

ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN ESPECIES DE AVES AMENAZADAS EN LOS ANDES PERUANOS: MODELOS DE DISTRIBUCIÓN Y PROPUESTAS DE CONECTIVIDAD

Analysis of climate change incidence on threatened bird species in the Peruvian Andes: distribution models and connectivity proposals

María Alejandra Cuentas Romero¹

¹Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

Código ORCID y e.mail de la autora

María Alejandra Cuentas Romero. <https://orcid.org/0000-0002-5601-9910>. E-mail: alejandra.cuentas1@gmail.com

Recibido: 24/01/2022. **Aceptado:** 08/08/2022. **Publicación on-line:** 08/11/2022

Citation/Cómo citar este artículo: Cuentas Romero M.A. (2022). Análisis de la incidencia del cambio climático en especies de aves amenazadas en los Andes peruanos: modelos de distribución y propuestas de conectividad. *Pirineos*, 177, e071. <https://doi.org/10.3989/pirineos.2022.177004>

RESUMEN: El cambio climático es una grave amenaza para ecosistemas de montaña y especies representativas como las aves. Se seleccionaron seis especies de aves amenazadas presentes en los Andes del Perú. El objetivo de la investigación es identificar potenciales cambios en la distribución espacial de aves amenazadas en el futuro (2050). Para ello se utilizaron tres Modelos Climático Globales (GCM) y un escenario de las Vías de Concentración Representativas (RCP) 8.5, y se trabajó con MAXENT. Los resultados de la modelización muestran cambios significativos en el tamaño del área de ocupación. Todas las especies presentan una alta o considerable contracción del área potencial de distribución. Los posibles cambios plantean la cuestión sobre la capacidad de las áreas protegidas (AP) frente al cambio climático, dando paso a propuestas de conservación como corredores de menor coste. Se concluye que los Modelos de Distribución de Especies (MDE) son una herramienta de gran utilidad para las respuestas espaciales de las especies. Los resultados son una posible aproximación del movimiento inminente de las especies ante la reducción del hábitat potencial disponible. Finalmente, se enfatiza en la importancia de concentrar esfuerzos de conservación en función de la movilidad de las aves debido al cambio climático.

PALABRAS CLAVE: Aves amenazadas, Andes tropicales, cambio climático, modelización, distribución espacial, áreas protegidas (AP), conectividad.

ABSTRACT: *Climate change is a serious threat to mountain ecosystems and representative species such as birds. Six species of threatened birds present in the Andes of Peru were selected. The objective of the research is to identify potential changes in the spatial distribution of threatened birds in the future (2050). For this, three Global Climate Models*

(GCM) and a scenario of the Representative Concentration Pathways (RCP) 8.5 were used, and MAXENT was used. The modeling results show significant changes in the size of the occupation area. All species show a high or considerable contraction of the potential area of distribution. The possible changes open the question about the capacity of protected areas (PA) against climate change, giving way to conservation proposals as least cost corridors. It is concluded that the Species Distribution Models (SDM) are a very useful tool for the spatial responses of the species. The results are a possible approximation of the imminent movement of the species due to the reduction of the potential available habitat. Finally, the importance of concentrating conservation efforts based on the mobility of birds due to climate change is emphasized.

KEYWORDS: Threatened Birds, tropical Andes, climate change, modeling, spatial distribution, protected areas, connectivity.

1. Introducción

El antropoceno ha traído consigo la considerada “sexta extinción masiva”, donde el ser humano tiene un rol fundamental en la situación actual de la biodiversidad; y posiblemente la tendrá también en el futuro (Pulido *et al.*, 2020). En las últimas décadas, la investigación sobre los efectos del cambio climático en la diversidad biológica ha aumentado de forma considerable (Shrestha *et al.*, 2021). Esto se debe a que los hábitats idóneos están variando a nivel latitudinal y altitudinal; y muchas especies, ante una incapacidad de colonizar nuevos hábitats, podrían disminuir su población o extinguirse (Shrestha *et al.*, 2021). El clima es un determinante en la distribución de las especies, y sus efectos, además de ecológicos, también puede ser negativos en el sector económico y social por la posible pérdida de servicios ecosistémicos (Paž-Dyderska *et al.*, 2021).

En el contexto del cambio climático global, las aves son un grupo muy estudiado por la rapidez en su respuesta (Feria *et al.*, 2013). Son altamente móviles y con ello logran conectar largas distancias entre distintas localidades (BirdLife International, 2018). Se les ubica en numerosos ecosistemas y son de distintos tipos de especialización, por lo que también son motivo de investigación y aprovechamiento para actividades productivas (BirdLife International, 2018). Por tanto, llegan a ser especies indicadoras de cambios ambientales (González, 2012). Además de la alta riqueza a nivel global de aves, destaca su particular vulnerabilidad por su presencia y endemismo en ecosistemas montañosos tropicales, incluso algunas por estar en riesgo de extinción (Şekercioğlu *et al.*, 2012).

La relevancia de Perú en cuanto a especies de aves recae en ser uno de los países de mayor diversidad de aves a nivel mundial. Para 2014, Senner & Angulo (2014), registraron un total de 1.847 especies; mientras que para fines del 2016 se tenía un total de 1.852 (Plenge, 2016; Remsen *et al.*, 2017, citados por el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR, 2018). De ese total, para 2014 se identificaron 122 especies en alguna categoría de amenaza (15 en peligro crítico, 29 en peligro y 78 en estado vulnerable) (SERFOR, 2018). Por otro lado, en Perú, las Áreas Naturales Protegidas (ANP) cubren aproximadamente el 17% de la superficie total (Miranda *et al.*, 2016).

Sin embargo, para ser un territorio con una gran diversidad y altos niveles de endemismo, el porcentaje de espacio protegido con áreas no protegidas está desequilibrado.

Los Andes tropicales son un ejemplo de cambios en el tiempo debido al clima, basado en evidencias de aumento de temperatura y variaciones en precipitaciones (Vuille, 2013). Por tanto, es una zona muy vulnerable. Por ejemplo, en la Cordillera Blanca (en el Parque Nacional Huascarán, Áncash), se ha registrado una disminución del 30% de glaciares (Markham *et al.*, 2016). Se espera el aumento en la temperatura (para 2030) (Gobierno Regional de Áncash, 2016), granizada excesiva y disminución del recurso hídrico (Markham *et al.*, 2016). Asimismo, en la cordillera Chonta se ha registrado un retroceso glaciar de casi el 99% en 30 años (1980-2010), disminuyendo el aporte hídrico de lagunas glaciares (Gobierno Regional de Huancavelica, 2017).

El mayor conocimiento sobre biodiversidad y cambio climático en la región andina es en relación a especies vegetales; sin embargo, aún es insuficiente el conocimiento sobre aves y mamíferos (Báez *et al.*, 2016). Es muy probable que aún haya especies por descubrir, cuyos rangos de distribución sean incluso más estrechos (Herzog & Kattan, 2011), y por tanto complejos de identificar. Hay avances importantes en cuanto al estudio de cambios fenológicos, pero es necesario profundizar más en cuanto al análisis espacial de los cambios de distribución y procesos de adaptación al cambio (Crick, 2004). Aún si los cambios en el clima no son extremos, especies sedentarias o endémicas podrían ver amenazado su hábitat en altas elevaciones por el movimiento de otras con mayor desplazamiento (Báez *et al.*, 2016). La investigación toma relevancia por el rol clave de las aves en estudios sobre clima, pues se espera un escenario futuro negativo para especies de elevaciones altas; y un posible aumento del rango altitudinal en la distribución de especies de zonas medias o bajas (González, 2016). Hay un gran potencial de las aves como indicadoras de los efectos del cambio climático, principalmente cuando la investigación se basa en la distribución en el futuro y en un plazo amplio (Ramírez-Alán *et al.*, 2015).

La evidencia científica en la última década ha mostrado la importancia de las aves respecto a su conservación, como por ejemplo los estudios de Ayala-Pérez

et al. (2013), Plasencia & Escalona (2014), Hu *et al.* (2017), Cárdenas & Hurtado (2019). Se hace necesario seguir ahondando en su protección, sobre todo en el contexto del cambio climático. La alianza a nivel mundial, *BirdLife International*, contribuye enormemente a preservar y estudiar las aves de todo el mundo. Es así que el uso de corredores ecológicos, en relación al cambio climático, se implementan como nuevas alternativas a largo plazo para la adaptación de la biodiversidad (Gutiérrez-Yurrita, 2007).

La investigación plantea las siguientes cuestiones: ¿Cuál es el efecto del cambio climático en la distribución potencial futura de las especies de aves? ¿Cuánto está incluida el área potencial de distribución (presente y futura) en zonas destinadas a protección? ¿Qué zona específica de los Andes podría ser un primer objeto de priorización para

la conservación? ¿Cómo desarrollar una primera propuesta de corredores ecológicos ante escenarios negativos? Se predice que el cambio climático afectaría los rangos de distribución futura de forma significativa, debido a la vulnerabilidad de los Andes y del estado de amenaza de las especies seleccionadas. Esto se manifestaría en contracción del área potencial, un desplazamiento latitudinal y altitudinal considerable del centroide, y en la disminución de idoneidad de hábitat. En el caso en que haya expansión del área, probablemente ésta será mínima y solo aplicaría para especies con un rango de distribución más amplio. Además, es probable que muy poca área de la distribución potencial estimada coincida dentro de áreas protegidas. De acuerdo a los primeros resultados de distribución se aplican posibles corredores que, se espera, puedan ser eficientes en una gestión de conectividad futura.

Tabla 1. Información de las regiones naturales de acuerdo a los rangos altitudinales. Fuente: Pulgar Vidal (2014), Beraún & Villanueva (2016), Romero (2016).

Table 1. Information on natural regions according to altitude ranges (2014). Sources: Pulgar Vidal (2014), Beraún & Villanueva (2016), Romero (2016).

Región Natural	Elevación (msnm)	Descripción
<i>Quechua</i>	2.300 – 3.500	Tierras templadas ubicadas y extendidas en ambas pendientes de los Andes. El clima es templado y seco, con variaciones estacionales. Su temperatura media anual varía entre 11 y 16°C.
<i>Suni o Jalca</i>	3.500 – 4.000	Tierras con clima frío y seco con variaciones estacionales. Es una región con ciertas zonas muy escarpadas y acantilados. Tiene lluvias regulares, con un promedio anual de 800 mm. Su temperatura varía entre 7 y 10°C.
<i>Puna</i>	4.000 – 4.800	Son altiplanos y riscos con clima muy frío y variaciones estacionales. Se le conoce como la región de los páramos, zona de gran llanura o altiplano, donde se ubican las cabeceras de cuencas. Su temperatura media anual está entre 0 a 7°C, y tiene una oscilación térmica a lo largo del año. Sus precipitaciones pueden variar entre 200-400 mm a 1.000 mm anuales.
<i>Janca o Cordillera</i>	>4.800	Región gélida que se compone de cumbres nevadas (conocidas también como regiones blancas). Es la zona glacial con variaciones estacionales. Abundan las precipitaciones sólidas, con temperaturas nocturnas bajo cero. El ambiente es muy seco y hay baja presión atmosférica.

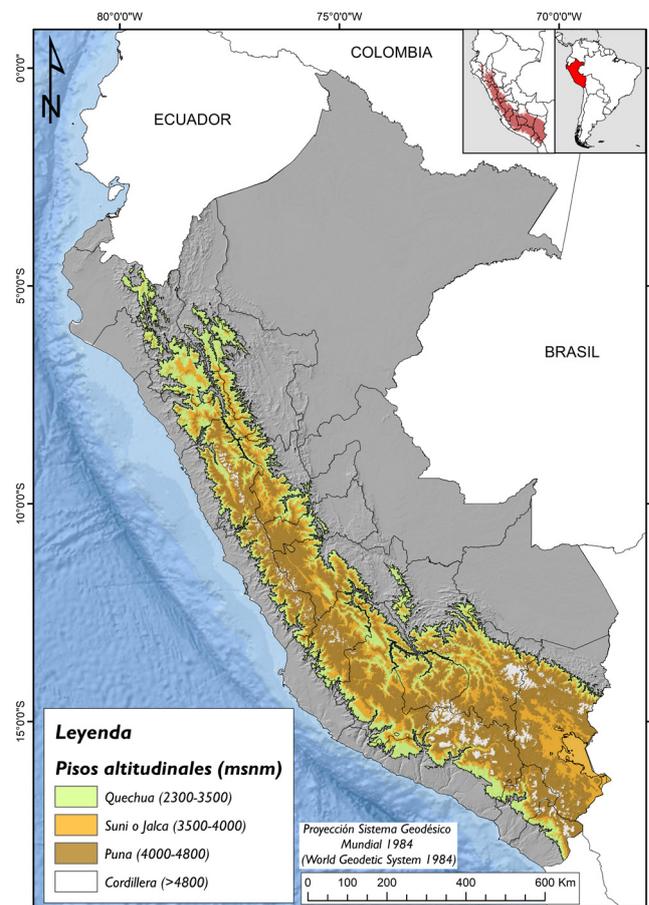


Figura 1: Área de estudio: Andes del Perú. Fuente: SIGMED (MINEDU), Mapa Base (Esri, Garmin, GEBCO, NOAA NGDC y otros). Países del mundo (obtenido de <https://tapiquen-sig.jimdofree.com/>)

Figure 1: Study area: Peruvian Andes. Source: SIGMED (MINEDU), Base Map (Esri, Garmin, GEBCO, NOAA NGDC and others). Countries of the world (obtained from <https://tapiquen-sig.jimdofree.com/>)

2. Materiales y métodos

2.1. Área de estudio

El área de estudio comprende los Andes del Perú, y se trabajó particularmente en rangos altitudinales siguiendo la propuesta de las regiones naturales por Pulgar Vidal (2014). Se considera zona andina desde los 2.300 msnm, y los pisos altitudinales se dividen en los siguientes: *Quechua*, *Suni o Jalca*, *Puna* y *Janca o Cordillera* (Pulgar Vidal, 2014). La Tabla 1 muestra una breve descripción de cada una de las regiones naturales que corresponde a cada piso altitudinal definido. La figura 1 muestra el mapa de ubicación y clasificación de las altitudes por medio del uso de un Modelo Digital de Elevación (DEM, obtenido de la plataforma *Worldclim*).

2.2. Especies de aves

Para la selección de las especies se consideró su estado de conservación, priorizando las que se encuentran en alguna categoría de amenaza; con poco o ningún tipo de estudio previo en modelamiento o en relación al cambio climático en los Andes peruanos. Asimismo, se consideró aquellas con información georreferenciada disponible. Para este análisis se seleccionaron seis especies de aves andinas: *Agriornis albicauda*, *Cinclodes palliatus*, *Microspingus alticola* (también identificada como *Poospiza alticola*), *Poospiza rubecula*, *Vultur gryphus* y *Zaratornis stresemannii*. La Tabla 2 presenta una breve descripción y una justificación más detallada.

Tabla 2. Especies de aves, información, descripción y justificación.
Table 2. Bird species, information, description and justification.

Especie (nombre científico)	Nombre común (español e inglés)	Estado de Conservación (UICN)
<i>Agriornis albicauda</i>	Gaucho andino / White-tailed Shrike-tyrant	Vulnerable (VU)
Rango de elevación: 2.400 – 4.300 msnm		
Descripción: Su distribución comprende los Andes (Ecuador hasta el norte de Chile y Argentina). Tiene preferencia por zonas de arbustos semiáridas. Se vincula al <i>Polylepis</i> y a áreas con vegetación dispersa.		
Justificación: No se cuenta con muchos registros de su presencia. Es una especie cuya población está en constante disminución, lo cual se complica al tener poco o nulo conocimiento de las causas. Se estima que la pérdida de árboles de <i>Polylepis</i> y <i>Puya raimondii</i> sería una razón de la disminución poblacional. Por otro lado, el libro Rojo de especies amenazadas del Perú (2018) recomienda desarrollar mayor cantidad de estudios de la especie y tomar acciones para detener la pérdida de su hábitat.		
Fuentes: Schulenberg <i>et al.</i> (2010), SERFOR (2018), IUCN (2022).		
Localidades de presencia	156	Fuente: https://doi.org/10.15468/dl.7yw5wq por: dl.fy8ya7
<i>Cinclodes palliatus</i>	Remolinera ventriblanca / White-bellied Cinclodes	En Peligro crítico (CR)
Rango de elevación: 4.600 – 5.000 msnm		
Descripción: Es una especie endémica del Perú. En la historia se ha avistado en pocos departamentos del centro del Perú, y mayormente por encima de los 4.400 msnm. Especie solitaria o en pequeños grupos, habita en ciénagas con plantas almohadillas y formaciones rocosas.		
Justificación: Al ser una especie endémica, con pocos individuos y con un área de ocupación de unos pocos kilómetros cuadrados, se hace necesario mayores estudios. Se estima que ya ha desaparecido en ciertas localidades. Por otro lado, a pesar de la situación de la especie, no se cuentan con muchas medidas para su protección y que frenen la continua amenaza a su hábitat.		
Fuentes: Schulenberg <i>et al.</i> (2010), SERFOR (2018), IUCN (2022).		
Localidades de presencia	184	Fuente: https://doi.org/10.15468/dl.n34y7d por: dl.4s6yrv
<i>Microspingus alticola</i>	Monterita de cola simple / Plain-tailed Warbling-finch	En Peligro (EN)
Rango de elevación: 3.500 – 4.300 msnm		
Descripción: Es una especie endémica del Perú, principalmente en los Andes del norte y centro. La mayoría de los registros de esa especie se localizan en el Parque Nacional Huascarán. Los individuos tienen un comportamiento en solitario, parejas o pequeños grupos, buscando recursos en arbustos y árboles. Se asocia con los bosques <i>Polylepis-Gynoxys</i> .		
Justificación: Es una especie con poco menos de 5.000 individuos, considerándose un tamaño poblacional pequeño. Además, las poblaciones de esta especie se encuentran de forma fragmentada y su hábitat se está reduciendo constantemente. No se han desarrollado planes o estrategias de conservación de la especie, a pesar de estar mayormente presente en un área protegida que cuenta con Plan de Manejo.		

Fuentes: Schulenberg <i>et al.</i> (2010), SERFOR (2018), IUCN (2022).		
Localidades de presencia	167	Fuente: https://doi.org/10.15468/dl.vmc2cn por: dl.ggg9g5
<i>Poospiza rubecula</i>	Monterita pechirrufa / Rufous-breasted Warbling-finch	En Peligro (EN)
Rango de elevación: 2.350 – 3.700 msnm		
Descripción: Especie endémica del Perú con un área de distribución reducida a algunos departamentos. Es una especie solitaria o en parejas que abundan en arbustos y árboles, y habita matorrales y bosques montanos, e incluso algunos bordes de bosque de <i>Polylepis</i> .		
Justificación: El área de distribución se encuentra muy fragmentada y la especie tiene pocos registros. Su hábitat está sufriendo un proceso de degradación. A pesar de estar presente en algunas AP, aún falta mayor estudio ecológico de la especie en relación a sus características poblacionales.		
Fuentes: Schulenberg <i>et al.</i> (2010), SERFOR (2018), IUCN (2022).		
Localidades de presencia	71	Fuente: https://doi.org/10.15468/dl.k-v7mmn por: dl.sqku8r
<i>Vultur gryphus</i>	Cóndor andino / Andean condor	Vulnerable (VU)
Rango de elevación: 0 – 5.000 msnm		
Descripción: Su rango de distribución comprende los Andes desde Venezuela hasta Argentina. En Perú está presente desde la zona costera hasta los puntos más altos de los Andes. Se restringe a zonas muy remotas, prefiriendo hábitats abiertos, y descansa y anida en acantilados altos. Tiene un comportamiento solitario o en grupos pequeños. Es el ave de rapiña más grande.		
Justificación: A pesar de su amplio rango de distribución, la especie no es muy común y su población está disminuyendo. Su baja tasa de reproducción y el ser objeto de caza, entre otras amenazas, evidencia la importancia de un mayor estudio de la especie.		
Fuentes: Schulenberg <i>et al.</i> (2010), SERFOR (2018), IUCN (2022).		
Localidades de presencia	1.658	Fuente: https://doi.org/10.15468/dl.j3ztnz por: dl.7gpr47
<i>Zaratornis stresemanni</i>	Cotinga cariblanco / White-cheeked Cotinga	Vulnerable (VU)
Rango de elevación: 3.250 – 4.250 msnm		
Descripción: Especie endémica del Perú, asociada a los bosques de <i>Polylepis</i> , distribuyéndose en algunos departamentos. En épocas más secas, la especie se ubica en pisos altitudinales más bajos (aprox. 2.700 msnm) estando ahí solo de forma estacional o intermitente.		
Justificación: Su tamaño poblacional es pequeño y está disminuyendo constantemente por la pérdida de hábitat. Si bien hay algunas propuestas para la conservación de la especie, las amenazas han obtenido cada vez mayor fuerza, incluso dentro de AP.		
Fuentes: Schulenberg <i>et al.</i> (2010), SERFOR (2018), IUCN (2022).		
Localidades de presencia	184	Fuente: https://doi.org/10.15468/dl.f-3fya5 por: dl.vskqja

2.3. Modelización

El modelado de distribución de especies (MDE) es una herramienta que cuantifica la idoneidad de hábitat para las especies. Integra información de distribución conocida y variables ambientales, obteniendo modelos con áreas potenciales (Shrestha *et al.*, 2021). Se trabajó con: 1) algoritmo de modelización: MAXENT; 2) localidades de la presencia de las especies; y 3) variables ambientales. Existen diferentes algoritmos de modelado de idoneidad como BIOCLIM, Random Forest (RF), Modelos Lineales Generalizados (GLM), Modelos Aditivos Generalizados, entre otros (Becerra-López *et al.*, 2016). Para este estudio se trabaja con MAXENT (basado en el principio de Máxima Entropía), cuyo software es de libre acceso y ha sido desarrollado por Phillips *et al.* (2004) y Phillips *et*

al. (2006). Este algoritmo ha destacado en estudios de modelización por el uso de datos de presencia mas no de ausencia (Gill *et al.*, 2020).

2.4. Información de localidades: Global Information Facility (GBIF)

Las localidades se obtuvieron de la plataforma GBIF (Global Biodiversity Information Facility, <https://www.gbif.org/>). Se filtró como rango de tiempo de 1980/90 a 2022, y como limite geográfico el limite de Perú. No se determinó una época específica para los datos, pues se busca dar una visión completa de la distribución en el área de estudio. Si bien MAXENT logra un alto rendimiento en las predicciones realizadas, incluso con muestra de da-

tos muy pequeña, (Shrestha *et al.*, 2021); Hernández *et al.* (2006) sostienen que un mayor número de registros optimiza la aplicación del modelo. A mayor cantidad de ocurrencias, mejor es la ejecución y resultados del modelo, pues el análisis de las características del hábitat es mucho más completo (Hernández *et al.*, 2006). El estudio comparativo de Stockwell & Peterson (2002) y de McPherson *et al.*, (2004) (citados por Hernández *et al.*, 2006), concluyó que los modelos con mayor número de registros tienen resultados más precisos. La Tabla 2 muestra la cantidad de localidades incluidas en el análisis por especie y la fuente de los datos desde la plataforma GBIF.

2.5. Variables ambientales, Modelos Climáticos Globales (GCM) y Vías de Concentración Representativas (RCP)

Los predictores ambientales fueron 19 variables bioclimáticas y dos topográficas (Tabla 3), obtenidas de Worldclim (www.worldclim.org) (Hijmans *et al.*, 2005). El escenario “presente” es la interpolación de datos entre 1950-2000, con una resolución espacial de 30 arco-segundos (aproximadamente 1 Km x 1 Km en el Ecuador). Para las proyecciones futuras, se utilizan los Modelos Climáticos Globales o Modelos Climáticos de Circulación General (GCM, en sus siglas en inglés) y un escenario basado en las vías de concentración representativas (RCP): el RCP 8.5. Los GCM varían en las estimaciones de valores de la temperatura bajo un mismo escenario (Lyons & Kozak, 2020). Por tanto, se recomienda modelar y analizar bajo diferentes GCM, pues no hay un acuerdo sobre cuál posee una mayor precisión, siendo un enfoque metodológico muy utilizado en las proyecciones para especies de fauna y flora (Jha & Jha, 2021).

Se trabajó con tres GCM utilizados en varios estudios de modelado (Shabani *et al.*, 2018; Jha & Jha, 2021; Shrestha *et al.*, 2021): CCSM4 (*Community Climate System Model versión 4*), MIROC5 (*Model for Interdisciplinary Research On Climate*) y HadGEM2-ES (*Hadley Centre Global Environmental Model version 2 Earth System*). CCSM4 es un modelo que incluye cuatro componentes que intercambian información entre sí (atmósfera, tierra, mar y hielo marino) (Gent *et al.*, 2011). MIROC 5 incluye atmósfera, océano, hielo marino, y el componente terrestre que incluye un módulo de río (Watanabe *et al.*, 2010). HadGEM2-ES, derivado del modelo HadGEM, integra información de atmósfera, océano, mar y hielo marino, vegetación terrestre, biología oceánica y química atmosférica (Martin *et al.*, 2011). Por otro lado, los RCP son cuatro escenarios basados en emisiones de gases de efecto invernadero históricas y proyectadas (Navarro *et al.*, 2020). El RCP 8.5, escenario más pesimista, se considera de mayor utilidad para modelos a tiempos cortos, siendo el que más se acerca al total de emisiones acumuladas de CO₂. Esta proyección integra bajos ingresos, población en aumento y alta demanda de energía (Schwalm *et al.*, 2020). Se estima que, para mediados de siglo, habría un aumento de temperatura entre 1.4 °C y 2.6°C (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2014).

2.6. Construcción de los Modelos de Distribución de Especies

Estudios en modelización han utilizado la propuesta de Phillips (2017) en aplicar la ejecución con datos de entrenamiento (75%) y datos para prueba (25%) (Echarri *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2018; Kina *et al.*, 2020; Suárez-Mota & Villaseñor, 2020). Se trabajó con la validación cruzada (*Crossvalidation*), que es lo recomendado con una cantidad de datos mínima de 25 localidades (Suárez-Mota & Villaseñor, 2020). Se activaron las características cuadrática y lineal (Figuroa *et al.*, 2016), y se aplicaron 1000 iteraciones y 10 réplicas (Padalia *et al.*, 2014; Su, *et al.*, 2021). Se utilizaron las 19 variables bioclimáticas, en una primera ejecución, para descartar aquellas sin porcentaje de contribución; y luego se aplicó el índice de correlación de Pearson, para descartar las variables con índice de correlación por debajo de 0.8 ($R < 0.8$) (Yang *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2019) (ver Tabla 3). El test de *Jackknife* permitió identificar y corroborar la importancia de las variables en cuanto a su aporte individual al modelo (Zhang *et al.*, 2018; Gill *et al.*, 2020).

Para validación se utilizó el AUC (Área bajo la Curva), con valores por encima de 0.7 considerados buenos, y superior a 0.9 de muy buen rendimiento (Zhang *et al.*, 2018, 2019; Suárez-Mota & Villaseñor, 2020). La validación se complementó con la prueba TSS (*True Skill Statistic*), medida que depende del umbral de la precisión del modelo (Zhang *et al.*, 2015; Soultan & Safi, 2017). Sus valores están entre -1 a 1, y se consideran útiles aquellos por encima de 0.4 y buenos por encima de 0.8 (Zhang *et al.*, 2015; Soultan & Safi, 2017). Para determinar el área potencial (en probabilidad) se utilizó un umbral, que representa también el límite entre presencia-ausencia en un mapa binario. Este umbral, según Zhang *et al.* (2019), se utiliza para diferenciar la aptitud de zonas aptas de las que no lo son. Para determinar el umbral se utilizó el valor del percentil 10, aquel que “rechaza el 10% de las presencias de entrenamiento con los valores más bajos en el modelo” (Buirra, 2016, p. 7). Los resultados se expresan en valores de probabilidad que van de 0 a 1; y la idoneidad de hábitat se considera desde el umbral hasta el valor máximo del modelo. Luego se estableció un umbral a criterio propio (0.6) que representa áreas de mayor probabilidad de ocurrencia. Esta área (idoneidad de hábitat >0.6) se superpuso con la capa de ANP. En base a esto se calculó el porcentaje de presencia potencial más idóneo de cada especie en zonas de protección.

Para los cambios de distribución se utilizó el *SDM Toolbox* (Brown, 2014), obtenido de <http://www.sdmtoolbox.org/>, un conjunto de herramientas que está basado en Python (Brown, 2014; Xu *et al.*, 2021). Es necesario previamente el mapa binario, obtenido de la ejecución en MAXENT. Con la herramienta *Centroid Changes (Lines)*, se reduce la distribución a un punto (centroide), que representa el proceso de desplazamiento de una especie (Liang *et al.*, 2021). A partir de ello se generan vectores que muestran la magnitud (medida en kilómetros) y dirección del cambio (Zhang *et al.*, 2018). Con la herramienta

Distribution Changes Between Binary SDMs se calcula la contracción y expansión del área potencial de distribución. Se obtiene un ráster con cuatro clases: “expansión”, “contracción”, “no cambio” y “no ocupación”. Los resultados se calculan en hectáreas, tomando como 100% el área de distribución potencial presente.

Se utilizó la herramienta *Create Friction Layer-Invert SDM /ENM (SDM Toolbox)* para obtener el modelo de distribución invertido que actúa como un paisaje de fricción o mapa de resistencia de paisaje (Guan *et al.*, 2021). En la capa de idoneidad los valores altos se invierten a bajo costo de dispersión para los organismos en el paisaje (Guan *et al.*, 2021). Por tanto, permite identificar la facilidad y obstaculización para el movimiento de una especie (Adriaensen *et al.*, 2003). El *Friction Layer* se obtuvo del modelo de distribución presente y fue el insumo principal para la herramienta: *Landscape Connectivity / Pairwise: All Sites / Calculate Least-Cost Corridors and Paths*. Esta mide conectividad del paisaje entre las poblaciones de una especie, basada en las rutas de menor coste entre sitios puntuales (Brown *et al.*, 2017). Los sitios (o nodos de conexión) se determinaron de acuerdo a datos de presencia y la mayor idoneidad de hábitat, presente y futura. Los resultados (ruta de menor coste y corredores) representan esfuerzos de los organismos en desplazarse de un nodo origen a un nodo destino

(Herrera, 2013). En los mapas se han integrado variables de zonas agrícolas, urbanas y parches de bosques relictos altoandinos, extraídos del mapa de cobertura vegetal del Ministerio del Ambiente (MINAM). Estos funcionan como elementos negativos o positivos en el paisaje. Para las especies vinculadas con *Polylepis*, se agregó la variable de los parches de bosque relictos para observar su integración o proximidad al corredor.

Finalmente, se utilizó el software *ArcGis*, versión 10.5, para la construcción de mapas, trabajando de la siguiente manera: 1) mapas de área potencial del escenario “presente” (incluyendo localidades georreferenciadas); 2) desplazamiento de la distribución generalizada en cenitoides; 3) contracción, no cambio y expansión del área potencial al 2050 en los tres GCM y RCP 8.5; y 4) idoneidad de hábitat en valores de probabilidad (0 – 1). Las superficies se calcularon en hectáreas y se obtuvieron los porcentajes respectivos. Se calculó el área idónea desde el valor de 0.6 para identificar la mayor probabilidad de presencia en el área de estudio. Tanto los cálculos de expansión, contracción y de idoneidad tuvieron como referencia del 100% al área potencial del escenario presente. En el caso de área por cada piso altitudinal, la referencia fue la superficie total de los Andes (36 935 884.62 hectáreas). En la Figura 2 se muestra el flujo metodológico de la investigación.

Figura 2. Flujo metodológico de la investigación
Figure 2. Research methodological flow

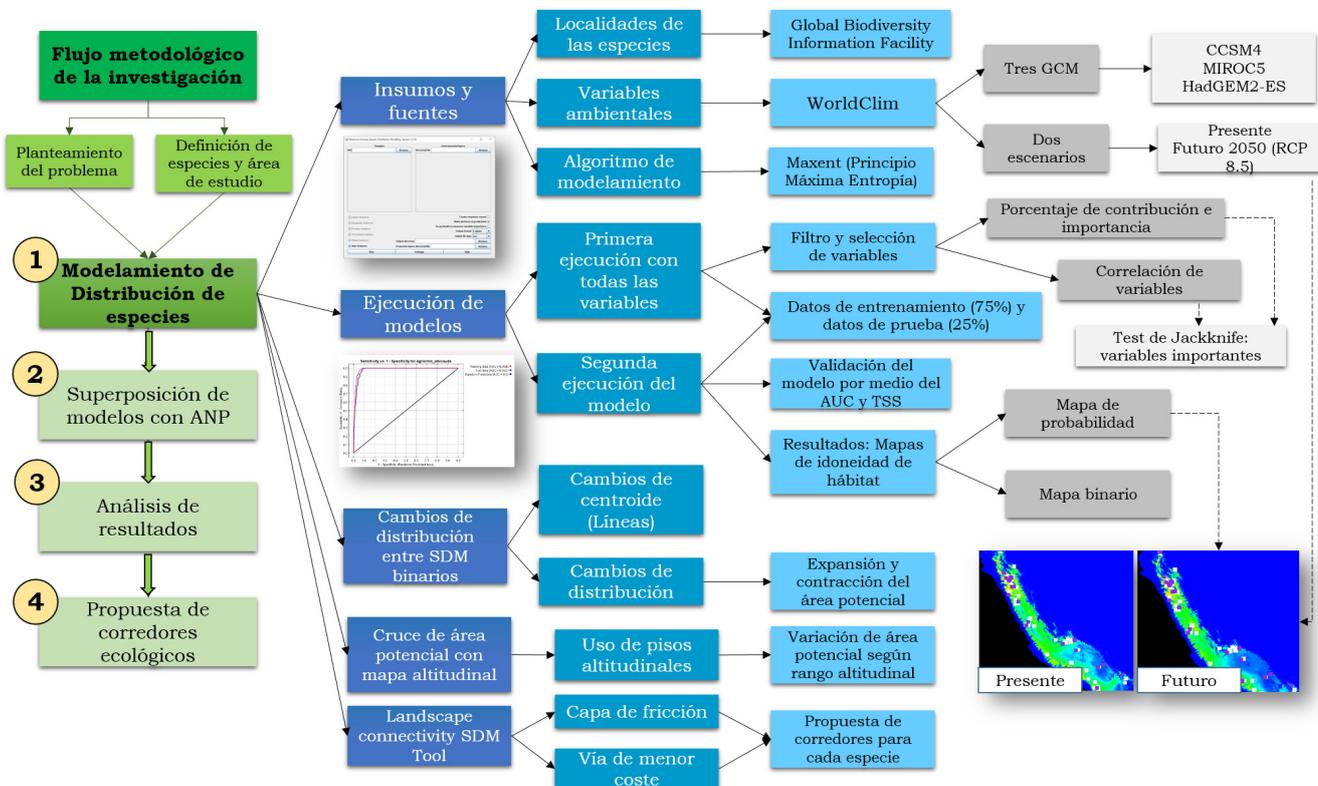


Tabla 3. Descripción de variables bioclimáticas y topográficas; porcentaje de contribución de las variables utilizadas para cada especie después del análisis de correlación.

Table 3. Description of bioclimatic and topographic variables; percentage contribution of the variables used for each species after the correlation analysis.

Variable	Descripción	Especies y contribución de variables (%)					
		<i>Agriornis albicauda</i>	<i>Cinclodes palliatus</i>	<i>Microspingus alticola</i>	<i>Poospiza rubecula</i>	<i>Vultur gryphus</i>	<i>Zaratornis stresemanni</i>
BIO1	Temperatura promedio mensual	--	--	--	--	--	--
BIO2	Rango medio diario (temp. Máxima-temp. Mínima; promedio mensual)	2,6	13,5	--	12,2	--	--
BIO3	Isotermalidad (BIO1/BIO7)*100	--	0,5	0,3	--	--	0,0
BIO4	Estacionalidad en temperatura (coeficiente de variación)	12,9	0,0	15,3	--	0,9	4,6
BIO5	Temperatura máxima del período más caliente	--	80,7	--	--	57,4	--
BIO6	Temperatura mínima del período más frío	--	--	58,1	56,1	--	41,2
BIO7	Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)	--	--	0,0	--	1,7	5,7
BIO8	Temperatura media en el trimestre más lluvioso	--	--	--	--	--	--
BIO9	Temperatura promedio en el trimestre más seco	63,6	--	--	--	--	--
BIO10	Temperatura promedio en el trimestre más caluroso	--	--	--	--	--	--
BIO11	Temperatura promedio en el trimestre más frío	--	--	--	--	--	--
BIO12	Precipitación anual	0,00	--	2,2	1,3	20,1	2,4
BIO13	Precipitación en el período más lluvioso	--	0,00	--	--	--	--
BIO14	Precipitación en el período más seco	--	--	--	--	--	--
BIO15	Estacionalidad de la precipitación (Coeficiente de variación)	3,2	--	4,3	9,9	5,4	1,4
BIO16	Precipitación en el trimestre más lluvioso	--	--	--	--	--	--
BIO17	Precipitación en el trimestre más seco	--	--	--	--	--	--
BIO18	Precipitación en el trimestre más caluroso	--	--	--	--	--	--
BIO19	Precipitación en el trimestre más frío	--	--	--	--	--	--
ALT	Altitud / Elevación	16,6	4,5	16,5	0,2	1,7	32,9
SLP	Pendiente	1,1	0,6	3,2	20,3	12,7	11,9

3. Resultados

En la Tabla 4 se presentan los resultados más relevantes de los modelos y aplicaciones realizadas. Basándonos

en dichos resultados se realiza el análisis y discusión posterior. Por otro lado, el resumen de los cálculos realizados y resultados cuantitativos se muestra en la Tabla 5.

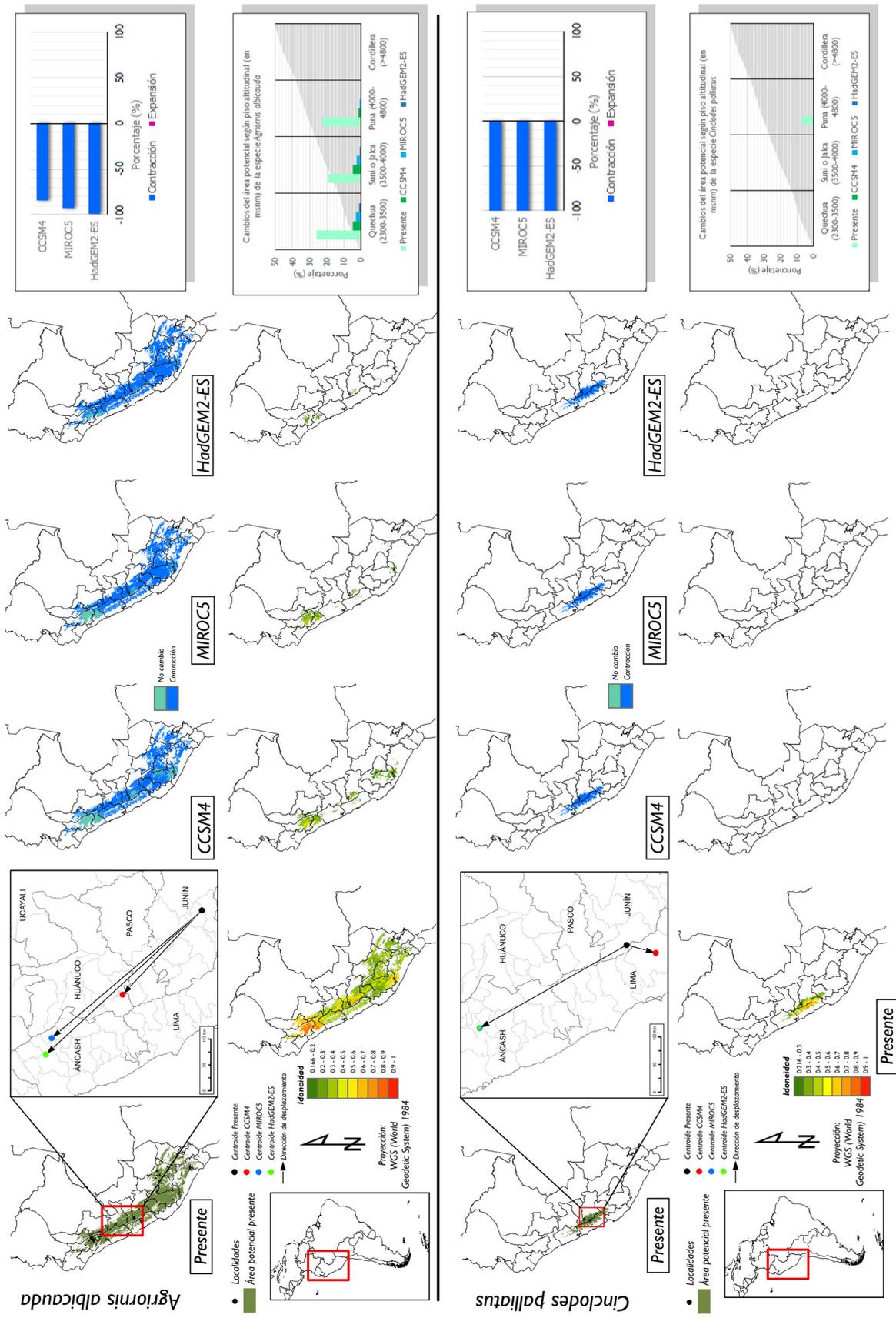
Tabla 4: Resumen de resultados más importantes de los modelos.

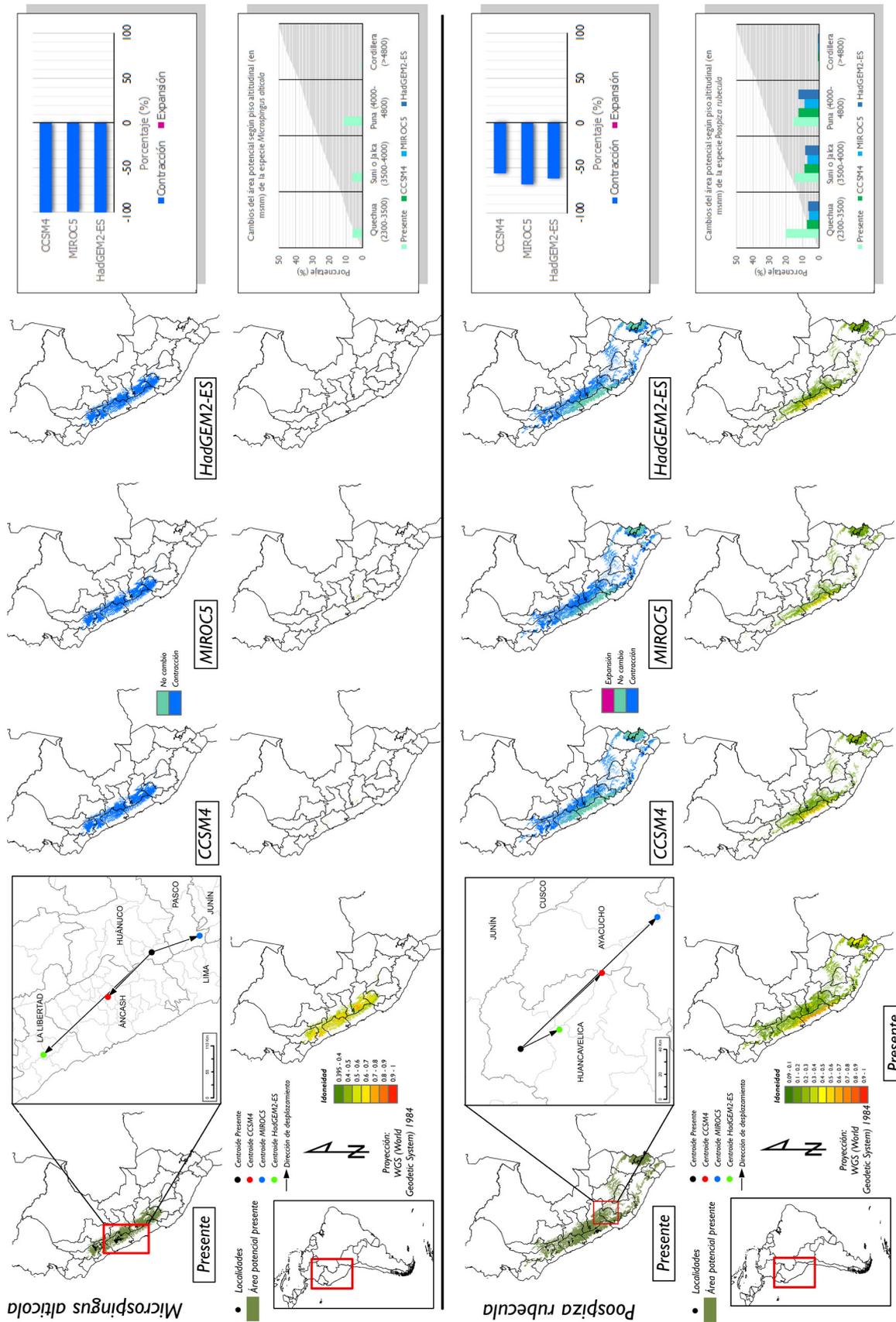
Table 4: Summary of the most important results of the models.

Resultado	Observaciones principales
AUC, TSS y umbral del percentil 10	El AUC y umbral del percentil 10 son los promedios obtenidos de las diez réplicas aplicadas a cada especie. Todos los valores de AUC son mayores a 0,9 (muy buenos). Todos los valores de TSS son mayores a 0,5 (útiles o buenos).
Variables contribuyentes	La variable de mayor contribución para cada especie deriva de la temperatura (BIO, BIO6, BIO9). Hay una menor contribución de variables de precipitación (BIO12, BIO15), pero son variables con importante porcentaje de contribución. Todas las especies se ven influidas por la altitud y pendiente.
Contracción y expansión del área potencial	Las especies presentan contracción en su área potencial en los tres GCM. Solo dos especies presentan una posible expansión (mínima). Solo una especie (<i>V. gryphus</i>) presenta expansión en los tres GCM. En varios casos la contracción del área es casi total (>99%).
Idoneidad de hábitat	Área de mayor idoneidad (>0.6) es moderada respecto a su área total de presencia (desde el umbral hasta el valor máximo de probabilidad). Se estima no habría idoneidad de hábitat en ANP para la mayoría de especies. Incluso, en algunos casos, tampoco fuera de ANP.
Desplazamiento del centroide (consideraciones generales)	Los tres GCM muestran desplazamientos en el espacio, aunque la dirección y magnitud varía entre cada GCM para cada especie. En algunos casos el GCM MIROC5 presenta una mayor magnitud del cambio, y en otros casos HadGEM2-ES, pero ambos presentan magnitudes similares. Casi todas las especies presentan un desplazamiento de más de 100 Km en, por lo menos, uno de los dos GCM (MIROC5 y HadGEM2-ES). En cuanto al movimiento altitudinal, hay casos donde la concentración de la distribución varía casi 2.000 m (p.e. <i>C. palliatus</i>)
Desplazamiento latitudinal	<i>A. albicauda</i> : concentra su distribución en el Sur de Junín. Podría modificar su centro hacia el noroeste (regiones Áncash y Huánuco). <i>C. palliatus</i> : se desplazaría hacia el noroeste según dos GCM, pasando el límite entre Junín y Lima hacia el centro de Áncash. <i>M. alticola</i> : se desplazaría desde el oeste de Huánuco hacia el noroeste, hacia Áncash y La Libertad. <i>P. rubecula</i> : los tres GCM coinciden en el cambio del centroide hacia el Sureste, hasta el centro de Huancavelica, y de forma más drástica, a Ayacucho. Su centroide se desplaza a zona muy poco idónea en el futuro. <i>V. gryphus</i> : se concentra en Ayacucho, provincia de Huanta. Cada GCM apunta a una dirección distinta, pero coinciden en la poca magnitud del cambio, y mantienen su concentración en Huanta. <i>Z. stresemanni</i> : según los tres GCM el cambio es hacia la misma dirección (noroeste), región de Lima, y tienen magnitudes similares.
Desplazamiento altitudinal	Cambio altitudinal del centroide: zonas más frías (Puna y Cordillera). <i>A. albicauda</i> , <i>C. palliatus</i> , <i>M. alticola</i> y <i>Z. stresemanni</i> se desplazan hacia un piso altitudinal más elevado (más común la Puna), en mínimo un GCM. Algunas especies llegarían a moverse hacia la Cordillera (p.e. <i>C. palliatus</i> , <i>M. alticola</i> y <i>Z. stresemanni</i>). En otros casos hay desplazamiento a un piso altitudinal inferior, aunque mayormente se mantienen cerca del límite con la región adyacente. <i>V. gryphus</i> y <i>P. rubecula</i> presentan mayor tendencia a mantenerse en el mismo piso altitudinal, pero no descarta un aumento en la altitud.
Desplazamiento altitudinal	Varias especies concentran su distribución en el Pajonal región Puna, pero hay posibles variaciones de su concentración en otros ecosistemas con composición biológica no compatible con las aves. El centroide también se desplaza en zonas ocupadas por intervención humana. (p.e. zona agrícola), incompatible con hábitat y recursos.
Rutas de menor coste	Se centra la atención en el centro de los Andes pues las especies coinciden en su distribución en dicha zona (Lima, Junín, Áncash, Pasco y Huánuco). La zona centro también disminuye en idoneidad en el futuro y donde se concentra la variación de los centroides. Se generan corredores más amplios (costo bajo, medio y alto) que funcionan como opciones ante la presencia de zonas críticas por perturbaciones (p.e. agricultura, urbanización, minería, etc.). Colores cálidos de los corredores aumentan su intensidad dependiendo del menor costo, representando mayores oportunidades de desplazamiento. <i>M. alticola</i> , <i>P. rubecula</i> y <i>Z. stresemanni</i> incluyen en los corredores los parches de <i>Polylepis</i> . <i>M. alticola</i> y <i>P. rubecula</i> presentan más bifurcaciones. <i>C. palliatus</i> incluye muy poca área protegida en el corredor. <i>A. albicauda</i> tiene más riesgo de perder área idónea en la zona centro, pero su coste no es muy alto en esa zona, por lo que podría haber un mejor panorama para su protección. Las ANP que podrían incluirse en el sistema de conectividad, teniendo en cuenta todas las especies, son: la Reserva Nacional de Junín, la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochabambas, el Parque Nacional Huascarán y la Zona Reservada Cordillera Huayhuash.

Tabla 5. Resumen de resultados
Table 5. Summary of Results

Resultados del modelo (AUC, TSS, Umbrales)		Área de distribución potencial (fidelidad de hábitat >0.6) (se toma como 100% el área potencial del escenario presente de cada especie)*									
Percentil 10)		Escenario y/o GCM		Presente		CCSM4		MIROC5		HadGEM2-ES	
AUC	TSS	E.C. (UICN)	Especie	ha	(%)	ha	(%)	ha	(%)	ha	(%)
0.917	0.785	PU	<i>Agriornis albicanada</i>	2'826.598,57	11,30	586,70	0,002	0,00	0,00	0,00	0,00
0.980	0.875	CR	<i>Cinclodes palliatus</i>	731.984,52	23,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0.951	0.840	EN	<i>Microspingus alicola</i>	2'802.012,91	30,83	677,65	0,007	921,79	0,01	0,00	0,00
0.934	0.622	EN	<i>Poospiza rubecula</i>	858.285,04	4,58	309,071,85	1,65	120.792,72	0,65	254.137,79	1,36
0.812	0.535	PU	<i>Vultur gryphus</i>	5'599.923,51	15,83	5'394.822,17	15,25	5'237.908,48	14,81	5'211.487,91	14,74
0.961	0.828	PU	<i>Zaratornis stresemanni</i>	1'676.990,40	16,79	81.546,90	0,82	1.925,38	0,02	0,00	0,00
Área potencial de distribución (>0.6) dentro de ANP		Escenario y/o GCM									
		Especie y área presente en ha*		Exp. / Cont.		CCSM4		MIROC5		HadGEM2-ES	
A)	Presente, B) CCSM4 C) MIROC5 D) HadGEM2-ES										
A	1'230.289,83	B	<i>Agriornis albicanada</i>	25'006.916,06	100%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C	0,00	D	<i>Cinclodes palliatus</i>	3'165.428,27	100%	-21'171.529,82	-84,66	-23'135.424,53	-92,52	-24'834.698,25	-99,31
A	252.154,18	B	<i>Microspingus alicola</i>	9'088.580,01	100%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C	0,00	D	<i>Poospiza rubecula</i>	9'088.580,01	100%	-3'163.753,75	-99,99	-3'165.343,85	-99,99	-3'165.343,85	-99,99
A	433.343,82	B	<i>Vultur gryphus</i>	18'723.938,62	100%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C	0,00	D	<i>Zaratornis stresemanni</i>	18'723.938,62	100%	-9'038.892,05	-99,45	-9'015.691,48	-99,20	-9'088.156,48	-99,99
A	22.632,00	B	<i>Agriornis albicanada</i>	3.950,82	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	11.095,93	0,06
C	3.177,52	D	<i>Cinclodes palliatus</i>	10'550.459,69	100%	-10'550.459,69	-50,35	-12'861.942,67	-68,69	-11'635.002,33	-62,14
A	1'814.824,67	B	<i>Microspingus alicola</i>	35'364.919,76	100%	200.315,08	0,04	89.355,82	0,25	15.214,87	0,04
C	1'362.919,62	D	<i>Vultur gryphus</i>	9'989.926,54	100%	-243.017,58	-0,69	-443.500,77	-1,25	-671.387,54	-1,90
A	286.099,18	B	<i>Poospiza rubecula</i>	9'989.926,54	100%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C	0,00	D	<i>Zaratornis stresemanni</i>	9'989.926,54	100%	-7'772.443,49	-77,80	-9'078.400,27	-90,88	-8'640.867,76	-86,59
Alitud, Magnitud (Km) y dirección del desplazamiento por cada escenario		Área de distribución potencial presente en cada piso altitudinal (se toma como 100% el área total de los Andes) – Mapa binario									
		Escenario y/ GCM		Presente		CCSM4		MIROC5		HadGEM2-ES	
Escenario	Alitud	Magnitud	Dir.	Especie	Piso alt.	ha	(%)	ha	(%)	ha	(%)
Presente	3.410	--	--	<i>Agriornis albicanada</i>	Quechua	9'686.683,15	26,23	1'775.813,92	4,81	1'180.750,75	3,20
CCSM4	4.159	242,12	NW		Suni o Jalca	7'087.227,47	19,19	1'747.204,68	4,73	910.452,17	2,46
MIROC5	3.213	411,76	NW		Puna	8'232.670,88	22,29	626.242,92	1,70	237.147,60	0,64
HadGEM2-ES	4.312	444,35	NW		Cordillera	334,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Presente	4.811	--	--	<i>Cinclodes palliatus</i>	Quechua	61.182,37	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00
CCSM4	3.263	53,31	SW		Suni o Jalca	222.802,09	0,60	0,001	0,00	0,00	0,00
MIROC5	6.576	300,12	NW		Puna	2'588.556,48	7,01	1.505,66	0,004	0,00	0,00
HadGEM2-ES	6.408	300,48	NW		Cordillera	292.887,33	0,79	168,86	0,00	84,43	0,00
Presente	4.035	--	--	<i>Microspingus alicola</i>	Quechua	2'225.875,61	6,03	28.186,17	0,08	6.428,69	0,02
CCSM4	4.974	130,29	NW		Suni o Jalca	2'334.911,75	6,32	35.997,98	0,10	36.808,37	0,10
MIROC5	4.403	104,41	SE		Puna	4'315.309,68	11,68	15.878,61	0,04	56.003,47	0,15
HadGEM2-ES	3.588	310,50	NW		Cordillera	212.482,97	0,58	253,28	0,00	253,31	0,00
Presente	2.444	--	--	<i>Poospiza rubecula</i>	Quechua	7'379.128,18	19,98	2'740.425,84	7,42	2'266.792,65	6,03
CCSM4	2.396	87,76	SE		Suni o Jalca	5'441.532,35	14,73	3'255.188,44	8,81	2'633.322,41	7,13
MIROC5	3.595	149,76	SE		Puna	5'764.340,79	15,61	4'634.649,33	12,55	3'705.876,91	8,68
HadGEM2-ES	3.249	33,77	SE		Cordillera	138.937,30	0,38	180.320,54	0,49	86.425,43	0,23
Presente	3.716	--	--	<i>Vultur gryphus</i>	Quechua	9'649.913,80	26,13	9'577.476,24	25,93	9'348.982,24	25,31
CCSM4	4.079	13,25	NW		Suni o Jalca	8'027.525,27	21,73	7'940.427,31	21,50	7'807.572,15	21,14
MIROC5	3.893	0,87	W		Puna	15'800.974,78	42,78	15'700.486,54	42,51	15'662.577,07	42,40
HadGEM2-ES	3.891	6,95	SE		Cordillera	1'886.505,92	5,11	1'886.505,92	5,11	1'886.505,92	5,11
Presente	4.355	--	--	<i>Zaratornis stresemanni</i>	Quechua	1'434.118,70	3,88	103.410,03	0,28	44.768,45	0,12
CCSM4	4.388	116,32	NW		Suni o Jalca	2'776.014,87	7,52	351.672,97	0,95	152.317,30	0,41
MIROC5	4.729	125,04	NW		Puna	5'448.759,14	14,75	1'631.502,72	4,42	633.075,71	1,71
HadGEM2-ES	4.934	122,25	NW		Cordillera	331.033,83	0,90	162.877,39	0,44	46.810,68	0,13





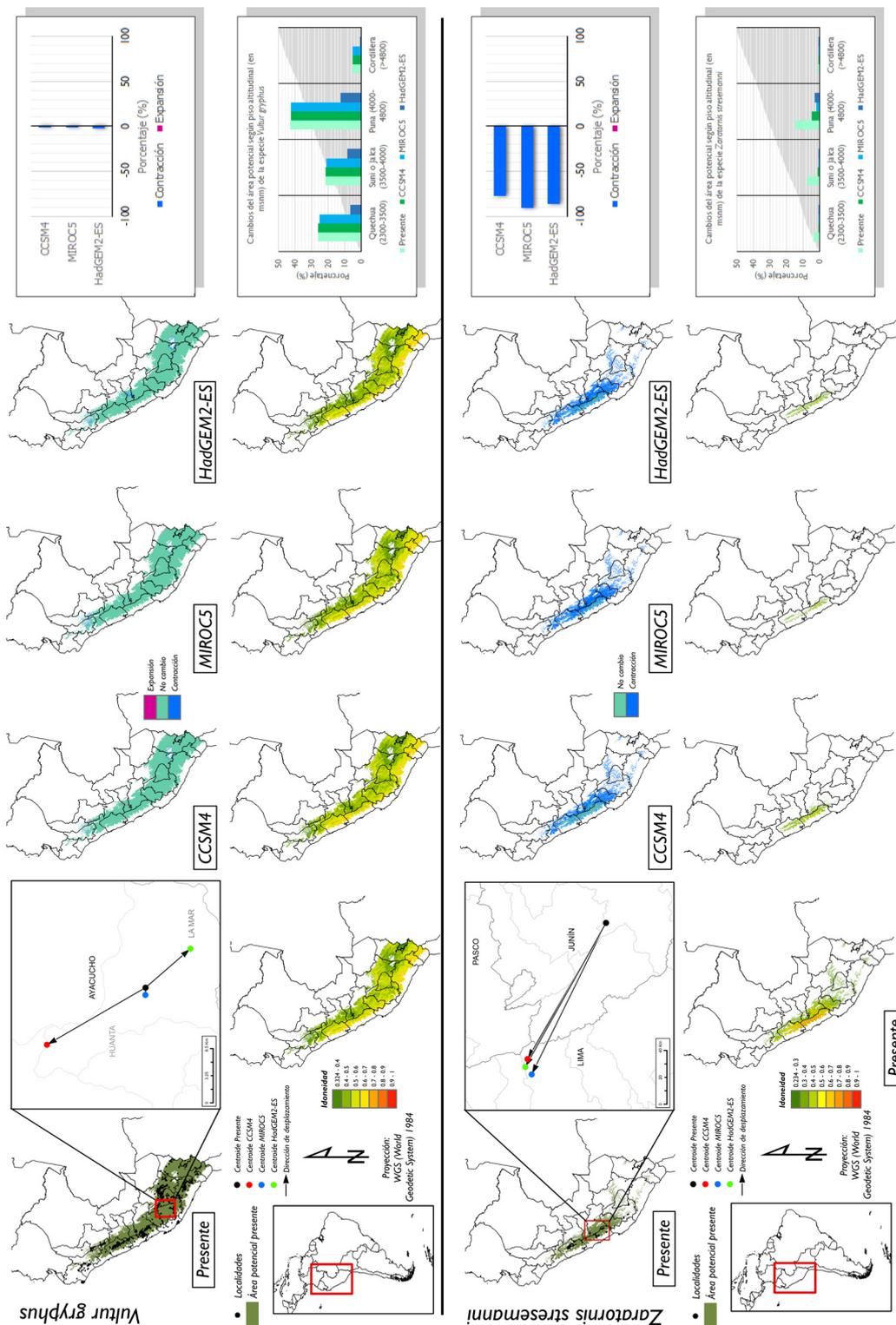


Figura 3. Área de ocupación, expansión y contracción potencial y desplazamiento según cada GCM utilizado para cada especie de ave, según el RCP 8.5. Fig. 3.1) *Agriornis albicauda* y *Cinclodes palliatus*; Fig. 3.2) *Microspingus alticola* y *Poospiza rubecula*; Fig. 3.3) *Vultur gryphus* y *Zaratornis stresemanni*
 Figura 3: Area of potential occupation, expansion and contraction and displacement according to each GCM used for each species, according to RCP 8.5. Fig. 3.1) *Agriornis albicauda* and *Cinclodes palliatus*; Fig. 3.2) *Microspingus alticola* and *Poospiza rubecula*; Fig. 3.3) *Vultur gryphus* and *Zaratornis stresemanni*

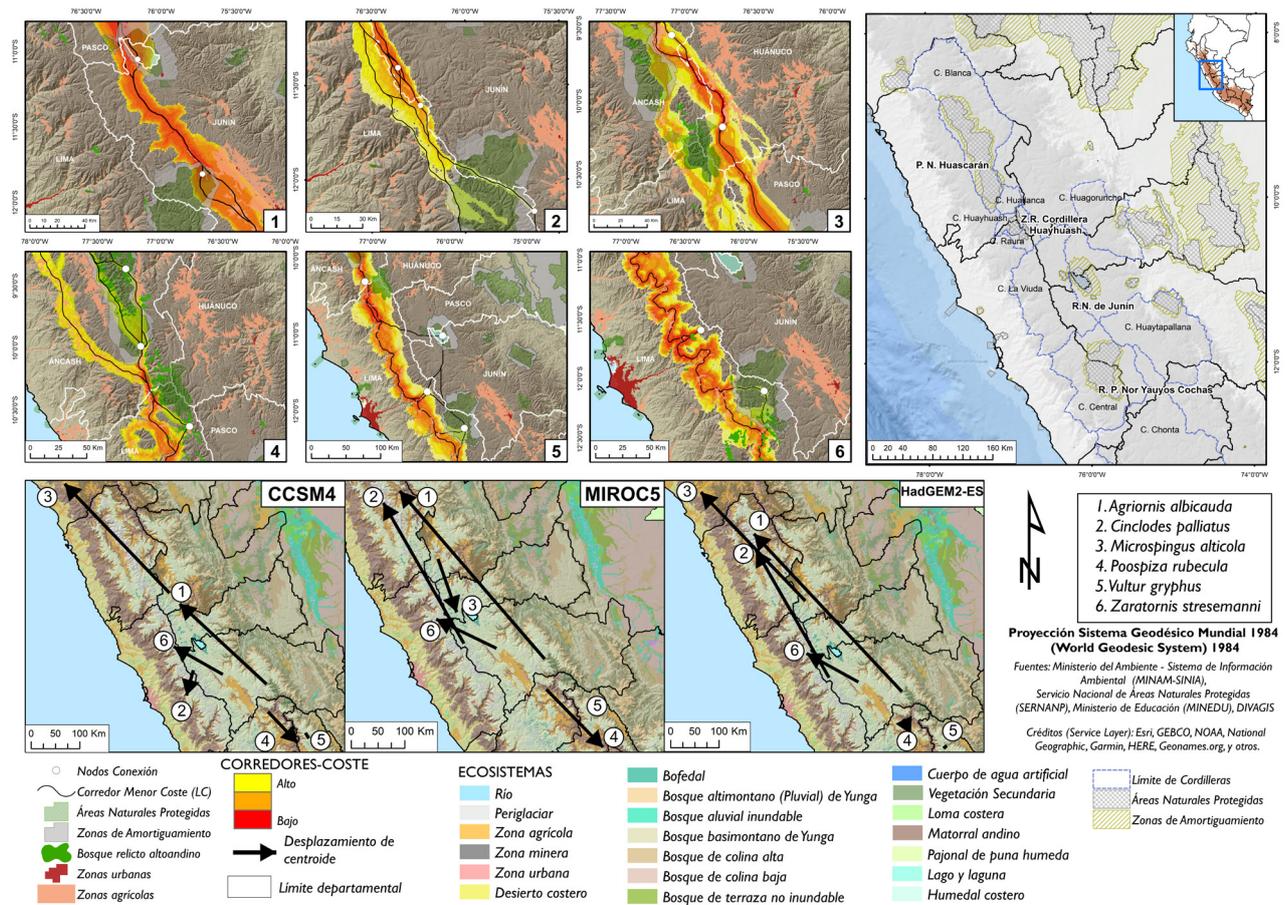


Figura 4. Corredores y ruta de menor coste, resumen de cambio de centroide/
 Figure 4. Corridors and least cost path, summary of change of centroid.

4. Discusión

Para analizar el efecto del cambio climático en las aves, se puede utilizar información respectiva a su hábitat. *A. albicauda*, *M. alticola* y *Z. stresemanni* están asociadas estrechamente a bosques de *Polylepis*. Variaciones en temperatura en el futuro podrían marcar la estacionalidad y precipitaciones en el hábitat de las especies, disminuyendo el acceso a recursos para las especies. Esto haría que los microclimas de los ecosistemas montañosos cambien rápidamente, impulsando el desplazamiento de los organismos (Sevillano-Ríos *et al.*, 2018). Por tanto, en el contexto de cambio climático, se augura un estado crítico de los bosques relictos o muy fragmentados (como los bosques de *Polylepis*), ya que habrá una tendencia a la disminución de sus áreas (Uribe, 2015), afectando a especies asociadas.

Para *A. albicauda*, se resalta también la importancia de bofedales y pastizales (SERFOR, 2018); y suele encontrarse en zonas altoandinas abiertas o semiabiertas (eBird, 2022). Por ello, presenta registros también por encima de la línea de árboles (BirdLife International, 2021a). Estos se han formado por variedad de microclimas, disponibilidad de recursos hídricos y alimento (Sevillano-Ríos *et*

al., 2018). Sin embargo, cambios en la temperatura y precipitación generan menor acceso a dichos recursos (Sevillano-Ríos *et al.*, 2018). Los bofedales son altamente vulnerables al cambio climático, y modificaciones en su configuración supone riesgos para las especies (Dangles *et al.*, 2014). La variable más importante para la especie es BIO9, por tanto, le podría afectar temperaturas más altas, sobre todo en la estación seca. Esto debido a que los bofedales están en ambientes tropicales andinos muy sensibles a fenómenos extremos como cambios de temperatura y vientos fuertes, constituyendo esto un estrés abiótico para las especies (Zimmer *et al.*, 2014).

M. alticola y *Z. stresemanni* podrían tener resultados más drásticos al ser especies endémicas. Ambas presentan las mismas variables de mayor contribución (BIO6 y altitud). Esto se puede relacionar a los *Polylepis* porque, debido a extremos de temperatura y elevación, hay una afectación directa en el desarrollo de los parches de *Polylepis*. Esto se manifiesta en variaciones térmicas, sequías y la misma reducción de estos bosques (Sevillano-Ríos *et al.*, 2018). De forma indirecta, *M. alticola* podría verse afectada al ser un especialista y dependiente de *Gynoxys*, y como otra fuente de alimento los *Polylepis* (BirdLife International, 2016a). Por otro lado, si bien las variables

de precipitación no tienen una alta contribución para ambas especies, son variables importantes. La reproducción de *M. alticola* ocurre entre diciembre a febrero (BirdLife International, 2016a), y un aumento en la temperatura o cambios en las precipitaciones podría afectar dicho proceso. En el caso de *Z. stresemanni*, teniendo en cuenta que anida y tiene a sus crías en épocas de lluvia, los cambios en los patrones de precipitación también podrían afectar dichos procesos naturales (BirdLife International, 2016b). Por tanto, el cambio climático podría determinar una disminución de un recurso importante para la especie.

La altitud también contribuye a ambas especies. *M. alticola*, se restringe a los Andes del centro-norte peruano, y habita en zonas templadas áridas (Mark *et al.*, 2008); pero no es muy común, incluso en zonas consideradas óptimas (BirdLife International, 2016a). Su rango altitudinal conocido es hasta 4.300 msnm, y si bien podría ocupar bosques mixtos hasta 4.600 msnm (BirdLife International, 2016a), en uno de los GCM, su centroide se desplazaría a altitudes mayores a 4.900 msnm (Cordillera). Para *Z. stresemanni*, especie vulnerable por pérdida y degradación de su hábitat (Samata *et al.*, 2019), tiene a la altitud con un alto porcentaje de contribución. Esto también se observa en el desplazamiento del centroide, llegando en altitud, en un GCM, hasta la Cordillera. Esto se vincula a que la especie es migratoria altitudinal. Según BirdLife International (2016b), se concentra entre 3.800 a 4.000 msnm; pero en época seca desciende hasta 2.700 msnm, o incluso hasta 2.000 msnm. Esto se vería complicado en el futuro, pues se espera un desplazamiento a altitudes por encima de 4.800 msnm, alejándose de zonas de importantes recursos.

C. palliatus habita principalmente en turberas o bofedales, y está amenazada por la minería y otras actividades económicas (Chamorro *et al.*, 2013). Por ello, su hábitat ha ido reduciéndose en las últimas décadas, e incluso se considera extinta en algunas localidades (SERFOR, 2018). Se distribuye en un área muy restringida, es muy vulnerable al cambio climático, y son muy escasos los lugares donde podría refugiarse (BirdLife International, 2021b). De acuerdo con el estudio técnico de IPCC (2002), las especies endémicas son las más vulnerables por sus dificultades de adaptación a zonas distintas de su hábitat. Según los resultados, las zonas idóneas futuras para la especie se han reducido casi en su totalidad. Su distribución podría aumentar su rango altitudinal, pero llegaría a un límite donde no habría más espacio hacia donde moverse. Según Uribe (2015), muchas aves de montaña, que migrarían a mayores elevaciones, no encontrarían recursos necesarios para sobrevivir. Esto se reafirma en los resultados del centroide, donde el movimiento se da en dirección noroeste a más de 6.000 msnm, en la región Áncash. Es decir, una zona muy elevada y distinta de su hábitat original. Como las variables más contribuyentes son BIO5 y BIO2, se infiere que la temperatura influye en su distribución, pues se mueven hacia zonas más frías.

El cambio en temperatura de la superficie terrestre ha variado en los últimos años, siendo 0.2°C el aumento por década a partir de 1950 (IPCC, 2002). El hábitat de *C. pa-*

lliatus incluye zonas pantanosas y llega hasta el límite de nieve (aprox. 5.000 msnm), y requiere de condiciones muy específicas para sobrevivir (BirdLife International, 2021b). Esto muestra que es una especialista, y por tanto más vulnerable a cualquier tipo de cambio. Si bien se cuenta con poca información, se estima que el tiempo de nidificación y nacimiento es de noviembre a enero (BirdLife International, 2021b), y un cambio de temperatura podría modificar patrones de comportamiento. La sensibilidad de las aves a las variaciones de temperatura propician el desplazamiento de las mismas (Cano & Cano, 2016). Estas variables afectan de manera directa a la especie por su nivel de especialización en hábitat y por las influencias antrópicas y ambientales que enfrenta (Cano & Cano, 2016).

P. rubecula muestra una influencia en su distribución por una variable de temperatura (BIO6, similar a los dos casos anteriores), y en segundo lugar a la pendiente. Esto posiblemente por ser una especie con requerimientos de hábitat específicos como matorrales secos en la vertiente occidental de los Andes centrales (Begazo, 2022); tal como se muestra el área más idónea del mapa de distribución. Es por ello que probablemente no haya muchos registros de su ocurrencia. Al igual que *C. palliatus*, los resultados muestran alta sensibilidad a los cambios de temperatura, y podrían influir en diferentes factores como morfología, colecta de alimento y distribución geográfica (Cano & Cano, 2016). Es muy vulnerable por su endemismo y alta especialización en cuanto a condiciones ambientales en zonas de montaña. Por ejemplo, en temporadas de gran oferta de alimento, desciende a pisos altitudinales más bajos; y en temporada de reproducción, sube hacia altitudes mayores (Fernández, 2020). Esto podría conllevar a una reducción considerable de individuos por la falta de acceso a alimento en temporadas definidas. Asimismo, se encuentra en los bordes de bosque de *Polylepis* (Fernández, 2020), a los que posiblemente acude por temporadas (Begazo *et al.*, 2001). Los cambios en temperatura y en su movimiento también podrían modificar la frecuencia de estancia en estos hábitats. Es interesante su desplazamiento hacia zonas poco idóneas (Ayacucho), posiblemente porque hay una mínima expansión del área potencial. Además, presenta idoneidad climática hacia el sur, a pesar de no ser registrada en dicha zona. Sin embargo, se deben considerar otros factores (como intervención antrópica) para analizar estas estimaciones.

El caso de *V. gryphus* es interesante pues los resultados muestran una baja reducción de su área de distribución en el futuro. Esto, posiblemente, se deba a su amplio rango de distribución. Su desplazamiento no muestra cambios significativos, probablemente por el amplio registro de ocurrencia. Además de su presencia en los Andes, también está en la costa, a donde migra en busca de alimento (SERFOR, 2018). Su comportamiento de especie migratoria altitudinal se mantendría, pues se sigue distribuyendo en todos los pisos altitudinales en el futuro. Por otro lado, se prevé que cambios en temperatura resultarán en escasez de alimento y, con ello, en una tasa de reproducción baja (Cano & Cano, 2016). Según el análisis de Wallace & Temple (1988, citado por Lambertucci, 2007), los

cóndores andinos presentan una mayor tasa de reproducción luego del Fenómeno de El Niño, debido a la mayor oferta de alimento. Esto, junto a la disminución poblacional, puede llevar a relacionar los cambios en temperatura y menor disponibilidad de recursos con los cambios de distribución de la especie. Además, se considera que el aumento de las precipitaciones se vincula con el aumento de mortandad de las aves (Cano & Cano, 2016). Esto demuestra la alta sensibilidad a la variable de precipitación anual para *V. gryphus*, pues se pronostican eventos climáticos extremos con mayor intensidad y mayor frecuencia en el contexto del cambio climático.

Es importante observar que los resultados varían de acuerdo al GCM utilizado. Para tres especies, el GCM HadGEM2-ES muestra un desplazamiento abrupto hasta la Cordillera. Esto podría relacionarse con la alta sensibilidad climática mostrada por dicho GCM, y ser considerado por su alta eficiencia entre la mayoría de modelos (Shabani *et al.*, 2018). El GCM MIROC5 no muestra variaciones muy drásticas en cuanto a piso altitudinal, pero sí en valores de elevación, pues hay un aumento considerable, sobre todo, para especies endémicas. Según Moya *et al.* (2015), se estima que, bajo el GCM MIROC5 y RCP 8.5, hay un probable aumento de temperatura en el centro y sur del Perú, incluyendo los Andes, así como cambios en los patrones de precipitación. Por otra parte, el GCM CCSM4 muestra eficiencia pues resalta características atmosféricas, particularmente la temperatura del aire (Acuña *et al.*, 2019), que contribuye mucho a estudios basados en el clima.

Se augura que el impacto del cambio climático será más drástico en áreas tropicales, y las especies endémicas serán las más afectadas por sus hábitats restringidos (Velásquez-Tibatá *et al.*, 2013; Huang *et al.*, 2018). Las zonas de alta montaña son ecosistemas muy vulnerables al cambio climático, cuyos efectos repercuten negativamente en sus especies (Cano & Cano, 2016). Freeman *et al.* (2018) suponen que las especies podrían desplazarse de forma ascendente hacia zonas más frías por aumento de la temperatura de sus hábitats de origen. Asimismo, especies de zonas más altas reducirían su ocupación y tamaño poblacional al llegar a un límite altitudinal (Freeman *et al.*, 2018). Las aves de ecosistemas montañosos tropicales son mucho más sensibles al cambio climático (Uribe, 2015) debido al incremento de la temperatura, principal factor en los cambios de su distribución (Freeman *et al.*, 2018; Liang *et al.*, 2021). Su tipo de respuesta puede ser una adaptación *in situ* o un desplazamiento espacial a nuevas áreas propicias para su supervivencia (Capllonch *et al.*, 2020). Las especies se van alejando de zonas con temperaturas no favorables (Lemoine, 2015), y esto puede resultar en una disminución del hábitat disponible y menores posibilidades de adaptación (Uribe, 2015). Esto se corrobora con la importancia que muestran las variables de temperatura (BIO5, BIO6 y BIO9). En la Puna se espera un aumento considerable de la temperatura, comprometiendo la viabilidad de su extensión y el rango de distribución de especies altoandinas por extinción o desplazamiento (Anderson *et al.*, 2012).

Los cambios del centroide son importantes respecto al hábitat de las aves. Su desplazamiento, junto a la pérdida de hábitat, complican su supervivencia por dificultad de acceso a recursos y menor disposición de los mismos (Liang *et al.*, 2021). Se podría suponer que la magnitud del cambio de centroide no es tan significativa en algunos casos. Pero para especies endémicas como *P. rubecula* (cuyos valores de magnitud son menores que la mayoría) sí podría ser un indicador negativo. Es posible que las especies no tengan la misma velocidad o alcance espacial para ajustarse a las nuevas condiciones climáticas, en comparación a otros elementos de su hábitat (Şekercioğlu *et al.*, 2012; Cano & Cano, 2016). Por ejemplo, cambios en la composición vegetal tendrían posiblemente una velocidad diferente al desplazamiento de las aves, afectando estructural y funcionalmente a los ecosistemas (Wormworth & Mallon, 2006). Los resultados mostraron, precisamente, el desplazamiento del centroide de la mayoría de especies desde el Pajonal. Este ecosistema -entre los 3.800 a 4.800 msnm- (SERFOR, 2020), se encuentra en las regiones Suni y Puna. Los cambios podrían deberse a que el pajonal es altamente vulnerable al aumento de la variabilidad climática, menores precipitaciones y aumento de sequías (Flores, 2016).

Comparando estas estimaciones con los resultados, se identifican posibles escenarios similares. El cambio del centroide, en por lo menos un GCM, para todas las especies aumenta su concentración en altitudes mayores para el futuro. Esto, en conjunto con la contracción del área potencial, refuerza el hecho de que a mayor elevación también hay menor disponibilidad de espacio a ser habitado (Şekercioğlu *et al.*, 2012). En Perú varias especies de aves altoandinas han reducido su población y área de distribución; mientras otras están desapareciendo por escasez de hábitat y poco espacio y/o altitud para desplazarse (Freeman *et al.*, 2018). Esto se justifica por la vulnerabilidad de los altos Andes peruanos ante el cambio climático, sobre todo por encima de los 3.500 msnm (Sevillano-Ríos, 2017). Las respuestas de las aves ante al aumento de temperatura se manifiesta, por ejemplo, en menor disponibilidad de hábitats y recursos, y no todas las aves tendrán la capacidad de resistencia o adaptación a nuevos ámbitos ecológicos (Şekercioğlu *et al.*, 2012). Se estima incluso que habría mayores índices de extinción en el futuro de los ya conocidos actualmente (Shabani *et al.*, 2018). Si bien las aves podrían recorrer grandes distancias hacia nuevas zonas para adaptarse a los cambios futuros (World Wide Fund (WWF), 2018), no todas las especies tienen una capacidad de movilidad por su estrecha ocupación. Por ello, se deben analizar las posibilidades de adaptación. Si las especies endémicas de las cumbres montañosas no logran adaptarse a las nuevas características del ambiente, podrían estar frente a una progresiva extinción.

Según Graham *et al.* (2011), en América del Sur, las AP reducirían su capacidad de protección, y si bien estas conclusiones aplican para otras especies, coincide en parte con los resultados obtenidos. Es muy probable que varias especies estudiadas no estén presentes de igual forma que en la actualidad en las ANP. Esto complejiza

su situación de protección a largo plazo, pues su nueva distribución podría estar fuera de AP (Velásquez-Tibatá *et al.*, 2013). El cambio global exige que el rol de las AP sea cada vez más intenso, pero no siempre su delimitación se da en los lugares que lo requieren y la protección no es la adecuada (Zhu *et al.*, 2021).

En Perú, alrededor del 17% del territorio nacional está protegido (Miranda *et al.*, 2016), pero la representatividad ecológica es inadecuada, pues muy poca área de las provincias biogeográficas está protegida (Dourojeanni & Quiroga, 2006). El tamaño y forma de las áreas no son totalmente satisfactorios ni ideales (Dourojeanni & Quiroga, 2006). Además, las categorías de clasificación de las áreas no coinciden con el tipo de intervención. Por ejemplo, se menciona que el Parque Nacional Huascarán, ANP de interés para el estudio, probablemente tiene un alto impacto negativo por extracción de recursos (Dourojeanni & Quiroga, 2006). Estas circunstancias podrían disminuir la capacidad de las AP para proteger especies en el contexto del cambio climático para el futuro. Por tanto, los modelos de distribución de especies son de gran utilidad para estimar las condiciones adecuadas para las especies, y con ello implementar una mejor red de AP (Zhu *et al.*, 2021). Además, se debe tener en cuenta otros factores que influyen en esta situación, como por ejemplo la falta de una gestión efectiva y de herramientas y mecanismos de manejo para las AP.

La ruta de menor coste es por donde la especie puede desplazarse con mayor facilidad; y los corredores más amplios surgen como alternativa ante los impactos de la acción antrópica. Si bien esta ruta se basa en una sola especie, puede beneficiar a otras especies asociadas como *Polylepis*, *Puyas raimondii*, otras especies de aves u otros animales. Teniendo en cuenta que varias especies son endémicas, y que dependen de ciertos ecosistemas y recursos, su inclusión dentro del modelo de corredor podría resultar positivo para las estrategias de conservación. Asimismo, que los corredores también incluyan AP, representa un beneficio, pues si se enfoca en la implementación de estos corredores, constituiría una herramienta de manejo para dichas áreas.

Son varios los estudios enfocados en propuestas de corredores y su funcionalidad para el desplazamiento de las especies. Tomando como base las investigaciones de Sieving, *et al.* (2000) y de Skagen *et al.* (1998), se comprueba la función de los corredores para aves desde la conexión de áreas con vegetación como espacios de refugio. Se plantea que estos resultados puedan ser opciones para propuestas futuras en protección de aves. Esto puede permitir un desplazamiento de mayor fluidez, una conexión entre las AP existentes y entre poblaciones fragmentadas de las aves. Se requiere que las especies puedan adaptarse a posibles efectos debido al cambio climático, como el movimiento hacia altitudes superiores, pero por medio de un sistema de conectividad. Şekercioğlu *et al.* (2012) proponen incluir en los corredores paisajes antropogénicos y que las AP incluyan elementos intervenidos y ocupados por humanos pero climáticamente idóneos. Es decir espacios de alta perturbación podrían ser aprovechados como

oportunidades para la conexión y transición para las aves. Esto podría aplicarse a la presente propuesta, donde el desplazamiento podría darse hacia zonas de ocupación humana. Martínez-Salinas & DeClerck (2010) sostienen que zonas de producción poseen cobertura vegetal que conserva hábitats propicios para poblaciones de aves. Estos lugares, denominados paisajes productivos, tendrían una muy buena capacidad conectora entre elementos paisajísticos, que contribuyen a un eficiente movimiento de las aves y comunicación entre poblaciones distantes (Martínez-Salinas & DeClerck, 2010).

Si bien el cambio climático se prevé como la amenaza más potente en los cambios de distribución de especies, también fortalece otros factores que afectan el ambiente y biodiversidad. Por ejemplo, las amenazas principales a las especies estudiadas son pérdida de hábitat –sobre todo debido al cambio de cobertura- y la caza. El cambio de uso de suelo supone todo un conjunto de modificaciones en la biodiversidad (Rodríguez-Eraso *et al.*, 2010). Se estima que, para fines de siglo, será el factor con mayor impacto, incluso por encima del cambio climático, determinando los niveles de pérdida o nuevas formas de establecimiento de especies (Rodríguez-Eraso *et al.*, 2010). Para Perú, país con gran riqueza de especies y endemismos, y con altos niveles de amenaza por actividades antrópicas (Naughton-Treves *et al.*, 2006), es importante integrar estos factores en estudios de modelado y cambio climático para ajustar los resultados y propuestas mucho más a la realidad. El cambio climático se ha intensificado con el tiempo por la actividad humana, generando mayores concentraciones de dióxido de carbono y otros gases de efectos invernadero a la atmósfera (Capllonch *et al.*, 2020). Por ello, se hace necesario que se integren a estos análisis -basados en modelización- otras variables que complementen los resultados, y que las estimaciones se ajusten más a la realidad. Por ejemplo, se puede trabajar con variables de suelo, hidrográficas, cobertura del suelo, perturbaciones, actividades humanas, presencia humana (centros urbanos, centros poblados), infraestructura vial, etc. Si bien en algunas variables es más complejo las estimaciones futuras, dichos esfuerzos son necesarios para implementar las estrategias de conservación.

5. Conclusiones

El cambio climático será un determinante fundamental en los cambios de distribución de las especies estudiadas, pues habitan en ecosistemas vulnerables y varias de estas especies son endémicas. Estos cambios se manifiestan en el aumento de la temperatura y variaciones en los patrones de precipitación. Una posible respuesta de las aves es el desplazamiento altitudinal hacia zonas climáticamente más frías (mayores altitudes) para poder resistir los cambios en el clima. Otras especies, con rangos más estrechos y en zonas más elevadas, podrían llegar a extinguirse. Todas las especies (en los tres GCM utilizados) presentan una alta contracción del área potencial en el futuro. En términos generales, los centroides muestran

un desplazamiento latitudinal y altitudinal considerable. Sin embargo, la magnitud y dirección difieren entre los diferentes GCM, pero coinciden en cambios importantes. Surge una preocupación para el 2050, ya que los cambios se esperan dentro de pocas décadas, y con ello urge mayor enfoque en su protección.

El área de distribución potencial de las aves tiene muy poca presencia en ANP. Dicha ausencia aumentaría para futuro, que no solo preocupa por ser especies amenazadas, sino que cuestiona la efectividad de las AP. Los resultados apuntan a la zona centro de los Andes como un área de interés frente a los cambios, que se consideran con pérdida de idoneidad de hábitat, contracción del área potencial y desplazamiento de los centroides. Por tanto, se toma esta zona como punto de interés para el análisis de protección. Una posible herramienta de conservación que podría integrarse al sistema de AP son los corredores ecológicos. Su propuesta puede desarrollarse desde las herramientas de modelado, y considera diferentes elementos del paisaje. Esto puede considerarse para reforzar y extender las AP que refugian a estas especies o podrían hacerlo en el futuro.

Las respuestas de las especies al cambio climático serán posiblemente muy distintas dependiendo de sus características y preferencias en hábitat. Por ejemplo, su endemismo, rango de distribución, capacidad de resistencia y adaptación, podrían determinar qué especies están en mayor riesgo de extinción. Se podrán fortalecer los criterios de priorización de las especies en los planes de conservación. Además, no se deben dejar de lado las especies cuyos resultados no abren un panorama tan negativo, pues se debe continuar el análisis bajo otros escenarios. Sería necesario ahondar en modelos con otros tipos de variables y rango temporal mayor, al año 2070 o al 2100.

Es así que los MDE son un conjunto de herramientas muy útiles en los estudios de proyecciones futuras de la distribución de la biodiversidad frente al cambio climático, apuntando a mayor protección de las especies y abriendo paso a nuevas herramientas de conservación. Dentro de un estudio de ecología del movimiento, el estudiar el impacto de las especies y su desplazamiento en el espacio requiere buscar respuestas igualmente basadas en el movimiento: los corredores de transición de especies como estrategia de conservación.

Agradecimientos

Este artículo se pudo realizar gracias a la Dirección de Investigación de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC) por medio del proyecto A-064-2021, siendo la principal fuente de financiación para la realización de la investigación.

Referencias

Acuña, D., Villanueva Flores, W., Llacza, A. & Rohrer, M., 2019. Escenarios futuros de cambio climático desde mode-

los globales para localidades de los Andes centrales. *Anales Científicos*, 80(2): 476-494. <https://doi.org/10.21704/ac.v80i2.1482>

Adriaensen, F., Chardon, J. P., De Blust, G., Swinnen, E., Villalba, S., Gulinck, H. & Matthysen, E., 2003. The application of 'least-cost' modelling as a functional landscape model. *Landscape and Urban Planning*, 64(4): 233-247. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00242-6](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00242-6)

Anderson, E., Marengo, J., Villalba, R., Halloy, S., Young, B., Cordero, D., Gast, F., Jaimes, E. & Ruiz, D., 2012. Consecuencias del cambio climático en los ecosistemas y servicios ecosistémicos de los Andes Tropicales. En: Herzog, Martínez, Jørgensen & Tiessen, *Cambio Climático y Biodiversidad en los Andes Tropicales*. MacArthur Foundation, 1-22 pp.

Ayala-Pérez, V., Arce, N. & Carmona, R., 2013. Distribución espacio-temporal de aves acuáticas invernantes en la Ciénega de Tláhuac, planicie lacustre de Chalco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84: 327-337. <http://doi.org/10.7550/rmb.28632>

Báez, S., Jaramillo, L., Cuesta, F. & Donoso, D.A., 2016. Effects of climate change on Andean biodiversity: a synthesis of studies published until 2015. *Neotropical Biodiversity*, 2(1): 181-194. <https://doi.org/10.1080/23766808.2016.1248710>

Becerra-López, J., Romero-Méndez, U., Ramírez-Bautista, A. & Becerra-López, S., 2016. Revisión de las técnicas para el modelado de la distribución de las especies. *Revista Biológica Agropecuaria Tuxpan*, 4(1): 176-187. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v4i1.47>

Begazo, A.J., Valqui, T., Sokol, M. & Langlois, E., 2001. Notes on some birds from central and northern Peru. *Cotinga*, 15: 81-87.

Begazo, A. (Ed.), 2022. Peru Aves. Rufous-breasted Warbling-Finch (*Poospiza rubecula*). CORBIDI, Lima, Peru. [Online]. Disponible en <https://www.peruaves.org/> (Fecha de acceso: 10/05/2022).

Beraún J. & Villanueva, H., 2016. Clasificación de las regiones naturales del Perú. *Boletín del Colegio de Geógrafos del Perú*, 3. <https://cgp.org.pe/publicaciones/boletin3/B3-09.pdf>

BirdLife International, 2016a. *Microspingus alticola*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2016: e.T22723224A94808663. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22723224A94808663.en>

BirdLife International, 2016b. *Zaratornis stresemanni*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2016: e.T22700773A93795962. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22700773A93795962.en>

BirdLife International, 2018. *El Estado de conservación de las aves del mundo: tomando el pulso de nuestro planeta*. Cambridge, Reino Unido: BirdLife International. ISBN 978-1-912086-69-6 http://datazone.birdlife.org/userfiles/docs/SOWB2018_es.pdf

BirdLife International, 2021a. *Agriornis albicauda*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2021: e.T22700081A191925726. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-3.RLTS.T22700081A191925726.en>

BirdLife International, 2021b. *Cinclodes palliatus*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2021: e.T22702117A192082878. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-3.RLTS.T22702117A192082878.en>

Brown, J., 2014. SDM toolbox: a python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. *Methods in Ecology and Evolution*, 5(7): 694-700. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12200>

- Brown, J., Bennett, J. & French, C., 2017. SDMtoolbox 2.0: the next generation Python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. *PeerJ*, 5, e4095. <https://doi.org/10.7717/peerj.4095>
- Buira, A., 2016. Aplicación de modelos de nicho ecológico para la localización de seis plantas amenazadas en el Parque Natural de Els Ports (noreste de la Península Ibérica). *Pirineos*, 171, e017. <https://doi.org/10.3989/Pirineos.2016.171001>
- Cano, C. & Cano, J., 2016. Efectos del cambio climático sobre las aves. *Calendario Meteorológico 2017. Información meteorológica y climatológica de España: 263-271. Agencia Estatal de Meteorología*. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. <http://hdl.handle.net/20.500.11765/8150>
- Capllonch, P., Hayes, F. & Ortiz, F., 2020. Escape al sur: una revisión de las aves que expandieron recientemente su rango de distribución en Argentina. *El Hornero*, 35(2): 111-126. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0073-34072020000200111&lng=es&tlng=es
- Cárdenas, W. & Hurtado, L., 2019. Variación de la abundancia y diversidad de aves en el humedal Lucre-Huacarpay, Quispicanchi/Cusco/Perú, durante el periodo de "El Niño" 2015-2016. *Ecología Aplicada*, 18(2): 111-124. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v18i2.1330>
- Chamorro A., Lebbin, D. & Auca, C. 2013. *Plan Estratégico para la Conservación del Cinclodes palliatus*. Asociación Ecosistemas Andinos / American Bird Conservancy. Lima – Perú, 46 pp. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.20428.05762>
- Crick, H.Q., 2004. The impact of climate change on birds. *IBIS*, 146: 48-56. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2004.00327.x>
- Dangles, O., Meneses, R. & Anthelme, F., 2014. BIOTHAW: Un proyecto multidisciplinario que propone un marco metodológico para el estudio de los bofedales altoandinos en un contexto de cambio climático. *Ecología en Bolivia*, 49(3): 6-13. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1605-25282014000300002&lng=es&tlng=es
- Dourojeanni, M. & Quiroga, R., 2006. *Gestión de áreas protegidas para la conservación de la biodiversidad: evidencias de Brasil, Honduras y Perú*. Banco Interamericano de Desarrollo, Departamento de Desarrollo Sostenible, División de Medio Ambiente, 122 pp. <https://publications.iadb.org/es/publicacion/14218/gestion-de-areas-protégidas-para-la-conservacion-de-la-biodiversidad-evidencias>
- eBird, 2022. Gaucho andino, *Agriornis albicauda*. Obtenido de <https://ebird.org/species/wtstyr1/PE> The Cornell Lab of Ornithology.
- Echarri, F., Tambussi, C. & Hospitaleche, C., 2009. Predicting the distribution of the crested tinamou, *Eudromia spp.* (Aves, Tinamiformes). *Journal of Ornithology*, 150(1): 75. <https://doi.org/10.1007/s10336-008-0319-5>
- Fernández, A., 2020. Primer registro de la especie endémica *Poospiza rubecula* (Thraupidae) en Otuzco, La Libertad. *Arnaldoa*, 27(1): 221-228. <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.271.27112>, http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2413-32992020000100221&script=sci_arttext
- Feria, T., Sánchez-Rojas, G., Ortiz-Pulido, R., Bravo-Cadena, J., Calixto, E., Dale, J., Duberstein, J., Illoldi-Rangel, P., Lara, C. & Valencia-Herverth, J., 2013. Estudio del cambio climático y su efecto en las aves en México: enfoques actuales y perspectivas futuras. *Huitzil*, 14(1): 47-55. <https://doi.org/10.28947/hrmo.2013.14.1.173>
- Figueroa, J., Stucchi, M. & Rojas-VeraPinto, R., 2016. Modelación de la distribución del oso andino *Tremarctos ornatus* en el bosque seco del Marañón (Perú). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(1): 230-238. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.01.008>
- Freeman, B., Scholer, M., Ruiz-Gutierrez, V. & Fitzpatrick, J., 2018. Climate change causes upslope shifts and mountain-top extirpations in a tropical bird community. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(47): 11982-11987. <https://doi.org/10.1073/pnas.1804224115>
- Flores, E., 2016. Cambio climático: pastizales altoandinos y seguridad alimentaria. *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña*, (1): 8-8. <https://doi.org/10.36580/rgem.i1.73-80>
- Gent, P., Danabasoglu, G., Donner, L., Holland, M., Hunke, E., Jayne, S., ... & Zhang, M., 2011. The community climate system model version 4. *Journal of Climate*, 24(19): 4973-4991. <https://doi.org/10.1175/2011JCLI4083.1>
- Gill, K., Fovargue, R. & Neeson, T., 2020. Hotspots of species loss do not vary across future climate scenarios in a drought-prone river basin. *Ecology and Evolution*, 10(17): 9200-9213. <https://doi.org/10.1002/ece3.6597>
- Gobierno Regional de Ancash, 2016. *Estrategia regional ante el cambio climático 2016-2020*. Sistema de Información Regional (SIAR), Ministerio del Ambiente (MINAM).
- Gobierno Regional de Huancavelica, 2017. *Estrategia regional ante el cambio climático 2017-2021*. Sistema de Información Regional (SIAR).
- González, M., 2012. *Ecología y Conservación de aves en el Bosque Montano de Huánuco*. Informe final. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María. <https://cies.org.pe/sites/default/files/investigaciones/aves-como-indicadores.pdf>
- González, O., 2016. ¿Son las aves indicadores de cambio climático en los Andes tropicales de Huánuco, Perú? Conference Paper. *Memoria del Primer Encuentro de Investigadores Ambientales 12-13 de diciembre de 2012 (Iquitos, Perú)*. <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/handle/123456789/510?show=full>
- Graham, C., Loiselle, B., Velásquez-Tibatá, J. & Cuesta, F., 2011. Species distribution modeling and the challenge of predicting future distributions. En: S. Herzog, R. Martínez, P. Jørgensen & Tiessen, H. *Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes* (47-67). Inter-American Institute for Global Change Research (AIA) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE). <https://doi.org/10.13140/2.1.3718.4969>
- Guan, B., Gao, J., Chen, W., Gong, X. & Ge, G., 2021. The Effects of Climate Change on Landscape Connectivity and Genetic Clusters in a Small Subtropical and Warm-Temperate Tree. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.671336>
- Gutiérrez-Yurrita, P., 2007. Los corredores ecológicos como herramienta para paliar los efectos negativos del cambio climático sobre la biodiversidad. *Derecho Ambiental y Ecología*, 4(21): 55-63.
- Hernández, P., Graham, C., Master, L. & Albert, D., 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography*, 29(5): 773-785. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2006.04700.x>
- Herrera, P., 2013. Una aproximación a la conectividad ecológica aplicada a la planificación territorial: modelización para el caso de Valladolid y Entorno. *Ciudades Dossier, 1*: 149-240. <https://iuu.uva.es/publicaciones/dossier-ciudades/planificacion-espacial-y-conectividad-ecologica-corredores-ecologicos/>
- Herzog, S. & Kattan, G. 2011. Patterns of diversity and endemism in the birds of the tropical Andes. In: Herzog, S., Martínez, R., Jørgensen, P. & Tiessen, H., Eds. *Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes*. 245-259 pp. Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), Paris. <https://doi.org/10.13140/2.1.3718.4969>
- Hijmans, R., Cameron, S., Parra, J., Jones, P. & Jarvis, A., 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global

- land areas. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 25(15): 1965-1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- Hu, R., Wen, C., Gu, Y., Wang, H., Gu, L., Shi, X., Zhong, J., Wei, M., He, F. & Lu, Z., 2017. A bird's view of new conservation hotspots in China. *Biological Conservation*, 211: 47-55. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.03.033>
- Huang, J., Li, G., Li, J., Zhang, X., Yan, M. & Du, S., 2018. Projecting the range shifts in climatically suitable habitat for Chinese Sea Buckthorn under climate change scenarios. *Forests*, 9(1): 9. <https://doi.org/10.3390/f9010009>
- IPCC, 2002: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. *Cambio Climático y biodiversidad. Documento técnico V del IPCC*. OMM-WMO, PNUMA-UNEP. <https://archive.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-changes-biodiversity-sp.pdf>
- IPCC, 2014. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 pp. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf
- IUCN, 2022. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2022-1. <https://www.iucnredlist.org>
- Jha, K. & Jha, R., 2021. Study of vulture habitat suitability and impact of climate change in central India using MaxEnt. *Journal of Resources and Ecology*, 12(1): 30-42. <https://doi.org/10.5814/j.issn.1674-764x.2021.01.004>
- Kina, K., Bhumpakphan, N., Trisurat, Y., Mainmit, N., Ghimire, K. & Subedi, M., 2020. Analysis of Potential Distribution of Tiger Habitat using MaxEnt in Chitwan National Park, Nepal. *Journal of Remote Sensing and GIS Association of Thailand*, 21(3): 1-15. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16579.94249>
- Lambertucci, S., 2007. Biología y conservación del Cóndor Andino (*Vultur gryphus*) en Argentina. *El Hornero*, 22(2): 149-158. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S0073-34072007000200007&script=sci_abstract&tlng=pt
- Lemoine, N., 2015. Climate change may alter breeding ground distributions of eastern migratory monarchs (*Danaus plexippus*) via range expansion of *Asclepias* host plants. *PLoS One*, 10(2): e0118614. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118614>
- Liang, J., Peng, Y., Zhu, Z., Li, X., Xing, W., Li, X., Yan, M., Zhu, Z. & Yuan, Y., 2021. Impacts of changing climate on the distribution of migratory birds in China: habitat change and population centroid shift. *Ecological Indicators*, 127: 107729. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107729>
- Liu, Y., Huang, P., Lin, F., Yang, W., Gaisberger, H., Christopher, K., & Zheng, Y., 2019. MaxEnt modelling for predicting the potential distribution of a near threatened rosewood species (*Dalbergia cultrata* Graham ex Benth). *Ecological Engineering*, 141: 105612. <https://doi.org/10.1016/j.ecoeng.2019.105612>
- Lyons, M. & Kozak, K., 2020. Vanishing islands in the sky? A comparison of correlation-and mechanism-based forecasts of range dynamics for montane salamanders under climate change. *Ecography*, 43(4): 481-493. <https://doi.org/10.1111/ecog.04282>
- McPherson, J.M., Jetz, W. & Rogers, D.J., 2004. The effects of species' range sizes on the accuracy of distribution models: ecological phenomenon or statistical artefact? *Journal of Applied Ecology*, 41(5): 811-823.
- Mark, T., Augustine, L., Barrio, J., Flanagan, J. & Vellinga, W., 2008. New records of birds from the northern Cordillera Central of Peru in a historical perspective. *Cotinga*, 29: 108-125. <https://www.neotropicalbirdclub.org/wp-content/uploads/2017/08/C29-Mark-et-al..pdf>
- Markham, A., Osipova, E., Lafrenz, K. & Caldas, A., 2016. *World heritage and tourism in a changing climate*. UNESCO Publishing. <https://whc.unesco.org/en/tourism-climate-change/>
- Martin, G., Bellouin, N., Collins, W., Culverwell, D., Halloran, P., Hardiman, S., Hinton, T., Jones, C. & Wiltshire, A., 2011. The HadGem2 family of Met Office Unified Model climate configurations. *Geoscientific Model Development*, 4: 723-757. <https://doi.org/10.5194/gmd-4-723-2011>
- Martínez-Salinas, A. & DeClerck, F., 2010. El papel de los agroecosistemas y bosques en la conservación de aves dentro de corredores biológicos. *Mesoamericana*, 14: 35-50. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/7902>
- Miranda, J., Corral, L., Blackman, A., Asner, G. & Lima, E., 2016. Effects of protected areas on forest cover change and local communities: evidence from the Peruvian Amazon. *World Development*, 78: 288-307. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.10.026>
- Moya, A., Ortega, J. & Jurado, X., 2015. Evaluación del Modelo Climático Global MIROC5 y estimaciones de temperatura y precipitaciones para las zonas sur y norte del Perú. *Apuntes Ciencias Sociales*, 05(02): 188-195. <https://doi.org/10.18259/acs.2015028>
- Navarro-Racines, C., Tarapues, J., Thornton, P., Jarvis, A. & Ramirez-Villegas, J., 2020. High-resolution and bias-corrected CMIP5 projections for climate change impact assessments. *Scientific Data*, 7(1): 1-14. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.11353664>
- Naughton-Treves, L., Álvarez-Berrios, N., Brandon, K., Bruner, A., Holland, M., Ponce, C., Saenz, M., Suarez, L. & Treves, A., 2006. Expanding protected areas and incorporating human resource use: a study of 15 forest parks in Ecuador and Peru. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 2(2): 32-44. <https://doi.org/10.1080/15487733.2006.11907983>
- Padalia, H., Srivastava, V. & Kushwaha, S., 2014. Modeling potential invasion range of alien invasive species, *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. in India: Comparison of MaxEnt and GARP. *Ecological Informatics*, 22: 36-43. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2014.04.002>
- Paź-Dyderska, S., Jagodziński, A. & Dyderski, M., 2021. Possible changes in spatial distribution of walnut (*Juglans regia* L.) in Europe under warming climate. *Regional Environmental Change*, 21(1): 1-13. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01745-z>
- Phillips, S., 2017. A Brief Tutorial on Maxent. Available from url: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/ Accessed on 2021-09-03
- Phillips, S., Anderson, R. & Schapire, R., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3-4): 231-259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Phillips, S., Dudík, M. & Schapire, R., 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling. In: *Proceedings of the twenty-first international conference on Machine learning* (p. 83). <https://doi.org/10.1145/1015330.1015412>
- Plenge M., 2016. *Lista de las aves de Perú*. Lima, Perú. Disponible en: <https://sites.google.com/site/boletinunop/checklist>.
- Pulgar Vidal, J., 2014. Las ocho regiones naturales del Perú. *Terra Brasilis (Nova Série). Revista da Rede Brasileira de História da Geografia e Geografia Histórica*, (3). <https://doi.org/10.4000/terrabrasilis.1027>
- Pulido, V., Olivera, E., Fariás, E., Chirinos, A., Reynaga, A. & Ruiz, R., 2020. Conservación de las aves amenazadas que habitan en los Pantanos de Villa, Lima, Perú. *Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu*, 7(2): 87-97. <https://doi.org/10.36955/RIULCB.2020v7n2.009>

- Ramírez-Alán, O., Vargas-Masis, R. & Cordero, R., 2015. Cambios en la distribución altitudinal de las aves de Río Macho, Cartago, Costa Rica. *Hornero*, 30: 55-61. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0073-34072015000200002&lng=es&nrm=iso
- Remsen J.V., Jr, Areta, J.I., Cadena, C.D., Claramunt, S., Jaramillo, A., Pacheco, J.F., Pérez-Emán, J., Robbins, M.B., Stiles, F.G., Stotz, D.F., Zimmer, K.J. Version [15 julio 2016]. A classification of the bird species of South America. American Ornithologists' Union. <http://www.museum.lsu.edu/~Remsen/SACCBaseline.html>
- Rodríguez-Eraso, N., Pabón-Caicedo, J., Bernal-Suárez, N. & Martínez-Collantes, J., 2010. *Cambio climático y su relación con el uso del suelo en los Andes colombianos*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <http://hdl.handle.net/20.500.11761/31370>
- Romero, B., 2016. *Propuesta metodológica para evaluar la eficiencia energética de edificaciones. Estudio caso: Laboratorio de microbiología y biotecnología*. Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2855>
- Samata, D., Cáceres, D., Ordinola, G. & López, E., 2019. Ampliación del rango de distribución de la cotinga cariblanca *Zaratornis stresemanni* (Aves: Cotingidae) en el sur del Perú. *Revista Peruana de Biología*, 26(2): 259-264. <https://doi.org/10.15381/rpb.v26i2.15730>
- Schwalm, C., Glendon, S. & Duffy, P., 2020. RCP 8.5 tracks cumulative CO2 emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(33): 19656-19657. <https://doi.org/10.1073/pnas.2007117117>
- Şekercioğlu, Ç., Primack, R. & Wormworth, J., 2012. The effects of climate change on tropical birds. *Biological Conservation*, 148(1): 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.10.019>
- Senner, N. & Angulo, F., 2014. *Atlas de las Aves playeras del Perú. Sitios importantes para su conservación*. Ministerio del Ambiente, The Cornell Lab of Ornithology, CORBIDI. <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/handle/123456789/180>
- SERFOR., 2018. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. *Libro Rojo de la Fauna Silvestre Amenazada del Perú*. Primera edición. SERFOR, Lima, Perú, 1- 532 pp. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/libro-rojo-fauna-silvestre-amenazada-peru>
- SERFOR, 2020. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. Ficha técnica de Estado de Conservación. Departamento de Huánuco. Pajonal de Puna Húmeda – Yanajanca. SERFOR & GOREHCO
- Sevillano-Ríos, S., 2017. Breve Historia de la Ornitología en los Altos Andes del Norte del Perú y su Importancia para la Conservación. *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña*, (2): 87-102. <https://revista.inaigem.gob.pe/index.php/RGEM/article/view/20>
- Sevillano-Ríos, C., Rodewald, A. & Morales, L., 2018. Ecología y conservación de las aves asociadas con *Polylepis*: ¿qué sabemos de esta comunidad cada vez más vulnerable? *Ecología Austral*, 28(1): 216-228. <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.1.519>
- Shabani, F., Kumar, L. & Al Shidi, R., 2018. Impacts of climate change on infestations of Dubas bug (*Ommatissus lybicus* Bergevin) on date palms in Oman. *PeerJ*, 6, e5545. <https://doi.org/10.7717/peerj.5545>
- Shrestha, B., Tsiftsis, S., Chapagain, D., Khadka, C., Bhattarai, P., Kayastha Shrestha, N., Kolanowska, M. & Kindlmann, P., 2021. Suitability of habitats in Nepal for *Dactylorhiza hatagirea* now and under predicted future changes in climate. *Plants*, 10(3): 467. <https://doi.org/10.3390/plants10030467>
- Schulenberg, T., Stotz, D., Lane, D., O'Neill, J. & Parker III, T., 2010. *Aves de Perú*. Centro de Ornitología y Biodiversidad, Lima, 660 pp.
- Sieving, K., Willson, M. & De Santo, T., 2000. Defining corridor functions for endemic birds in fragmented south-temperate rainforest. *Conservation Biology*, 14(4): 1120-1132. <http://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.98417.x>
- Skagen, S., Melcher, C., Howe, W. & Knopf, F., 1998. Comparative use of riparian corridors and oases by migrating birds in southeast Arizona. *Conservation Biology*, 12(4): 896-909. <http://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1998.96384.x>
- Soultan, A. & Safi, K., 2017. The interplay of various sources of noise on reliability of species distribution models hinges on ecological specialisation. *PLoS One*, 12(11): e0187906. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187906>
- Stockwell, D.R., & Peterson, A.T., 2002. Effects of sample size on accuracy of species distribution models. *Ecological Modelling*, 148(1): 1-13.
- Su, H., Bista, M. & Li, M., 2021. Mapping habitat suitability for Asiatic black bear and red panda in Makalu Barun National Park of Nepal from Maxent and GARP models. *Scientific Reports*, 11(1): 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93540-x>
- Suárez-Mota, M. & Villaseñor, J., 2020. Ecological niche overlap among species of the genus *Zaluzania* (Asteraceae) from the dry regions of Mexico. *Plant Ecology and Evolution*, 153(3): 337-347. <https://doi.org/10.5091/plecevo.2020.1663>
- Uribe, E., 2015. *El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago de Chile, 86 pp. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/39855-cambio-climatico-sus-efectos-la-biodiversidad-america-latina>
- Velásquez-Tibatá, J., Salaman, P. & Graham, C., 2013. Effects of climate change on species distribution, community structure, and conservation of birds in protected areas in Colombia. *Regional Environmental Change*, 13(2), 235-248. <https://doi.org/10.1007/s10113-012-0329-y>
- Vuille, M., 2013. El cambio climático y los recursos hídricos en los Andes tropicales. *Banco Interamericano de Desarrollo (BID)*, 21. http://facets.sdsu.edu/Glaciarc_CRRRR.pdf, 33 pp.
- Wallace, M.P., & Temple, S.A., 1988. Impacts of the 1982-1983 El Niño on population dynamics of Andean Condors in Peru. *Biotropica*, 144-150.
- Watanabe, M., Suzuki, T., O'ishi, R., Komuro, Y., Watanabe, S., Emori, S., ... & Kimoto, M., 2010. Improved climate simulation by MIROC5: mean states, variability, and climate sensitivity. *Journal of Climate*, 23(23): 6312-6335. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3679.1>
- Wormworth J. & Mallon K., 2006. *Bird species and climate change: the global status report. A synthesis of current scientific understanding of anthropogenic climate change impacts on global bird species now, and projected future effects. A Climate Risk Report*. Fairlight, New South Wales: Climate Risk Pty Ltd (Australia), 75 pp, https://library.sprep.org/sites/default/files/22_6.pdf
- WWF, 2018. World Wide Fund. *La vida silvestre en el calentamiento global. Los efectos del cambio climático en la biodiversidad de los Sitios Prioritarios de WWF*. Obtenido de <https://www.wwf.org.pe/?324692/Vida-Silvestre-Calentamiento-Global>.
- Xu, Y., Huang, Y., Zhao, H., Yang, M., Zhuang, Y. & Ye, X., 2021. Modelling the effects of climate change on the distribution of endangered *Cypripedium japonicum* in China. *Forests*, 12(4): 429. <https://doi.org/10.3390/f12040429>
- Yang, X., Kushwaha, S.P.S., Saran, S., Xu, J. & Roy, P., 2013. Maxent modeling for predicting the potential distribution of medicinal plant, *Justicia adhatoda* L. in Lesser Himalayan foothills. *Ecological Engineering*, 51: 83-87. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.004>
- Zhang, L., Jing, Z., Li, Z., Liu, Y. & Fang, S., 2019. Predictive modeling of suitable habitats for *Cinnamomum Camphora* (L.) presl using maxent model under climate change

- in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(17): 3185. <https://doi.org/10.3390/ijerph16173185>
- Zhang, L., Liu, S., Sun, P., Wang, T., Wang, G., Zhang, X. & Wang, L., 2015. Consensus forecasting of species distributions: The effects of niche model performance and niche properties. *PloS One*, 10(3): e0120056. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120056>
- Zhang, K., Yao, L., Meng, J. & Tao, J., 2018. Maxent modeling for predicting the potential geographical distribution of two peony species under climate change. *Science of the Total Environment*, 634: 1326-1334. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.112>
- Zhu, G., Papeş, M., Giam, X., Cho, S. & Armsworth, P., 2021. Are protected areas well-sited to support species in the future in a major climate refuge and corridor in the United States? *Biological Conservation*, 255: 108982, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.108982>
- Zimmer, A., Meneses, R., Rabatel, A., Soruco, A. & Anthelme, F., 2014. Caracterizar la migración altitudinal de las comunidades vegetales altoandinas frente al calentamiento global mediante cronosecuencias post-glaciales recientes. *Ecología en Bolivia*, 49(3): 27-41, http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1605-25282014000300004