Lorenzo en las otras localidades, un número total de individuos maduros inferior al tamaño poblacional actualmente propuesto, la no ocupación uniforme de todo el hábitat remanente, un área de ocupación menor que la estimada, aislamiento entre las poblaciones que aquí se supone están conectadas, una baja variabilidad genética y baja tasa de reclutamiento de nuevos individuos cada año. Lo anterior evidencia que muchas preguntas requieren atención en un futuro cercano. Algunas exploraciones deberán ser llevadas a cabo para validar el modelo de distribución que hemos propuesto y confirmar la presencia de la especie en sectores alejados de las localidades de registro, pero donde las condiciones climáticas y biofísicas serían adecuadas para su presencia (Botero-Delgadillo & Páez 2011b). El uso de técnicas como telemetría permitirán entender los patrones de selección del hábitat y el ámbito de acción de los grupos familiares, con el fin de confirmar si en efecto, las otras poblaciones podrían mantener contacto entre sí (Botero-Delgadillo & Páez 2011b). Un monitoreo poblacional a largo plazo y estudios sobre la estructura genética poblacional serán esenciales para comprender los movimientos y el flujo entre las poblaciones.

Agradecimientos

Agradecemos a la Fundación ProAves de Colombia y al personal de la Reserva Natural de las Aves "El Dorado" por todo el apoyo. Gracias a la fundación Loro Parque por el financiamiento del proyecto *Pyrrhura*, dentro del cual se enmarca este trabajo. Agradecemos a Christian Olaciregui, Adriana Mayorquín y Nicolai Osorno por su ayuda durante la ejecución del estudio, a Luis Fernando Cáceres por compartir su información de Mamarongo, Guajira, y a Franz Kaston por compartir información de sus registros en San Salvador, Magdalena. Gracias a Sandra Escudero y Juan Mauricio García por sus comentarios sobre versiones iniciales de este trabajo. Luis Miguel Renjifo y Jorge Iván Velásquez realizaron valiosos aportes para la sustancial mejora del manuscrito.

Literatura Citada

- ARAUJO, M. B. & A. GUIBAN. 2006. Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of Biogeography* 33: 1677-1688.
- BIBBY, C.J., N.D. BURGESS, D.A. HILL & S. H. MUSTOE. 2000. *Bird Census Techniques*, Second Edition. Academic Press, Londres.
- BIRDLIFE INTERNATIONAL. 2012. Species factsheet: *Pyrrhura viridicata*. <http://www.birdlife.org>.
- BOTERO-DELGADILLO, E. & C. A. PÁEZ. 2010. Determinando la distribución geográfica del género *Pyrrhura* en Colombia para identificar vacíos de conservación. Pág. 213 en: Asociación Colombiana de Zoología. Creando un clima para el cambio: La biodiversidad, servicios para la humanidad. III Congreso Colombiano de Zoología, Libro de resúmenes. Asociación Colombiana de Zoología, Medellín, Colombia.
- BOTERO-DELGADILLO, E. & C. A. PÁEZ. 2011a. Plan de acción para la conservación de los loros amenazados de Colombia 2010-2020: avances, logros y perspectivas. *Conservación Colombiana* 14:7-16.
- BOTERO-DELGADILLO, E. & C. A. PÁEZ. 2011b. Estado actual del conocimiento y conservación de los loros amenazados de Colombia. *Conservación Colombiana* 14:86-151.
- BOTERO-DELGADILLO, E., C. A. PÁEZ & BAYLY, N. 2011. Identificando unidades de conservación a partir de patrones

- biogeográficos: el género *Pyrrhura* como estudio de caso para el nor-occidente de Suramérica. Pág. 317 en: Sociedad de Ornitología Neotropical & Unión de Ornitólogos del Perú. IX Congreso de Ornitología Neotropical, Libro de resúmenes. Sociedad de Ornitología Neotropical, Cuzco, Perú.
- BOTERO-DELGADILLO, E. & J. C. VERHELST. 2011a. Uso de hábitat del Periquito de Santa Marta (*Pyrrhura viridicata*) y sus variaciones espacio-temporales en la Sierra Nevada de Santa Marta. *Conservación Colombiana* 14:17-27.
- BOTERO-DELGADILLO, E. & J. C. VERHELST. 2011b. Caracterización del hábitat del Periquito de Santa Marta (*Pyrrhura viridicata*) en la Reserva Natural "El Dorado". *Conservación Colombiana* 14:28-37.
- COLLAR, N. J. 1997. Family Psittacidae (Parrots). Págs. 280-479 en: J. del Hoyo, A. Elliot & J. Sargatal (eds.). *Handbook of the Birds of the World*, vol. 4: Sandgrouse to Cuckoos. Lynx Editions, Barcelona.
- CHAPMAN, A. D. 2005. Principles of data quality, version 1.0. Report of the Global Biodiversity Information Facility. Copenhagen.
- DATAVES. 2006. Base de datos. Red Nacional de Observadores de Aves, cedida por la Sociedad Antioqueña de Ornitología, modificada al RRBB. Instituto de recursos biológicos Alexander von Humboldt-SIB, Colombia. <http://www.rnoa.org/dataves>.
- DORMANN, C. F. 2007. Promising the future? Global change projections of species distributions. *Basic and Applied Ecology* 8:387-397.
- ELITH, J., C.H. GRAHAM, R.P. ANDERSON, *ET AL.* 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29:129-151.
- ELITH, J., S. J. PHILLIPS, T. HASTIE, M. DUDÍK, Y. E. CHEE & C. J. YATES. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 17:43-57.
- ESRI. 2008. ArcGIS, version 9.3 for Windows. Environmental Systems Research Institute. Redlands, California.
- FORSYTH, J. M. 2010. *Parrots of the World*. Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey.
- FRANCO A. M. & G. BRAVO. 2005. Áreas importantes para la conservación de las aves en Colombia. Págs. 117-281 en: Boyla, K. & A. Estrada (eds.). *Áreas de importancia para la conservación de las aves en los Andes tropicales: Sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad*. Serie de conservación de BirdLife No. 14. BirdLife International, Quito, Ecuador.
- GILARDI, J. D. & C. A. MUNN. 1998. Patterns of activity, flocking, and habitat use in parrots of the Peruvian Amazon. *The Condor* 100:641-653.
- GRAHAM, C. H., N. SILVA & J. VELÁSQUEZ-TIBATÁ. 2010. Evaluating the potential causes of range limits of birds of the Colombian Andes. *Journal of Biogeography*. 37:1863-1875.
- GUISAN, A. & W. THUILLER. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8:993-1009.
- HJMANS, R. J., M. SCHREUDER, J. DE LA CRUZ & L. GUARINO. 1999. Using GIS to check co-ordinates of germplasm accessions. *Genetic Resources and Crop Evolution* 46:291-296.
- HJMANS, R. J., M. E. CRUZ & L. GUARINO. 2006. DIVA-GIS, version 5.4. <http://www.diva-gis.org/>.
- HOLDRIDGE, L. R. 1963. Life zone ecology. Tropical Science Center, San José, Costa Rica.
- IDEAM 2010. Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá.
- IUCN 2011. Guidelines for using the IUCN Red List categories and criteria, version 9.0. IUCN Standards and petitions subcommittee. Downloaded from <http://www.iucnredlist.org/documents/RedListGuidelines.pdf>.
- MAC NALLY, R. C. 1995. *Ecological versatility and community ecology*. Cambridge University Press, Nueva York.
- OLACIREGUI, C. A. & R. BORJA. 2011. Aspectos de la biología reproductiva del Periquito de Santa Marta (*Pyrrhura viridicata*) en la Sierra Nevada de Santa Marta. *Conservación Colombiana* 14:48-57.
- ORTEGA-HUERTA, M. & A.T. PETERSON. 2008. Modeling ecological niches and predicting geographic distributions: a test of five methods. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79:205-216.
- PEARSON, R.G., C. J. RAXWORTHY, M. NAKAMURA & A. T. PETERSON. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography* 34:102-117.
- PETERSON, A. T., M. PAPEŞ & M. EATON. 2007. Transferability and model evaluation in ecological niche modeling: a comparison of GARP and MAXENT. *Ecography* 30:550-560.
- PHILLIPS, S. J. 2010. Maxent software for species habitat modeling, version 3.3.3. <http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>.
- PHILLIPS, S. J., R. P. ANDERSON & R. E. SCHAPIRE. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190:231-259.
- PHILLIPS, S. J. & M. DUDÍK. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31:161-175.
- QUEVEDO-GIL, A. 2006. Plan de acción nacional para los loros amenazados de Colombia: una iniciativa para garantizar la conservación de nuestros loros. *Conservación Colombiana* 1:58-66.

- REFAEILZADEH, P., L. TANG & H. LU. 2009. Cross-Validation. 6 Págs. en: Liu, L. & M. Tamer-Özsu (eds.). Encyclopedia of database systems (EDBS). Springer, Nueva York y Berlin.
- RENJIFO, L. M., A. M. FRANCO, J. M. AMAYA, G. H. KATTÁN & B. LÓPEZ. 2002. Libro rojo de aves de Colombia. Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá.
- RODRÍGUEZ-MAHECHA, J. V. & L. M. RENJIFO. 2002. *Pyrrhura viridicata*. Págs. 184-186 en: Renjifo, L. M., A. M. Franco, J. M. Amaya, G. H. Kattan & B. López (eds.). Libro rojo de aves de Colombia. Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá.
- RODRÍGUEZ-MAHECHA, J. V. & J. I. HERNÁNDEZ-CAMACHO. 2002. Loros de Colombia. Conservación Internacional, Bogotá.
- STREWE, R. 2005. Aktuelle Situation des Santa-Marta-Rotschwanzsittichs in Kolumbien. Papageien Mar:94-97.
- VÁSQUEZ-V., V. H. & M. A. SERRANO-G. 2009. Las áreas naturales protegidas de Colombia. Conservación Internacional -Colombia & Fundación Biocolombia, Bogotá.
- VELÁSQUEZ-TIBATÁ & LÓPEZ-ARÉVALO 2006 . Análisis de omisiones y prioridades de conservación para loros amenazados de Colombia. Conservación Colombiana 1:58-66.
- WUNDERLE, J. M. 1994. Métodos para contar aves terrestres del Caribe. General Technical Report SO-100. United States Department of Agriculture, Forest Service, Nueva Orleans.

Recibido: 06 de agosto de 2010. *Aceptado:* 01 de noviembre de 2012.