



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
ESCUELA DE POSGRADOS

Modelación del espacio ambiental conveniente para el Cóndor
Andino al sur del Ecuador

Trabajo previo a la obtención del título de:
MAGISTER EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES CON
MENCIÓN EN ECOLOGÍA Y BIODIVERSIDAD

Nombre del autor:

Juan José Vélez Peña

Nombre del Director:

Pedro Xavier Astudillo Webster

Cuenca - Ecuador

2026

Agradecimientos

Agradezco a Pedro Astudillo Webster, director de este proyecto, por su orientación y retroalimentación durante todo el desarrollo de este trabajo académico. Asimismo, agradezco a los miembros de mi tribunal, Santiago Barros y David Siddons, su apoyo y comentarios en cada etapa de la elaboración y revisión del borrador principal. De manera especial, agradezco a Andrés Barnuevo por su asistencia en el campo durante los recorridos de observación.

Finalmente, agradezco a mis padres y amigos, quienes fueron mi fuente de motivación durante este proceso.

Este trabajo fue financiado por la Universidad del Azuay y el programa de Maestría en Recursos Naturales, bajo los fondos del Vicerrectorado de Investigaciones (REF: 2023-0176).

Índice General

RESUMEN	vii
Introducción	1
Métodos	3
Área de estudio.....	3
Datos de ocurrencia	5
Variables ambientales	6
Variables climáticas.....	6
Variables topográficas.....	6
Variables de hábitat	6
Variables de interacciones bióticas favorables.....	7
Modelización	8
Análisis factorial del nicho ecológico (ENFA).	9
Análisis factorial de las distancias de Mahalanobis (MADIFA).	11
Generación del mapa de idoneidad	13
Resultados	14
Marginalidad y especialización	15
Hábitat idóneo	15
Mapa de idoneidad	16
Discusiones	17
Estructura de nicho	18
Sensibilidad a la variación ambiental	19
Implicaciones para la conservación	21
Referencias	22
MATERIAL SUPLEMENTARIO	32

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa del área de estudio y los principales tipos de cobertura de vegetación y ocurrencias del Cóndor Andino al sur de Ecuador. Los polígonos rojos representan el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) que incluyen el Parque Nacional Sangay (PNS), el Parque Nacional Cajas (PNC) y el Área Nacional de Recreación Quimsacocha (ARNQ).5

Figura 2. Distribución de las variables ambientales usadas en el modelamiento con el análisis factorial de nicho ecológico (ENFA) y el análisis factorial de las distancias de Mahalanobis (MADIFA) para el Cóndor Andino, sur de Ecuador. El sombreado varía de claro (valores menores) a oscuro (valores mayores). Los códigos corresponden a: Temperatura media del rango diurno (BIO2), isothermalidad (BIO3), coeficiente de variación de la precipitación (BIO15), distribución potencial (vía MaxEnt) del Caracara Carunculado (PHCA) (véase métodos).8

Figura 3. Representación gráfica del análisis factorial del nicho ecológico (ENFA) para el Cóndor Andino, sur de Ecuador. El grafico de barras insertado representa las cargas vectoriales asociadas con los ejes de especialización derivados del ENFA. El eje horizontal del biplot representa el eje de la marginalidad, mientras que el eje vertical representa el eje de la especialización. La longitud y la dirección de las flechas son las variables ambientales que indican la medida de la contribución a cada eje (flechas más largas mayor contribución en función del sentido de eje que apuntan). El polígono gris claro denota el espacio ambiental disponible para la especie y el polígono gris oscuro representa el espacio ocupado por la especie. El círculo blanco indica el centroide de las variables utilizadas por la especie. Los códigos corresponden a: Temperatura media del rango diurno (BIO2), isothermalidad (BIO3), coeficiente de variación de la precipitación (BIO15), distribución potencial (vía MaxEnt) del Caracara Carunculado (PHCA) (véase métodos).11

Figura 4. Representación gráfica de los parámetros del análisis factorial de distancia de Mahalanobis (MADIFA) para el Cóndor Andino, sur de Ecuador. El grafico de barras insertado representa las cargas vectoriales asociadas con los ejes factoriales del MADIFA. El eje horizontal del biplot representa el primer eje factorial y el eje vertical representa el segundo eje factorial del MADIFA. Las flechas indican las cargas vectoriales de las variables predictivas ambientales para cada eje factorial (flechas más largas mayor contribución en función del sentido de eje que apuntan). Los códigos corresponden a: Temperatura media del rango diurno (BIO2), isothermalidad (BIO3), coeficiente de variación de la precipitación (BIO15), distribución potencial (vía MaxEnt) del Caracara Carunculado (PHCA) (véase métodos).....13

Figura 5. Mapa de idoneidad del hábitat (derivado del análisis factorial de las distancias de Mahalanobis [MADIFA]) para el Cóndor Andino, sur de Ecuador. Las clases de idoneidad se definieron en función de los umbrales percentiles (véase Tabla 2). Los colores más cálidos (rojo-amarillo) indican áreas con distancias de Mahalanobis menores que resultan en hábitat más idóneo, mientras que los colores más fríos (verde-azul) representan mayores distancias y menor idoneidad. El área sombreada en gris delimita la extensión geográfica del área de estudio con valores fuera del límite de idoneidad del hábitat (distancias mayores a 35), y las líneas finas grises del fondo representan los límites provinciales. Los polígonos morados representan el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) que incluye el Parque Nacional Sangay (PNS), el Parque Nacional Cajas (PNC) y el Área Nacional de Recreación Quimsacocha (ARNQ).17

Índice del Tablas

Tabla 1. Comparación y clasificación de los modelos de distribución de densidad de probabilidad ajustados a los valores de las distancias de Mahalanobis (MADIFA), obtenidas a partir de los puntos de ocurrencia del Cóndor Andino, sur de Ecuador. Los valores menores de información de Akaike (AIC^+) y la diferencia de $AICc$ ($\Delta AICc_{\pm}$) entre cada modelo candidato fueron escogidos como mejor ajuste.....14

Tabla 2. Cargas vectoriales de las variables ambientales para los ejes de marginalidad y especialización del análisis factorial de nicho ecológico (ENFA) como así también con el primer y segundo eje factorial del análisis factorial de las distancias de Mahalanobis (MADIFA) para el Cóndor Andino, sur de Ecuador. Los valores en negrita indican la contribución y dirección de la relación entre cada variable más importante con los ejes para ambos métodos. Los códigos corresponden a: Temperatura media del rango diurno (BIO2), isothermalidad (BIO3), coeficiente de variación de la precipitación (BIO15), índice de rugosidad del terreno (TRI) y la distribución potencial (vía MaxEnt) del Caracara Carunculado (PHCA) (véase métodos).15

Índice de material suplementario

Tabla S1. Ocurrencias del Cóndor Andino al sur de Ecuador. Para la fuente los códigos son: eBird (EB), Global Biodiversity Information Facility (GBIF) y la base de datos de la Universidad del Azuay (UA).	32
Tabla S2. Distribución de los rangos percentiles de las distancias de Mahalanobis (MADIFA) con su correspondiente área (ha) para el Cóndor Andino, sur de Ecuador. Cada rango percentil (5%).	35

RESUMEN

El Cóndor Andino (*Vultur gryphus*) es un ave rapaz vulnerable a la extinción, debido principalmente a la pérdida de hábitat, la cacería ilegal y la contaminación de fuentes de alimento. Esto ha provocado una reducción del espacio ambiental conveniente para la especie. Por tanto, estudios acerca del rango geográfico y la importancia de las variables ambientales y biológicas que influyen en su nicho ecológico son necesarios. En este estudio, estimamos el nicho potencial del Cóndor Andino en el sur de Ecuador utilizando registros de ocurrencia (GBIF, eBird y bases locales) y un conjunto de variables climáticas, topográficas, coberturas vegetales y ecológicas. Para evaluar la idoneidad del hábitat, aplicamos técnicas de modelación espacial mediante el Análisis Factorial del Nicho Ecológico (ENFA) y el Análisis Factorial de Distancias de Mahalanobis (MADIFA). En general, el área idónea comprende una extensión aproximada de 335 000 ha. La configuración de este espacio ambiental está fuertemente determinada por altas elevaciones, la predominancia de la cobertura de páramo herbáceo y una asociación biótica positiva con la probabilidad de distribución del Caracara Carunculado. Estos hallazgos demuestran que el Cóndor selecciona hábitats abiertos de alta montaña con características climáticas y estructurales específicas. La identificación de estas variables permite mejorar las estrategias de conservación en toda el área de estudio. Por ejemplo, es posible mapear zonas de páramo a mayor elevación, ubicadas fuera de áreas protegidas, en donde se observen interacciones biológicas favorables que mantendrían viables a las poblaciones del Cóndor Andino en los Andes tropicales.

Palabras clave: idoneidad del hábitat, nicho ecológico, ENFA, MADIFA, páramo

Director de Tesis: Pedro Astudillo Webster

ABSTRACT

The Andean Condor (*Vultur gryphus*) is a raptor vulnerable to extinction, primarily due to habitat loss, illegal hunting, and contamination of food sources. This has led to a reduction in suitable environmental space for the species. Therefore, studies regarding its geographical range and the importance of both environmental and biological variables influencing its ecological niche are necessary. In this study, we estimated the potential niche of the Andean Condor in southern Ecuador using occurrence records (GBIF, eBird, and local databases) and a set of climatic, topographic, vegetation-cover, and ecological variables. To assess habitat suitability, we applied spatial modelling techniques through Ecological Niche Factor Analysis (ENFA) and Mahalanobis Distance Factor Analysis (MADIFA). Overall, the suitable area encompasses approximately 335 000 ha. The configuration of this environmental space is strongly determined by high elevation, the dominance of herbaceous páramo cover, and a positive biotic association with the potential distribution of the Carunculated Caracara. These findings demonstrate that the Andean Condor selects open, high-mountain habitats with specific climatic and structural characteristics. The identification of these variables allows for the improvement of conservation strategies throughout the study area. For instance, it is possible to map higher-elevation páramo zones located outside of protected areas, where observed favourable biological interactions would maintain viable populations of the Andean Condor in the tropical Andes.

Keywords: habitat suitability, ecological niche, ENFA, MADIFA, páramo

A handwritten signature in blue ink, reading "Pedro Astudillo Webster". The signature is stylized, with a large initial 'P' and 'A'.

Prof. Pedro Astudillo Webster, Ph. D. - DIRECTOR