

REVELANDO ZONAS GEOGRÁFICAS DE ALTA IDONEIDAD AMBIENTAL DE *Harpia harpyja* “ÁGUILA HARPÍA” Y *Sarcoramphus papa* “GALLINAZO REY” EN EL DEPARTAMENTO DE LORETO, PERÚ

Gonzalo HERNÁNDEZ MORA^{1*}, Walter L VÁSQUEZ MORA¹, Carlos Max ARANGO MORA², Roberto PEZO DÍAZ², Arturo ACOSTA DÍAZ², Rommel R. ROJAS ZAMORA²

¹ Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP). Facultad de Ciencias Biológicas. Calle Pebas quinta cuadra. Iquitos, Perú.

² Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP). Facultad de Ciencias Biológicas. Departamento de Ecología y Fauna. Proyecto Pro- Nanay. Campus Zungarococha. Av. Grau 1072, Iquitos, Perú.

* Correo electrónico: moragonzalo057@gmail.com

RESUMEN

En la Amazonía, la creciente degradación y pérdida de biodiversidad hacen crucial identificar áreas de alta idoneidad ambiental para preservar hábitats y garantizar la supervivencia de flora y fauna. Sin embargo, para muchas especies amazónicas no existe una línea base, especialmente en Loreto, Perú. Este estudio modeló zonas geográficas de alta idoneidad ambiental de: *Harpia harpyja* “águila harpía” y *Sarcoramphus papa* “gallinazo rey”, usando registros georreferenciados, variables bioclimáticas y el algoritmo Maxent. Para *H. harpyja*, las áreas de alta idoneidad se ubicaron principalmente en el norte y este de Loreto (Putumayo, Mariscal Ramón Castilla y Maynas), siendo determinantes el rango medio de temperatura diurna y la precipitación anual. En *S. papa*, las zonas de mayor idoneidad se distribuyeron de forma discontinua en el norte, sudeste y sur, resaltando Requena y Mariscal Ramón Castilla, con la temperatura media anual y el rango anual de temperatura como variables más influyentes. Estos hallazgos, integrados con datos geoespaciales, ofrecen insumos valiosos para la planificación de la conservación, la priorización de muestreos y el diseño de corredores ecológicos que contribuyan a mitigar la pérdida de biodiversidad en la Amazonía peruana.

PALABRAS CLAVE: Modelamiento, nicho ecológico, idoneidad, distribución .

REVEALING GEOGRAPHICAL AREAS OF HIGH ENVIRONMENTAL SUITABILITY OF *Harpia harpyja* "HARPY EAGLE" AND *Sarcoramphus papa* "KING VULTURE" IN THE DEPARTMENT OF LORETO, PERU

ABSTRACT

In the Amazon, increasing degradation and biodiversity loss underscore the need to identify areas of high environmental suitability to preserve habitats and ensure the survival of flora and fauna. A significant challenge is the lack of baseline data for many species, particularly in Loreto, Peru. This study modeled the potential distribution of two key bird species: *Harpia harpyja* "Harpy eagle" and *Sarcoramphus papa* "King vulture", using georeferenced records, bioclimatic variables, and the Maxent algorithm. For *H. harpyja*, optimal habitats were mainly found in the northern and eastern regions of Loreto, specifically in Putumayo, Mariscal Ramón Castilla, and Maynas, with mean diurnal temperature range and annual precipitation as crucial factors. In contrast, *S. papa* showed greater suitability in the north, southeast, and southern parts of the region, especially in Requena and Mariscal Ramón Castilla, where mean annual temperature and temperature range significantly influenced its distribution.

KEYWORDS: Modeling, ecological niche, suitability, distribution.

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas, la expansión demográfica y las actividades humanas asociadas han generado impactos significativos sobre la biodiversidad y los recursos naturales a nivel global, reduciendo la disponibilidad de hábitat para la fauna silvestre (Woodroffe, 2000; Dobrovolski *et al.*, 2013). En la Amazonía, la deforestación y la conversión de bosques primarios en áreas agrícolas, vegetación secundaria y asentamientos humanos han provocado una marcada fragmentación de los ecosistemas, alterando su estructura y funcionamiento (Rivera-Rivera *et al.*, 2012; Schulenberg, 2020). Estas transformaciones no solo conducen a la pérdida local de especies, sino también a desequilibrios ecológicos, disrupción de procesos esenciales y disminución de los servicios ecosistémicos que sustentan el bienestar humano (De la Maza & De la Maza, 2010; Monroy-Ojeda, 2022).

La Amazonía peruana alberga especies clave en la red trófica, como *Harpia harpyja* ("águila harpía"), el ave rapaz más grande del Neotrópico (Brown & Amadon, 1968; Collar, 1989; Miranda *et al.*, 2022), y *Sarcoramphus papa* ("gallinazo rey"), el carroñero de mayor tamaño en las regiones intertropicales (Monroy-Ojeda, 2022). La especie *H. harpyja* se distribuye ampliamente en las selvas tropicales de América Central y del Sur, desde el sur de México hasta el norte de Argentina y Brasil. Sin embargo, su presencia se ha vuelto fragmentada debido a la pérdida de hábitat. El *S. papa* se distribuye desde el sur de México hasta el norte de Argentina, habitando principalmente en bosques tropicales y subtropicales de baja altitud. Aunque menos estudiado que la harpía, su rol ecológico como carroñero es fundamental para el reciclaje de materia orgánica en los ecosistemas (BirdLife, 2023).

Ambas especies desempeñan funciones ecológicas críticas como depredadores tope o

descomponedores (Terborgh *et al.*, 2001; Burton, 2006; Miranda *et al.*, 2020) y poseen un alto valor cultural, ecoturístico y de conservación, al ser consideradas especies paraguas (Terborgh & Estes, 2010; Miranda *et al.*, 2022) y bandera (Ibañez & Iannaccone, 2011). Su presencia está profundamente arraigada en la cosmovisión de comunidades indígenas amazónicas (Nygren, 1998; Hull & Fergus, 2009; Sault, 2016). En términos de estado de conservación, la IUCN (2023) clasifica a *H. harpyja* como Vulnerable (VU) y a *S. papa* como de Preocupación Menor (LC), aunque para ambas especies se reconoce una tendencia poblacional decreciente (BirdLife, 2023).

A pesar de su gran tamaño y notoriedad, la detección de estos ejemplares en su entorno natural es difícil (Brown & Amadon, 1968; Rettig, 1978; Robinson, 1994). La limitada disponibilidad de datos precisos sobre su distribución y tamaño poblacional dificulta la toma de decisiones de conservación (Trejo, 2007; Lawler *et al.*, 2010). Además, la escasez de registros georreferenciados fiables en el Neotrópico, sumada a la falta de cobertura homogénea a escala subnacional, puede conducir a sobreestimaciones o subestimaciones de su rango real, complicando la identificación de áreas óptimas y la comprensión de sus requerimientos ambientales (Pearce & Boyce, 2006; Rodríguez *et al.*, 2007; Tobias *et al.*, 2013; Buechley *et al.*, 2019).

En la actualidad, los modelos de nicho ecológico (MNE) constituyen herramientas robustas para predecir la distribución potencial de especies, al integrar datos de ocurrencia con variables ambientales, principalmente bioclimáticas (Phillips *et al.*, 2006; Elith & Leathwick, 2009). Estos modelos permiten identificar las condiciones abióticas asociadas a la presencia de una especie y proyectar mapas de idoneidad que pueden guiar acciones de manejo y conservación, especialmente en áreas de difícil acceso (Navarro-Sigüenza & Peterson, 2007; Soberón & Nakamura, 2009; Anderson *et al.*, 2011).

Considerando los vacíos de información existentes y las dificultades de observación en campo, el presente estudio tuvo como objetivo determinar los rangos geográficos de mayor idoneidad ambiental de *H. harpyja* y *S. papa* en el departamento de Loreto, Perú. Este enfoque buscó generar información clave para identificar potenciales corredores ecológicos y gestionar hábitats prioritarios de conservación en la Amazonía peruana.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El departamento de Loreto se ubica en el noreste del Perú, entre las coordenadas aproximadas de 4°00'S y 74°19'0, con su capital en la ciudad de Iquitos. Esta región limita al norte con Ecuador y Colombia, al este con Brasil, al sur con Ucayali y Huánuco, y al oeste con San Martín y Amazonas. Loreto es la región más extensa del país, abarcando 368,852 km², lo que representa cerca del 28% del territorio nacional. Las precipitaciones superan los 2,500 mm anuales, favoreciendo la formación de bosques húmedos tropicales, pantanos, varillales y ecosistemas de várzea (Olson *et al.*, 2001).

Su relieve es predominantemente llano, atravesado por una vasta red hidrográfica que incluye los ríos Amazonas, Marañón, Ucayali, Napo y Tigre. Estos sistemas fluviales generan inundaciones estacionales que configuran dinámicas ecológicas complejas y altamente productivas. El clima es tropical húmedo, con temperaturas promedio de 25 °C y una humedad relativa elevada durante todo el año.

REGISTROS DE OCURRENCIA

Se obtuvieron de la Global Biodiversity Information Facility (GBIF; <http://www.gbif.org>), que integra datos de múltiples plataformas, entre ellas eBird (<https://ebird.org/home>), iNaturalist (<https://www.inaturalist.org>) y Global Raptor Impact Network (GRIN; <https://global-raptors.org/>).

La descarga se realizó empleando el paquete "rgbif" (Chamberlain *et al.*, 2022) en el entorno R (RStudio Team, 2024), filtrando únicamente registros con coordenadas geográficas validadas. Se obtuvieron inicialmente 3711 registros para *Harpia harpyja* y 63135 para *Sarcoramphus papa* en toda su distribución geográfica conocida.

Para reducir el sesgo espacial, se eliminaron duplicados considerando que el algoritmo Maxent utiliza una única ocurrencia por píxel de la cuadrícula ráster (Kramer *et al.*, 2013). Se aplicó la función "clean_dup" del paquete "hsd" (Naimi *et al.*, 2024), estableciendo distancias mínimas de 4 km para *H. harpyja* y 5 km para *S. papa*. Tras este filtrado, se conservaron 741 y 5639 registros, respectivamente.

El área de accesibilidad (M) se definió superponiendo los puntos de ocurrencia con la capa global de ecorregiones terrestres de The Nature Conservancy (TNC, 2024), seleccionando únicamente aquellas que contenían registros y asegurando la continuidad espacial del polígono resultante.

VARIABLES BIOCLIMÁTICAS

Las variables bioclimáticas se obtuvieron del portal Global Climate Data – WorldClim (<http://www.worldclim.org/>), que proporciona 19 predictores derivados de valores mensuales y anuales de temperatura y precipitación a escala global, excluyendo la Antártida (Hijmans *et al.*, 2005). Los datos se descargaron en formato ráster con una resolución espacial de 30 segundos de arco (~1 km × 1 km, equivalente a aproximadamente 1 km²).

Siguiendo las recomendaciones de Peterson y Soberón (2012), se evitó emplear más de diez variables o un número mayor que los puntos de ocurrencia disponibles. Los 19 predictores fueron recortados con el polígono definido para el área de accesibilidad (M) de cada especie. Posteriormente, se elaboró una matriz de correlación de Pearson, descartando variables con alta colinealidad ($r < 0,8$).

Como resultado, se definieron dos conjuntos de variables para cada especie. Para *Harpia harpyja*: Set 1: BIO1, BIO7, BIO12, BIO14; Set 2: BIO1, BIO2, BIO3, BIO12, BIO14. Para *Sarcoramphus papa*: Set 1: BIO1, BIO7, BIO12, BIO14, BIO17; Set 2: BIO1, BIO2, BIO3, BIO12, BIO14, BIO17.

La selección final de variables empleadas en los modelos se presenta en la Tabla 1.

MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES

El modelado de nicho ecológico y la estimación de la idoneidad ambiental se llevaron a cabo utilizando el paquete "kuenm" (Cobos *et al.*, 2019) en el entorno R (RStudio; RStudio Team, 2024), empleando Maxent como algoritmo de modelado (Phillips *et al.*, 2006).

Para cada especie, se consideraron los dos conjuntos de variables ambientales definidos y los registros de ocurrencia fueron particionados aleatoriamente, asignando el 80% para entrenamiento y el 20% para validación. Se

generaron 196 modelos candidatos por especie, combinando 14 valores de multiplicadores de regularización con 7 configuraciones de tres clases de características (l = lineal, q = cuadrática, p = producto). Cada modelo se replicó 10 veces mediante validación bootstrap, estableciendo un máximo de 500 iteraciones y utilizando 10 000 puntos de fondo para la calibración.

La salida de los modelos se configuró en formato logístico, produciendo valores continuos de idoneidad ambiental entre 0 (mínima) y 1 (máxima). Para derivar los mapas finales de distribución potencial, se aplicó el umbral 10 percentile training presence basado en el Cloglog threshold, transformando la salida continua en un formato binario que clasifica cada píxel como 0 (ausencia) o 1 (presencia).

EVALUACIÓN DEL MODELO

Los modelos candidatos fueron evaluados y seleccionados mediante el procedimiento de calibración implementado en el paquete "kuenm" (Cobos *et al.*, 2019) en R (RStudio; RStudio Team, 2024). El desempeño de cada modelo se valoró con base en tres criterios: significancia estadística mediante curvas ROC parciales, tasa de omisión (OR) y el Criterio de Información de Akaike corregido para muestras pequeñas (AICc).

Bajo el criterio de selección OR_AICc, se priorizaron los modelos estadísticamente

Tabla 1. Variables bioclimáticas utilizadas como predictores del modelo final.

Nº variable	Variables	Unidades	Fuente
BIO 1	Temperatura media anual	°C	Worldclim
BIO 2	Rango medio de temperatura diurna	°C	Worldclim
BIO 3	Isotermalidad	%	Worldclim
BIO 7	Rango anual de temperatura	°C	Worldclim
BIO 12	Precipitación anual	mm	Worldclim
BIO 14	Precipitación del mes más seco	mm	Worldclim
BIO 17	Precipitación del trimestre más seco	mm	Worldclim

significativos, con tasas de omisión inferiores a un umbral predefinido (E), y dentro de este subconjunto, aquellos con los valores más bajos de AICc. En este proceso, los valores de ΔAICc se recalcularon exclusivamente entre los modelos que cumplían simultáneamente con los criterios de significancia y tasa de omisión, garantizando así la comparación únicamente entre modelos con ajuste robusto y parsimoniosos.

RESULTADOS

RANGOS GEOGRÁFICOS E IDONEIDAD AMBIENTAL DE *Harpia harpyja*

El modelo seleccionado mediante los criterios predefinidos para el "águila harpía" fue de un multiplicador de regularización de 0.5, con una combinación de clases características de "lqp" (0.5 lqp). Las métricas AUC tuvieron un promedio elevado ($\text{AUC}_{\text{train}} = 0.754$, $\text{AUC}_{\text{test}} = 0.739$), una tasa de omisión ($\text{MTP} = 0.05$), el valor AICc de 23848,57 ($\Delta\text{AICc} = 0$) y un valor de 0 para el análisis pROC.

MODELO DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL

Se identificó un área continua de mayor aptitud abiótica al norte y este del departamento de Loreto, entre las provincias colindantes de Putumayo, Mariscal Ramón Castilla y Maynas, a diferencia del extremo inferior de la región, con una predicción irregular, con aptitudes ambientales bajas y mínima para Datem del Marañón, Alto Amazonas y Ucayali, siendo este último la que obtuvo valores óptimos en pequeños parches con zonas de media y alta idoneidad abiótica para la especie, ubicados en el límite con el departamento de Ucayali (Figura 1). Mediante la reclasificación del modelo continuo, utilizando como umbral el 10 TP Cloglog threshold (0.28) que permitió generar el modelo binario (presencia y ausencia),

para la proyección distribución potencial de la especie, se obtuvo una estimación del tamaño del rango geográfico de 355565.75 km², abarcando en su totalidad todas las provincias del departamento de Loreto, a excepción del Datem del Marañón y Alto Amazonas con unas mínimas fracciones discontinuas de ausencia, siendo la provincia del Ucayali la que presenta una menor área para la distribución potencial de la especie. Así mismo, se estimó un total de 19383.75 km² donde la distribución del "águila harpía" podría ser ambientalmente no óptima (Figura 2).

PREDICTORES AMBIENTALES

De las 5 variables bioclimáticas seleccionadas en la construcción del modelo final, a partir de la estimación de parámetros, era más probable que el "águila harpía" se viera asociado al rango medio de temperatura diurna y a la precipitación anual. En general 3 predictores contribuyeron con el 91 % a la predicción del modelo, el intervalo medio diurno (BIO2) fue el porcentaje más alto con 73.1 % de contribución al modelo, seguido de la precipitación anual (BIO12) con 10.8 % y la temperatura media anual (BIO1) con 7.1 % (Tabla 2).

RANGOS GEOGRÁFICOS E IDONEIDAD AMBIENTAL DE *Sarcoramphus papa*

El modelo que mejor se ajustó convenientemente a los criterios predefinidos para el "gallinazo rey" fue de un multiplicador de regularización de 0.1, con una combinación de clases características de "lqp" (0.1 lqp). Las métricas AUC tuvieron un promedio elevado ($\text{AUC}_{\text{train}} = 0.600$, $\text{AUC}_{\text{test}} = 0.57$), una tasa de omisión ($\text{MTP} = 0.05$), el valor AICc de 187229.76 ($\Delta\text{AICc} = 0$) y un valor de 0 para el análisis pROC.

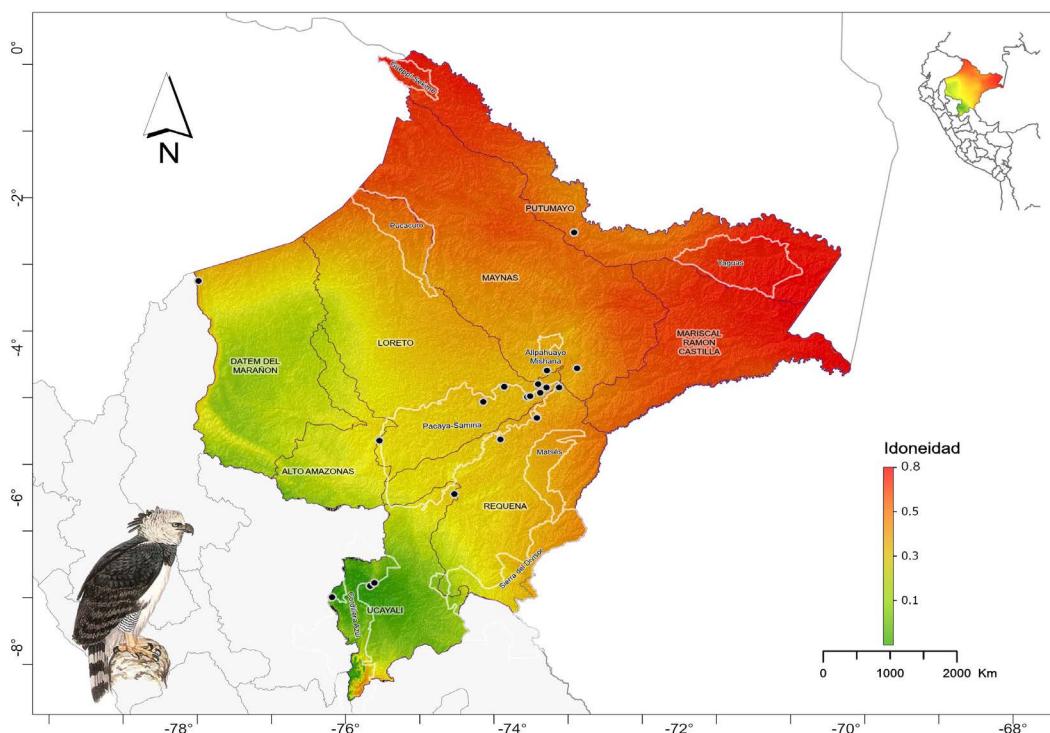


Figura 1. Distribución actual inferida para el *H. harpyja* con valores más cercanos a 1 (rojo) que tienen la idoneidad ambiental más alta. Líneas blancas: reservas nacionales. Puntos negros: ocurrencias de *H. harpyja*.

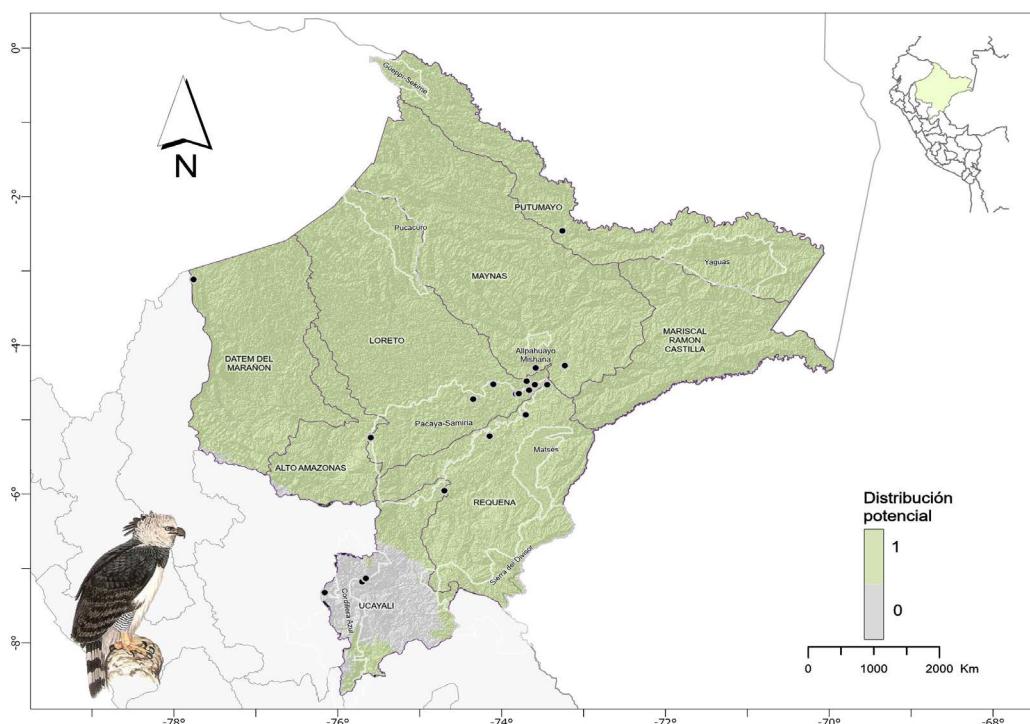


Figura 2. Distribución potencial pronosticado (rango binario reclasificado) del *H. harpyja* usando el umbral (10TP=0.28). El área verde es el espacio ambiental adecuado (1= presencia) por encima del umbral de 10TP, las áreas grises no son adecuadas (0= ausencia). Líneas blancas: reservas nacionales. Puntos negros: ocurrencias de *H. harpyja*.

Tabla 2. Porcentaje de contribución e importancia de permutación de las variables bioclimáticas expresados en %.

Espezie	Nº variable	% de contribución	Importancia de la permutación
<i>H. harpyja</i>	BIO 1	73.1	51.1
	BIO 2	10.8	29.5
	BIO 3	7.1	9.7
	BIO 12	4.7	3.6
	BIO 14	4.2	6.1
<i>S. papa</i>	BIO 1	53.9	41.7
	BIO 7	20.2	27.4
	BIO 12	13	10.6
	BIO 14	11.8	16.2
	BIO 17	1.2	4.1

MODELO DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL

Se obtuvo una predicción de áreas discontinuas y pequeños parches con mayores aptitudes ambientales, al norte, sudeste, sur y sudoeste del departamento de Loreto, siendo las provincias de Requena y Mariscal Ramón Castilla que albergan áreas continuas y más extensa abióticamente para su ocurrencia. Así mismo, se infiere que la mayor parte del departamento y todas las provincias en cierta medida tienen condiciones ambientales estables (50 a 75%) para que la especie se encuentre presente, mientras que una extensión continua que parte desde los límites, de la provincia de Loreto y Maynas hacia el noreste de Putumayo, se estima una franja con una idoneidad climática mínima de probabilidad (25%) para que la especie esté presente en esas zonas (Figura 3). Utilizando un umbral de presencia de entrenamiento del 10% (10TP = 0.50). Se estimó un tamaño del rango geográfico de 289139.51 km² que comprende todas las provincias, así mismo esta se encuentra fragmentada, por una franja que se extiende desde el oeste del Datem del Marañón hacia el este del Putumayo, con un

aproximado de 85815.17 km² en la cual la idoneidad ambiental del "gallinazo rey" podría ser menor en el departamento de Loreto (Figura 4).

PREDICTORES AMBIENTALES

La distribución geográfica del "gallinazo rey" se encuentra asociado principalmente a la temperatura media anual y al rango anual de temperatura. En general 4 predictores contribuyeron con el 98.9 % a la predicción del modelo. La temperatura media anual (BIO1) aportó el porcentaje más alto con 53.9 %, el rango anual de temperatura (BIO7) con 20.2 %, la precipitación anual (BIO12) 13% y la precipitación del mes más seco (BIO14) con 11.8% (Tabla 2).

DISCUSIÓN

Este estudio constituye el primer esfuerzo en delimitar rangos óptimos de distribución geográfica e idoneidad ambiental para *Harpia harpyja* y *Sarcoramphus papa* dentro de los límites políticos del departamento de Loreto, Perú. A diferencia de evaluaciones previas que modelaron su distribución a escala continental, abarcando extensas áreas de alta idoneidad principalmente en Brasil, el este de Perú y el norte de Bolivia (Miranda *et al.*, 2019; Sutton *et al.*, 2021, 2022; Monroy-Ojeda, 2022), nuestro enfoque emplea una escala espacial más fina y focalizada, permitiendo identificar zonas de alta prioridad para la conservación. Varias de estas áreas coinciden con regiones amenazadas por la expansión del "arco de deforestación" (Miranda *et al.*, 2019), lo que representa un riesgo crítico para ambas especies, cuya distribución geográfica en la región presenta una superposición considerable (Monroy-Ojeda, 2022).

Para *H. harpyja*, estimamos un rango de distribución geográfica de 355565,75 km² en Loreto, cubriendo la mayoría de sus provincias

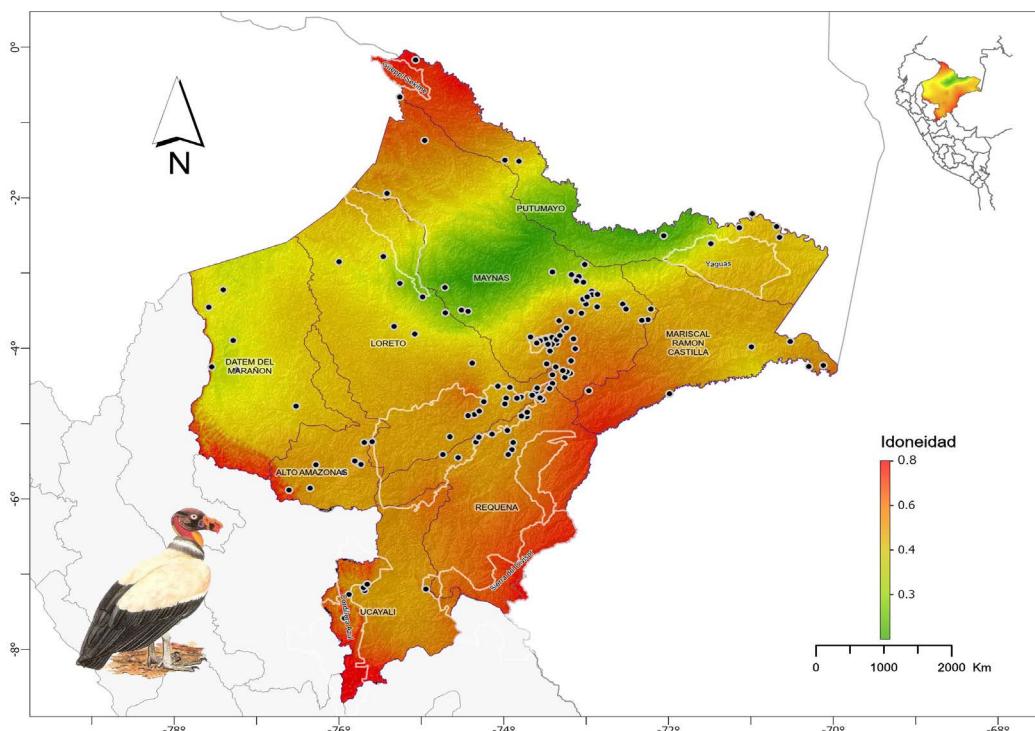


Figura 3. Distribución actual inferida para el *S. papa* con valores más cercanos a 1 (rojo) que tienen la idoneidad ambiental más alta. Líneas blancas: reservas nacionales. Puntos negros: ocurrencias de *S. papa*.

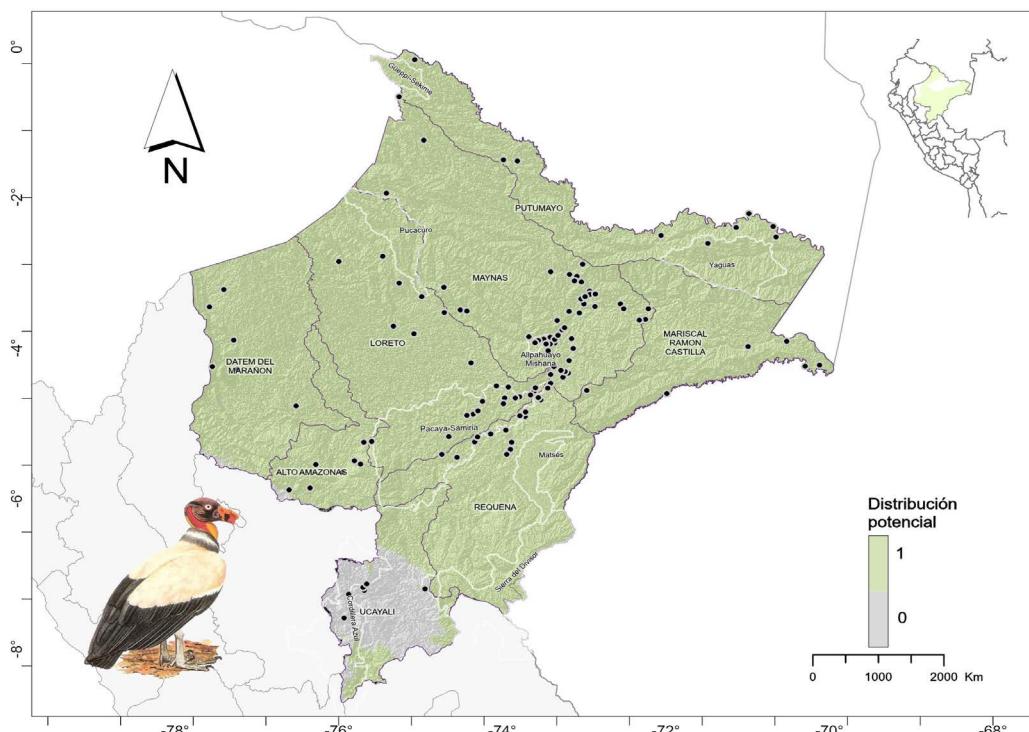


Figura 4. Distribución potencial pronosticado (rango binario reclasificado) del *S. papa* usando el umbral (10TP=0.28). El área verde es el espacio ambiental adecuado (1= presencia) por encima del umbral de 10TP, las áreas grises no son adecuadas (0= ausencia). Líneas blancas: reservas nacionales. Puntos negros: ocurrencias de *S. papa*.

y coincidiendo con la preferencia de la especie por zonas bajas del este peruano (Vargas *et al.*, 2006; Piana, 2018; Miranda *et al.*, 2019). En contraste, *S. papa* presentó un rango estimado de 289139,51 km², con una distribución potencial fragmentada que se extiende desde el oeste del Datem del Marañón hasta el este del Putumayo.

La ecología espacial de ambas especies influye en las implicaciones de conservación. *S. papa* posee una alta capacidad de desplazamiento, lo que le permite recorrer grandes distancias en busca de hábitats idóneos, favoreciendo la conectividad poblacional incluso en paisajes parcialmente fragmentados (Monroy-Ojeda, 2022). Por el contrario, *H. harpyja* presenta una mayor dependencia de la conectividad entre fragmentos de bosque primario, ya que evita áreas abiertas y permanece en el dosel, lo que limita su movilidad en hábitats alterados (Vargas *et al.*, 2006). Si bien existen registros de reproducción en bosques secundarios y aprovechamiento de presas tolerantes a la perturbación, estos casos dependen de la disponibilidad de árboles de anidación y de la ausencia de cacería (Bowler *et al.*, 2020).

Reconocemos que los modelos presentados tienen limitaciones inherentes, principalmente asociadas a la resolución de los datos y al uso exclusivo de variables bioclimáticas. Una aproximación más robusta podría incorporar covariables adicionales, como índices de vegetación (NDVI, biomasa), altura de dosel, distancia a ríos, carreteras y centros poblados, lo que permitiría una caracterización más precisa del hábitat (Monroy-Ojeda, 2022). No obstante, los resultados obtenidos representan una referencia valiosa para la identificación de áreas prioritarias y la estimación de la extensión de rangos de distribución a escala departamental.

Los análisis indican que la idoneidad de *H. harpyja* está asociada principalmente al rango medio de temperatura diurna y a la precipitación anual, mientras que en *S. papa* las variables más

influyentes fueron la temperatura media anual y el rango anual de temperatura. La alteración de estas condiciones, acelerada por la deforestación y el cambio climático (Banhos *et al.*, 2016; Miranda *et al.*, 2019), podría provocar extinciones locales. Dado que ambas especies requieren grandes extensiones continuas de bosque tropical de tierras bajas para su reproducción y alimentación (Vargas *et al.*, 2014; Miranda, 2015), la conectividad entre fragmentos es esencial para mantener la diversidad genética y la integridad de sus hábitats.

Al comparar la distribución de nicho de diversas especies de aves amazónicas, se aprecia un marcado contraste en la especialización y tolerancia a la fragmentación. El *Morphnus guianensis* "águila crestada", por ejemplo, presenta rangos de distribución restringidos y una fuerte asociación a bosques primarios, con extensiones estimadas cercanas a 150,000km² en la región amazónica peruana. Esta especie es altamente sensible a la apertura del dosel y a la proximidad de cuerpos de agua, factores que limitan su presencia en paisajes fragmentados y reflejan su dependencia de hábitats continuos y poco alterados (Brehm *et al.*, 2019; Whitacre *et al.*, 2012; Trail, 1987). Además, estudios recientes sugieren que la baja densidad poblacional y la escasez de información bioecológica dificultan la evaluación precisa de su estado de amenaza en diversas regiones de Sudamérica (Vargas-González *et al.*, 2016).

Otros trabajos han abordado el nicho ecológico de especies emblemáticas como el *Amazona ochrocephala* "loro de corona amarilla", destacando su capacidad de adaptarse a paisajes transformados e identificando factores como la minería informal y la expansión urbana como amenazas crecientes (Mallqui & Miraval, 2024). Estas comparaciones evidencian que la persistencia y resiliencia de las grandes aves amazónicas ante disturbios antropogénicos dependen de su grado de especialización y de la conectividad

funcional de los hábitats, lo que subraya la necesidad de estrategias de conservación diferenciadas y ajustadas a las características ecológicas de cada especie.

En contraste, el *Ramphastos toco* "tucán toco" exhibe una mayor tolerancia a la alteración y fragmentación de hábitats, ocupando rangos que superan los 400,000km² en la Amazonía. Esta plasticidad se traduce en una mayor capacidad para colonizar áreas de bosque secundario, sabanas e incluso paisajes agrícolas, beneficiándose de la heterogeneidad ambiental y la abundancia de recursos tróficos variables (Barlow *et al.*, 2006; Guix *et al.*, 2021). La función ecológica de los ranfástidos como dispersores de semillas resulta esencial en la conectividad de ecosistemas fragmentados, favoreciendo la regeneración de los hábitats y la persistencia de comunidades vegetales (Guix *et al.*, 2021).

La conservación de *Harpia harpyja* y *Sarcoramphus papa*, en virtud de su función como especies paraguas, no solo garantiza la persistencia de estos grandes rapaces, sino que también promueve la protección de amplias extensiones de hábitat amazónico y de las comunidades biológicas que albergan (Terborgh & Estes, 2013; Miranda *et al.*, 2022). Su presencia está asociada a ecosistemas bien conservados, lo que las convierte en indicadores ecológicos de integridad ambiental y en piezas clave dentro de las estrategias de conservación tanto regionales como nacionales.

En el contexto de Loreto, los modelos de distribución potencial revelan zonas de alta probabilidad de ocurrencia para ambas especies, muchas de las cuales coinciden con áreas naturales protegidas como la Parque Nacional Yaguas, el Parque Nacional Gueppí-Sekime y Sierra del Divisor. Esta coincidencia sugiere que dichas áreas cumplen un rol crucial en la conservación de estas especies, aunque también se identifican núcleos de alta idoneidad fuera de

los límites actuales de protección. Por tanto, se recomienda fortalecer la conectividad ecológica entre áreas protegidas y considerar la expansión o creación de nuevas unidades de conservación en zonas prioritarias, especialmente aquellas que presentan condiciones óptimas de hábitat según los modelos ecológicos. Esta aproximación permitiría maximizar el impacto de las acciones de conservación, integrando criterios de biodiversidad focal con planificación territorial basada en evidencia.

CONCLUSIÓN

El presente estudio identificó y delimitó las áreas de mayor idoneidad climática para *Harpia harpyja* y *Sarcoramphus papa* dentro del departamento de Loreto, Perú, aportando información clave para su gestión y conservación a escala regional. En *H. harpyja*, las zonas óptimas mostraron una distribución continua principalmente en el norte y este del departamento, abarcando las provincias de Putumayo, Mariscal Ramón Castilla y Maynas, así como pequeños parches en Ucayali, en el límite con la región homónima. En contraste, *S. papa* presentó áreas de alta aptitud ambiental más fragmentadas, localizadas en el norte, sudeste, sur y sudoeste, con una concentración continua en las provincias de Requena y Mariscal Ramón Castilla. Las estimaciones de rango de distribución potencial indican que *H. harpyja* ocupa aproximadamente 355565,75 km², cubriendo la totalidad de las provincias de Loreto, mientras que *S. papa* presenta una extensión aproximada de 289 139,51 km², caracterizada por una mayor fragmentación espacial. En términos de variables ambientales, *H. harpyja* estuvo principalmente asociada al rango medio de temperatura diurna y a la precipitación anual, mientras que *S. papa* se vinculó a la temperatura media anual y al rango anual de temperatura.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Vicerrectorado de Investigación de la UNAP y a la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias Biológicas - UNAP. A Ian Medina por las recomendaciones para una mejor visualización de los mapas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, R.P.; Martínez-Meyer, E.; Nakamura, M.; Araújo, M. B.; Peterson, A. T.; Soberón, J.; Pearson, R.G. 2011. *Ecological niches and geographic distributions* (MPB-49). Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Barlow, J., Louzada, J., Parry, L., Hernández, M.I.M., Hawes, J., Peres, C.A. et al. 2006. Impacts of forest fragmentation on Amazonian biodiversity. *Conservation Biology*, 20(3), 874-885. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00306.x>
- Banhos, A.; Hrbek, T.; Sanaiotti, T.M.; Farias, I.P. 2016. Reduction of genetic diversity of the Harpy Eagle in Brazilian tropical forests. *PloS one*, 11(2): e0148902. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148902>
- Bierregaard Jr.R.O. 1998. Conservation Status of Birds of Prey in the South American Tropics. *Journal of Raptor Research*, 32(1): 3.
- BirdLife. 2024. Zopilote Rey (*Sarcoramphus papa*) - Ficha técnica de especies de BirdLife s. f. (<https://datazone.birdlife.org/species/factsheet/king-vulture-Sarcoramphus-papa>) Acceso: 9/2/2024
- Blanco Márquez, P.A.; Chacares, B. 2019. El águila harpía (*Harpia harpyja*): Especie centinela de primates en la Reserva Forestal de Imataca. En: Urbani, B.; Ceballos-Mago, N. (eds.) *La primatología en Venezuela*. Tomo II. Caracas: Editorial Equinoccio (Colección Conjunta ACFIMAN/USB). pp. 145-170.
- Bowler, M.; Couceiro, D.; Martinez, R.; Orihuela, G.; Shoobridge, J.D.; Nycander, E.; de Miranda, E.B.; Tobler, M.W. 2020. Harpy eagles (*Harpia harpyja*) nesting at Refugio Amazonas, Tambopata, Peru feed on abundant disturbance-tolerant species. *Food Webs*, 24: e00154. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fooweb.2020.e00154>
- Brown, L.; Amadon, D. 1968. *Eagles, hawks and falcons of the world*. Country Life Books London, New York.
- Buechley, E.R.; Santangeli, A.; Girardello, M.; Neate-Clegg, M.H.; Oleyar, D.; McClure, C.J.; Şekercioğlu, Ç.H. 2019. Global raptor research and conservation priorities: Tropical raptors fall prey to knowledge gaps. *Diversity and Distributions*, 25(6): 856-869. DOI: <https://doi.org/10.1111/ddi.12901>
- Burton, A.M. 2006. *Neotropical eagles as biological indicators in the tropical forests of south-eastern Mexico*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste/Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). México, DF, p. 59-70.
- Chase, J.M.; Leibold, M.A. 2009. *Ecological niches: linking classical and contemporary approaches*. University of Chicago Press, Chicago.
- Chamberlain, S.; Oldoni, D.; Waller, J. 2022. *rgbif: Interface to the Global Biodiversity Information Facility API*. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6023735>
- Cobos, M.E.; Peterson, A.T.; Barve, N.; Osorio-Olvera, L. 2019. *kuenm*: an R package for detailed development of ecological niche models using Maxent. *PeerJ*, 7:e6281. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.6281>
- Collar, N.J. 1989. *Harpy eagle*. World Birdswatch, 11(3): 5.
- De la Maza, J.; De la Maza, R. 2010. Las áreas naturales protegidas. En: Carabias, J.; Sarukhán, J.; De la Maza, J.; Galindo, C. 2010. *Patrimonio natural de México. Cien casos de éxito*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. p. 12-13.

- Dobrovolski, R.; Loyola, R.D.; Guilhaumon, F.; Gouveia, S.F.; Diniz-Filho, J.A.F. 2013. Global agricultural expansion and carnivore conservation biogeography. *Biological Conservation*, 165: 162-170. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.06.004>
- Elith, J.; Leathwick, J.R. 2009. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 40: 677-697. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159>
- Gibert, I.S.; Monroy, O.A. 2015. *Programa de Conservación de Especies en Riesgo, Un llamado a la conservación*. SEMARNAT/CONANP (1a. Ed.) México.
- Guix, J.C. 2021. *Interacciones mutualistas VI. Paisajes en mosaico y corredores ecológicos*. Publicacions del Centre de Recursos de Biodiversitat Animal. Universitat de Barcelona, Volum 12, 34pp.
- Hijmans, R.J.; Cameron, S.E.; Parra, J.L.; Jones, P.G.; Jarvis, A. 2005. Very high-resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 25(15): 1965-1978. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- Hull, K.; Fergus, R. 2009. Eagles in Mesoamerican Thought and Mythology. *Reitaku Review*, 15: 83-134.
- Ibañez Olivera, L.M.; Iannacone Olivers, J. 2011. Bioecología y estado de conservación del Condor de Selva *Sarcoramphus papa* Linnaeus, 1758 (Cathartiformes: Cathartidae): revisión a nivel de sudamérica. *Biotiempo*, 11: 17-35. DOI: <https://doi.org/10.31381/biotempo.v11i0.732>
- IUCN. 2023. *Sarcoramphus papa*. The IUCN Red List of Threatened Species. 2023-1. <https://www.iucnredlist.org>
- IUCN. 2023. *Harpia harpyja*. The IUCN Red List of Threatened Species. 2023-1. <https://www.iucnredlist.org>
- Kramer-Schadt, S.; Niedballa, J.; Peregrino, J.D.; Schröder, B.; Lindenborn, J.; Reinfelder, V.; Stillfried M.; Heckmann I.; Scharf A.K.; Augeri D.M.; Cheyne S.; Hearn A.J.; Ross J.; Macdonald, D.W.; Mathai J.; Eaton J.; Marshall A.; Semlodi G.; Rustam R.; Bernardo H.; Raymond A.; Samejima H.; Duckworth J.W.; Breitenmoser-Wursten C.; Belant J.L.; Hofer H.; Wilting A. 2013. The importance of correcting for sampling bias in MaxEnt species distribution models. *Diversity and distributions*, 19(11), 1366-1379. DOI: <https://doi.org/10.1111/ddi.12096>
- Lawler, J.J.; Wiersma, Y.F.; Huettmann, F. 2010. Using species distribution models for conservation planning and ecological forecasting. En: Drew, C.; Wiersma, Y.; Huettmann, F. (eds.). *Predictive species and habitat modeling in landscape ecology*. Springer, New York, NY. Pp. 271-290. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7390-0_14
- Mallqui, R.; Miraval, E. 2024. *Entre la selva y la ciudad: una mirada profunda al hábitat y nicho ecológico del loro real amazónico*. MAPBiomas Perú. 19pp.
- Miranda, E.B.P. 2015. Conservation implications of harpy eagle *Harpia harpyja* predation patterns. *Endangered Species Research*, 29(1): 69-79. DOI: <https://doi.org/10.3354/esr00700>
- Miranda, E.B.P.; Menezes, J.F.S.; Farias, C.C.L.; Munn, C.; Peres, C.A. 2019. Species distribution modeling reveals strongholds and potential reintroduction areas for the world's largest eagle. *PloS one*, 14(5): e0216323. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216323>
- Miranda, E.B.P.; Peres, C.A.; Marini, M.Á.; Downs, C.T. 2020. Harpy Eagle (*Harpia harpyja*) nest tree selection: Selective logging in Amazon

- Forest threatens Earth's largest eagle. *Biological Conservation*, 250: 108754. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108754>
- Miranda, E.B.P.; Peres, C.A.; Downs, C.T. 2022. Landowner perceptions of livestock predation: implications for persecution of an Amazonian apex predator. *Animal Conservation*, 25(1): 110-124. DOI: <https://doi.org/10.1111/acv.12727>
- Monroy-Ojeda, A. 2022. *Análisis espacial de la distribución del zopilote rey (Sarcoramphus papa) e identificación de áreas potenciales para la anidación del águila harpía (Harpia harpyja)*. Tesis de post-grado, Universidad Veracruzana, Centro de Investigaciones Tropicales, Xalapa, Veracruz, México. 129pp.
- Navarro-Sigüenza, A.G.; Peterson, A.T. 2007. *Mapas de las aves de México basados en WWW*. Informe final SNIB-Conabio proyecto No. CE015. México DF.
- Naimi, B.; Skidmore, A.K.; Groen, T.A.; Hamm, N.A.S. 2024. *His: Habitat Suitability Index (Versión 4.4.0) Paquete de software*. Disponible en: <https://CRAN.R-project.org/package=hs>
- Nygren, A. 1998. Struggle over meanings: Reconstruction of indigenous mythology, cultural identity, and social representation. *Ethnohistory*, 45: 31-63. DOI: <https://doi.org/10.2307/483171>
- Olson D.M., Dinerstein E., Wikramanayake E.D., et al. 2001. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth. *BioScience* 51(11):933-938.
- Pearce, J.L.; Boyce, M. S. 2006. Modelling distribution and abundance with presence-only data. *Journal of applied ecology*, 43(3): 405-412. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01112.x>
- Peterson, A.T.; Soberón, J. 2012. Species distribution modeling and ecological niche modeling: getting the concepts right. *Natureza & Conservação*, 10(2): 102-107. DOI: [10.4322/natcon.2012.019](https://doi.org/10.4322/natcon.2012.019)
- Phillips, S.J.; Anderson, R.P.; Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190(3-4): 231-259. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Piana, R.P. 2018. Threatened diurnal raptors species in Peru: are existing strictly protected areas enough for their conservation? *Boletín UNOP*, 13(1): 27-36.
- Rettig, N.L. 1978. Breeding behavior of the harpy eagle (*Harpia harpyja*). *The Auk*, 95(4): 629-643.
- Rivera-Rivera, E.; Enríquez, P.L.; Flamenco-Sandoval, A.; Rangel-Salazar, J.L. 2012. Ocupación y abundancia de aves rapaces nocturnas (Strigidae) en la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote, Chiapas, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 83(3): 742-752. DOI: <https://doi.org/10.7550/rmb.21364>.
- Robinson, S.K. 1994. Habitat selection and foraging ecology of raptors in Amazonian Peru. *Biotropica*, 26(4): 443-458. DOI: <https://doi.org/10.2307/2389239>
- Rodríguez, J.P.; Brotons, L.; Bustamante, J.; Seoane, J. 2007. The application of predictive modelling of species distribution to biodiversity conservation. *Diversity and Distributions*, 13(3): 243-251.
- RStudio Team. 2024. *RStudio: Integrated Development for R (Versión 4.4.0)*. RStudio, PBC. (<https://www.rstudio.com/>)
- Sault, N. 2016. How hummingbird and vulture mediate between life and death in Latin America. *Journal of Ethnobiology*, 36(4): 783-806. DOI: [10.2993/0278-0771-36.4.783](https://doi.org/10.2993/0278-0771-36.4.783)
- Schulenberg, T.S. 2020. *Harpy Eagle (Harpia harpyja), version 1.0*. *Birds of the World* (TS Schulenberg, Editor). Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA. <https://doi.org/10.2173/bow>.
- Scott, J.M.; Heglund, P.J.; Morrison, M.L.; Haufler, J.B.; Raphael, M.G.; Wall, W.A.; Samson, F.B.

2002. *Predicting Species Occurrences: Issues of Accuracy and Scale*. Island Press, Washington, DC, USA.
- Soberón, J.; Nakamura, M. 2009. Niches and distributional areas: concepts, methods, and assumptions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106 (supplement_2): 19644-19650. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.090163710>
- Sutton, L.J.; Anderson, D.L.; Franco, M.; McClure, C.J.; Miranda, E.B.; Vargas, F.H.; Vargas Gonzalez, J. de J.; Puschendorf, R. 2021. Geographic range estimates and environmental requirements for the harpy eagle derived from spatial models of current and past distribution. *Ecology and Evolution*, 11(1): 481-497. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.7068>
- Sutton, L.J.; Anderson, D.L.; Franco, M.; McClure, C.J.; Miranda, E.B.; Vargas, F.H.; Vargas González, J. de J.; Puschendorf, R. 2022. Range-wide habitat use of the Harpy Eagle indicates four major tropical forest gaps in the Key Biodiversity Area network. *Ornithological Applications*, 124(3): duac019. DOI: <https://doi.org/10.1093/ornithapp/duac019>
- Terborgh, J.; Estes, J.A. 2010. *Trophic cascades: predators, prey, and the changing dynamics of nature*. Island press. Washington, D.C., USA.
- Terborgh, J.; Lopez, L.; Nuñez, P.; Rao, M.; Shahabuddin, G.; Orihuela, G.; Riveros, M.; Ascanio, R.; Adler, G.H.; Lambert, T.D. 2001. Ecological meltdown in predator-free forest fragments. *Science*, 294(5548): 1923-1926. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1064397>
- Trail, P.W. 1987. Predation by *Morphnus guianensis* on primates and birds in Amazonian forests. *Neotropical Raptor Network Newsletter*, 9, 11-13.
- The Nature Conservancy. 2024. *Protecting nature and preserving life*. (<https://www.nature.org/en-us/>)
- Tobias, J.A.; Şekercioğlu, Ç.H.; Vargas, F.H. 2013. Bird conservation in tropical ecosystems: challenges and opportunities. *Key topics in conservation biology* 2, 258-276. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118520178.ch15>
- Trejo, A. 2007. Identificación de especies y áreas prioritarias para el estudio de la reproducción de aves rapaces de Argentina. *El hornero*, 22(2): 85-96. DOI: <https://doi.org/10.56178/eh.v22i2.755>
- Vargas González, J. de J.; Vargas, F.H.; Carpio, D.; McClure, C.J.W. 2014. Características de la vegetación en sitios de anidación del águila arpía (*Harpia harpyja*) en Darién, Panamá. *Ornitología Neotropical*, 25: 207-218. DOI: https://digitalcommons.usf.edu/ornitologia_neotropical/vol25/iss2/8
- Vargas, J.; Whitacre, D.; Mosquera, R.; Albuquerque, J.; Piana, R.; Thiollay, J.M.; Márquez, C.; Sánchez, J.E.; Lezama-López, M.; Midence, S. 2006. Estado y distribución actual del águila arpía (*Harpia harpyja*) en Centro y Sur América. *Ornitología Neotropical*, 17(1): 39-55.
- Vargas-González, J.J., et al. (2016). Primer registro de Águila Crestada *Morphnus guianensis* en los llanos occidentales de Venezuela. *Cotinga*, 32, 160-161.
- Woodroffe, R. 2000. Predators and people: using human densities to interpret declines of large carnivores. *Animal conservation*, 3(2): 165-173. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2000.tb00241.x>
- Whitacre, D.F., et al. 2012. *Morphnus guianensis* (Crested Eagle) ecology and behavior in Neotropical forests. *Raptors of the World*, 256-259.

Recibido: XX de xx de 202x Aceptado para publicación: XX de xx de 2025