



Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Biología, Ecología y Gestión

**Análisis del nicho ecológico del Cóndor Andino
(*Vultur gryphus*) en los Andes Sur del Ecuador**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
BIÓLOGO CON MENCIÓN EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN**

Autores:

Marlon Andrés Machuca Quito

Juan José Vélez Peña

Director:

Blgo. Pedro Xavier Astudillo Webster, Ph. D.

Cuenca — Ecuador

2021

DEDICATORIA

A mi familia, por inspirarme y guiarme, por estar a mi lado y por enseñarme a continuar a pesar de que las circunstancias no sean las mejores, enseñándome así el significado del “coraje”, el cual es tener la voluntad de seguir adelante a pesar de no tener las fuerzas para hacerlo. A todas las amistades que coseché a lo largo mi vida mientras cruzaba la senda del saber, quienes con su infinita paciencia supieron escucharme y brindarme su consejo cuando compartíamos momentos que quedarán para nuestras memorias, así también, como cuando atravesaba por circunstancias poco favorables.

Con mucho cariño y respeto.

Marlon Andrés Machuca Quito

A mis padres.

A la contribución científica del Ecuador en un esfuerzo de continuar con las buenas prácticas de la conservación de la comunidad de aves rapaces en las localidades del sur del país.

Juan José Vélez Peña

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Mark Thorpe, Vicente Jaramillo y Jorge Barreno de INV Metals, Ecuador por financiar este estudio.

Agradecemos a Pedro Astudillo, nuestro director de tesis, por brindarnos sus conocimientos y ayuda durante el proceso de redacción de esta investigación.

Agradecemos a David Siddons y Santiago Barros por su ayuda durante el análisis de datos y la ejecución de los resultados.

Agradecemos al Laboratorio de Ecología de la Universidad del Azuay por proporcionar desinteresadamente la información e infraestructura necesaria para el desarrollo de este trabajo.

Agradecemos a nuestros amigos y familiares por el apoyo incondicional durante el transcurso de la carrera. Especialmente en esta época de pandemia, donde el estado de ánimo y el apoyo emocional han jugado un papel importante en nuestra estabilidad mental y física.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDOS	Pág.
DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
ÍNDICE DE CONTENIDOS	III
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y CUADROS	IV
ÍNDICE DE ANEXOS	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT.....	VII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: Métodos	4
1.1. Área de estudio	4
1.2. Ocurrencia del Cóndor Andino	8
1.3. Variables ambientales	8
1.3.1. Vegetación	8
1.3.2. Clima.....	9
1.3.3. Topografía.....	10
1.4. Análisis de datos	10
CAPÍTULO 2: Resultados	13
2.1. Ocurrencia del Cóndor Andino	13
2.2. Marginalidad	13
2.3. Especialización 1 & 2	13
2.4. Mapas de disponibilidad de hábitat.....	16
CAPÍTULO 3: Discusión	19
3.1. Nicho ecológico	19
3.2. Marginalidad	21
CONCLUSIONES	22
BIBLIOGRAFÍA	24

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y CUADROS

Mapa 1. Área de estudio y registros probados del Cóndor Andino.....	7
Tabla 1. Vectores propios de las variables ambientales para cada uno de los ejes factoriales.....	15
Mapa 2. Mapa de las distancias de Mahalanobis al cuadrado.....	17
Mapa 3. Mapa de probabilidad de las distancias de Mahalanobis al cuadrado.....	18

ÍNDICE DE ANEXOS

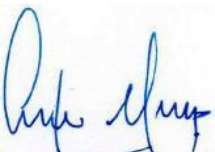
Anexo 1. Tabla de registros del Cóndor Andino.....	28
--	----

Análisis del nicho ecológico del Cóndor Andino (*Vultur gryphus*) en los Andes Sur del Ecuador

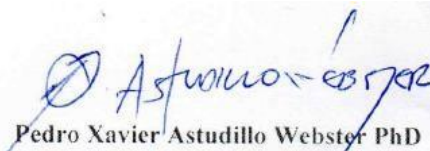
RESUMEN

El Cóndor Andino en el Ecuador se encuentra en peligro de extinción debido a la intervención antrópica. Estudios sobre esta especie se basan en el análisis de su distribución potencial, monitoreos aislados y conteo de dormideros. En ese sentido, los análisis de nicho ecológico permiten determinar funciones de idoneidad del hábitat (nicho) basados en las características de ocurrencia de la especie versus el conjunto de variables dentro del área de estudio. Mediante el análisis factorial de distancias de Mahalanobis (MADIFA), se expresa la información del nicho en dos ejes: marginalidad y especialización. En concreto, distancias menores denotan zonas geográficas similares a las condiciones de hábitat donde ocurre la especie. Los resultados mostraron una distribución de la especie hacia zonas de mayor elevación, pendientes pronunciadas, clima estacional y presencia de vegetación asociada a páramo herbáceo y a matorral seco. Así, este trabajo aporta con información aplicable a programas de conservación regional.

Palabras clave: Especialización, hábitat conveniente, Mahalanobis, matorral seco, marginalidad.



Antonio Crespo PhD
Coordinador de carrera



Pedro Xavier Astudillo Webster PhD
Tutor



Marlon Andrés Machuca Quito
Estudiante



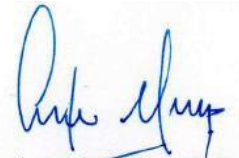
Juan José Vélez Peña
Estudiante

Analysis of the ecological niche of the Andean Condor (*Vultur gryphus*) in the Southern Andes of Ecuador

ABSTRACT

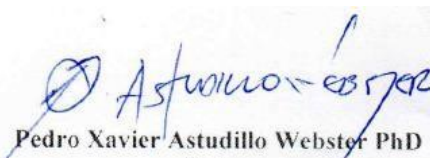
The Andean Condor in Ecuador is in danger of extinction due to anthropic intervention. Studies on this species are based on the analysis of its potential distribution, isolated monitoring and roost counts. In this sense, the ecological niche analyzes allow determining the suitability functions of the habitat (niche) based on the characteristics of occurrence of the species versus the set of variables within the study area. By means of the factorial analysis of distances of Mahalanobis (MADIFA), the information of the niche was expressed in two axes: marginality and specialization. Specifically, shorter distances denote geographic areas similar to the habitat conditions where the species occurs. The results showed a distribution of the species towards higher elevation areas, steep slopes, seasonal climate and the presence of vegetation associated with herbaceous moorland and dry scrubland. Thus, this work provides information applicable to regional conservation programs.

Key words: Specialization, suitable habitat, Mahalanobis, dry scrubland, marginality.



Antonio Crespo PhD
Coordinador de carrera

School Director



Pedro Xavier Astudillo Webster PhD
Tutor

Thesis Director

Translated by



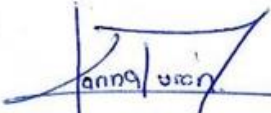
Marlon Andrés Machuca Quito
Estudiante

Author



Juan José Vélez Peña
Estudiante

Author



Mgst. Karina Durán A.

Marlon Andrés Machuca Quito
Juan José Vélez Peña
Trabajo de Graduación
Pedro Xavier Astudillo Webster, PhD.
Junio 2021

Análisis del nicho ecológico del Cóndor Andino (*Vultur gryphus*) en los Andes Sur del Ecuador

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, el Cóndor Andino (*Vultur gryphus*) se encuentra catalogado como una de las especies en peligro de extinción, mientras que, a escala global, se la considera como una especie Casi Amenazada (Freile et al., 2019; IUCN, 2020). Esta especie se distribuye a lo largo de la Cordillera de los Andes, desde Venezuela, Ecuador, Perú, Bolivia, pasando por Tierra de Fuego, Chile, hasta los estados del sur de Argentina (Fjeldsø & Krabbe, 1990; Lambertucci, 2007; Naveda-Rodríguez et al., 2016). La región altoandina del Ecuador ha sido considerada como sitio óptimo para su reproducción y alimentación (Astudillo et al., 2016a; Naveda-Rodríguez et al., 2016). Sin embargo, debido a la continua pérdida de hábitat, principalmente por la expansión agrícola y ganadera hacia zonas de páramo herbáceo (Astudillo et al., 2016b; Naveda-Rodríguez et al., 2015) y, en conjunto con su baja tasa de reproducción, ha resultado en una drástica disminución en el número de individuos del Cóndor Andino (Lambertucci, 2007; Naveda-Rodríguez et al., 2016). Por ejemplo, en 2015, se estimó que la población oscila entre 94 a 102 individuos en el Ecuador, de los cuales el 65 % corresponde a individuos adultos y el 35 % a juveniles; mientras que el número de machos alcanzó el 32 %, el de hembras el 39 % y el de individuos de sexo no identificado fue del 29 %. En la provincia del Azuay, sur del Ecuador, se han reportado 13 individuos (Naveda-Rodríguez et al., 2015).

Hasta ahora, los estudios se han centrado en modelamientos de la distribución potencial, búsqueda de nidos y dormideros como así también viabilidad de la población (Astudillo et al., 2016b; Naveda-Rodríguez et al., 2016). En este sentido, los factores geográficos y ambientales definidos para el total de un área específica afectan directamente a la especie, ya que estos limitan la ocupación de sitios y, en consecuencia, la distribución de la especie; así, establecen una relación entre los requerimientos para realizar su rol y su rango de distribución (López-García, 2007). En consecuencia, herramientas que integren los registros de la especie y evalúen las condiciones del medio que favorecen la presencia del Cóndor Andino a escala de paisaje, son también cruciales para generar zonas prioritarias para la conservación y manejo de la especie (Astudillo et al., 2016a; Dávalos, 2014), en particular al sur del Ecuador, en donde los monitoreos del Cóndor Andino son relativamente escasos. Dentro de este marco, los modelos que incluyen análisis de nicho ecológico han venido siendo cada vez más importantes. Estos modelos se basan en proyecciones espaciales de condiciones ambientales favorables ajustadas a la ocurrencia de la especie, en donde dichas condiciones ambientales particulares a los registros de la especie son contrastadas con el total de las mismas condiciones, pero a una escala geográfica mayor, generando de tal forma factores de hábitat conveniente para la especie (Xuezhi et al., 2008). En definitiva, el análisis de nicho ecológico ofrece mejores predicciones al momento de establecer una relación entre datos de ocurrencia puntual con las características ecológicas y ambientales de un paisaje, y por tanto permite modelar las dimensiones del nicho ecológico y proyectarlas para generar mapas de idoneidad de la distribución geográfica (Skov et al., 2008).

Entre las diversas técnicas de modelamiento de análisis factoriales de nicho ecológico (ENFA), los modelos generados a partir del análisis del factorial de distancias de Mahalanobis (MADIFA) proporcionan predicciones más precisas, ya que controlan la incertidumbre de variables ambientales altamente correlacionadas y son también especialmente útiles cuando los registros no son abundantes (Calenge et al., 2008), destacando también que no son requeridos datos de ausencia. Los análisis basados en MADIFA, generan tres factores de hábitat (niveles de hábitat conveniente): marginalidad (hábitat menos conveniente), especialización 1 y especialización 2 (hábitats más convenientes), permitiendo de esta manera aproximarse a la descripción

del nicho de la especie según lo determinado por los factores ambientales seleccionados (Dolgener et al., 2013).

Dentro de este marco, el presente estudio tiene como objetivo determinar el nicho ecológico del Cóndor Andino en base a ocurrencias de la especie y las características climáticas, topográficas y de vegetación dentro de un área importante para la conservación, los Andes sur del Ecuador, un centro de diversidad y endemismo. Así, se espera reconocer el nicho ecológico de la especie a través de factores de hábitat más especializados. Estos factores estarían en localidades de páramo herbáceo, con menor intervención humana y en zonas de difícil acceso en sitios de mayor elevación y pendientes más pronunciadas.

CAPÍTULO 1

MÉTODOS

1.1. Área de estudio

El área de estudio comprende alrededor de 700 000 ha, las cuales se ubican dentro de tres provincias al sur del Ecuador: Azuay, Cañar y Zamora Chinchipe. Toda el área de estudio abarca distintos niveles de elevación, los cuales varían desde los 400 m s.n.m., hasta los 4400 m s.n.m. Además, cubre zonas pertenecientes al Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), el Parque Nacional Sangay (PNS; 2°27'0.47'' S – 78°48'18.33'' O) al norte, el Parque Nacional Cajas (PNC; 2°50'45'' S – 79°14'33'' O) y el Área Nacional de Recreación Quimsacocha (ANRQ; 3°00'45'' S – 79°14'12'' O) al centro (Mapa 1).

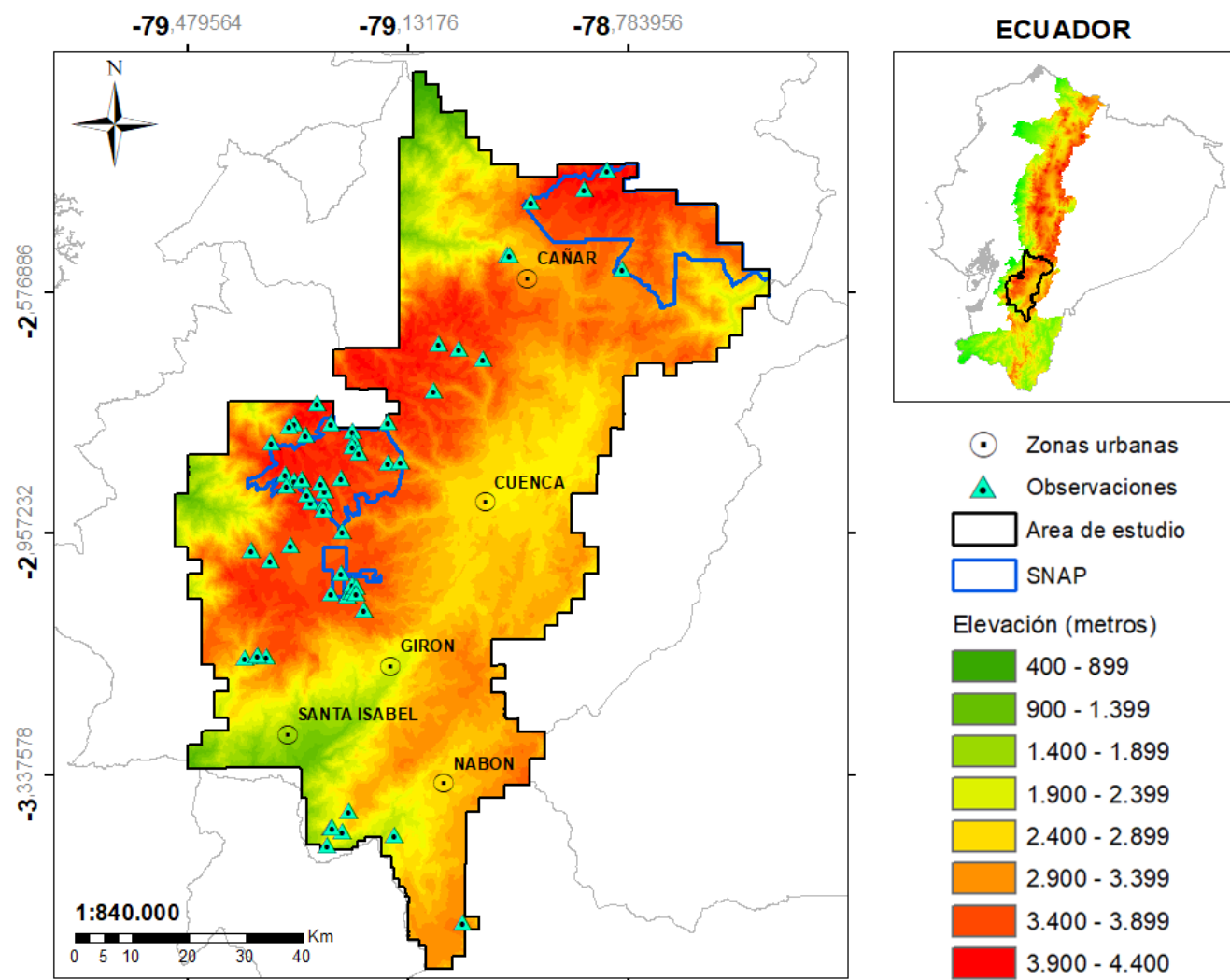
Los territorios ubicados entre los 400 y 1800 m s.n.m. se caracterizan por presentar vegetación abierta y de baja altura, conformada por matorrales y flora espinosa semidecidua que se desarrolla en forma de parches sobre laderas en pendientes fuertes o suaves (Neill, 1999). Sin embargo, a medida que la elevación incrementa, la vegetación se vuelve más densa llegando a estar conformada por bosques de dosel alto, abundantes arbustos y hierba estacional que ocupan laderas escarpadas en ambos flancos de la cordillera (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2013). El promedio anual de precipitación varía desde los 2000 mm hasta los 4000 mm, debido al encuentro directo con las masas de aire tropical cargado de humedad, además presenta una sola estación húmeda la cual ocurre desde el mes de diciembre a mayo. El promedio de temperatura anual se encuentra entre los 20 y 25° C (Pourrut & Pouyau, 1995).

Los territorios localizados entre los 1800 y 2000 m s.n.m. están conformados por ecosistemas de matorral montano desarrollados en parches, bosques con dosel abierto con arbustos y hierbas abundantes ubicados en quebradas, laderas y cimas (Neill, 1999). Además, se encuentran helechos arborescentes, vegetación arbustiva escasa y un aumento en el número de epífitas a medida que el dosel se va cerrando y la vegetación aumenta (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2013). Las precipitaciones anuales se promedian entre los 500 y 2000 mm y están repartidas en dos estaciones lluviosas, la primera de febrero a mayo y la segunda de octubre a noviembre, con una estación seca principal de junio a septiembre. La temperatura media anual varía entre 12 y 20° C (Luna-Romero et al., 2018).

Entre los 2000 y 3200 m s.n.m. los territorios se caracterizan por ecosistemas de vegetación arbustiva densa, de mayor altura con un sotobosque en matorrales densos (Neill, 1999). Además, se caracteriza por especies de sucesión luego de la conversión del uso de suelo, además de árboles cubiertos por epífitas vasculares. Destaca la presencia de especies de orquídeas, helechos y briófitos presentes en parches de bosques relegados a quebradas, laderas montañosas y a pendientes empinadas o escarpadas. En sitios más elevados, los bosques presentan dosel menor y con presencia de herbazal denso dominado por gramíneas de más de medio metro, propio de los valles glaciares, vertientes y llanuras subglaciares (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2013). El promedio de precipitación anual es de 1000 mm, el cual ocurre durante los mismos meses que descritos en el párrafo anterior y la temperatura media anual varía entre los 10 y 15° C (Celleri et al., 2007).

Las zonas situadas entre los 3200 y 4400 m s.n.m. están caracterizadas por la presencia de ecosistemas conformados por herbazales densos y parches de vegetación baja, ubicados en laderas, valles glaciares, llanuras y vertientes (Neill, 1999). Además, a mayor elevación se pueden encontrar vegetación fragmentada con suelo desnudo entre parches aislados de vegetación caracterizados por especies herbazales inundables y especies que forman cojinetes (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2013). Las precipitaciones van de 800 a 2000 mm con lluvias constantes, pero de baja intensidad.

El promedio de temperatura anual fluctúa entre los 4 y 8°C, aunque rara vez sobre pasan los 20° C (Pourrut & Pouyaud, 1995).



Mapa 1. Área de estudio y registros probados (ocurrencia) del Cóndor Andino (*Vultur gryphus*), Andes sur del Ecuador. Los triángulos representan las observaciones puntuales de la especie. Los polígonos asignados como SNAP pertenecen al Sistema Nacional de Áreas Protegidas.

1.2. Ocurrencia del Cóndor Andino

Los puntos de ocurrencia del Cóndor Andino (Mapa 1) se obtuvieron a partir de dos fuentes de información: los registros publicados por Astudillo et al. (2016b) (en su mayoría con datos desde 2003) y de la base de datos en línea Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (2019). Para los registros de GBIF, se consideraron únicamente a partir del 2015 manteniendo así ocurrencias más actualizadas. Los registros fueron recopilados en una base de datos y posteriormente depurados, con el fin de que se ajusten a los límites del área de estudio (Anexo 1).

1.3. Variables ambientales

En los modelos, las variables ambientales representan una contribución significativa al momento de delimitar áreas de distribución (Astudillo et al., 2016b), además de sintetizar el clima de una región (Pabón et al., 2001). Las variables climáticas se obtuvieron del sitio web WorldClim (Fick & Hijmans, 2017) en formato “raster” con resolución de grilla de 1 Km² y se derivan de los valores mensuales de temperatura y precipitación, desde 1970 hasta el año 2000 (versión 2.1), tomadas de diferentes estaciones para generar variables más significativas desde el punto de vista biológico (Hijmans et al., 2005). Por otro lado, las variables de vegetación se obtuvieron a partir de una clasificación supervisada empleando el programa de tratamiento digital de imágenes ENVI a partir de ortofotografía del proyecto SIGTIERRAS (2010). Mientras que las variables topográficas se usaron a partir de curvas de nivel a escala de 250 000, generando modelos digitales del terreno en donde se expresan los rangos de elevación. La principal herramienta para la creación, edición y cálculos de mapas fue el sistema de información geográfica ArcGis (versión 10.3) (ESRI, 2014).

1.3.1. Vegetación

Cuatro coberturas principales de terreno fueron determinadas. Las cuales consideraron diferentes tipos de vegetación dominante según la zona de elevación en dónde se ubicaban (previamente descritos en el área de estudio): i) Páramo, es la vegetación

dominante sobre los 3200 m s.n.m., caracterizados por plantas de hábito herbáceo, plantas pequeñas a manera de asociaciones de paja en penachos con plantas en almohadillas y pequeños matorrales y arbustos; ii) Bosque montano, la vegetación dominante es arbórea y continua ubicada entre los 2000 y 3200 m s.n.m., limitando con el borde inferior del páramo, además se incluyó a fragmentos dispersos dominados por especies de *Poylepis incana* y *Polylepis reticulata* (Kessler, 2006) ya que representa una asociación vegetal distinta al páramo, a pesar que se distribuye hacia zonas de mayor elevación donde domina el páramo herbáceo; iii) Matorral seco, son las formaciones vegetales dominantes que están asociadas a ecosistemas muy estacionales, semi desérticos en las partes bajas de los valles, situados desde los 400 hasta los 2000 m s.n.m., estas formaciones son matorrales y flora semidecídua distribuidos a manera de parches; iv) Hábitat intervenido, se consideraron sitios dentro de los cuales la vegetación nativa ha sido reemplazada por campos de cultivo, pastizales, zonas de extracción, suelo descubierto, infraestructura (i.e., centros poblados, carreteras) y vegetación introducida, principalmente: *Pinus patula* y *Eucalyptus globulus* (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012).

El área de estudio está compuesta en un 33,64 % por cobertura de Páramo, 20 % por Bosque montano, 6,05 % de Matorral seco y en un 40,31 % por hábitat intervenido. La información de la cobertura vegetal se reclasificó en datos de presencia y ausencia, en dónde el valor de 1 se asigna cuando una cobertura específica cubre una cantidad ≥ 50 % de un pixel dado.

1.3.2. Clima

Las variables climáticas fueron escogidas en base a las mismas variables utilizadas para el área de estudio por Astudillo et al. (2016b). En total se escogieron cinco variables: i) precipitación del cuarto más húmedo del año (mm); ii) precipitación del cuarto más cálido (mm); iii) temperatura del cuarto más húmedo del año (°C); iv) rango diurno medio de temperatura (°C) e; isothermalidad (proporción del rango diurno medio y la temperatura media anual) (°C). Las variables climáticas se ajustaron al conjunto de datos proyectando un mismo tamaño de pixel considerándolos como continuos, para

lo cual se utilizó la función “projectRaster” dentro del paquete ‘raster’ (Hijmans, 2019), que permite la interpolación de datos a partir de valores predeterminados para generar una nueva capa raster con las dimensiones iguales al área de estudio.

1.3.3. Topografía

Las variables topográficas utilizadas también fueron seleccionadas a partir de las presentadas por Astudillo et al. (2016b). En total se escogieron dos variables: i) elevación del terreno (m s.n.m.) y; ii) pendiente (%).

1.4. Análisis de datos

Para calcular el nicho ecológico del Cóndor Andino se usó la técnica de distancias de Mahalanobis (MADIFA), usando la información ambiental como también de los datos de ocurrencia de la especie. MADIFA es un tipo de análisis factorial de nicho ecológico (ENFA), que modela el nicho de una especie dada basándose en la frecuencia de la distribución de las condiciones medioambientales (i.e., vegetación, clima, topografía) contrastándolas con la distribución de dichas variables frente al total del área de estudio. Por lo tanto, se generan n desviaciones del promedio de una capa ambiental en donde ocurre la especie en relación al área de estudio (Calenge et al., 2008). Dentro de este contexto, es posible generar distancias ecológicas que determinan, en términos cuantitativos, la desviación de la magnitud de las condiciones ambientales. Así, es posible mapear áreas más afines a las de un escenario que se ajuste en mayor medida a las características donde ocurre la especie y por tanto representa los requerimientos (menor desviación posible) de una especie (Calenge et al., 2008; Escobedo-Portillo & Salas Plata-Mendoza, 2008).

Mediante la función ‘dudi.pca’ dentro del paquete estadístico ‘ade4’ (Dray & Dufour, 2007), se realizó un análisis de componentes principales (PCA), basándose en la información de las variables ambientales seleccionadas anteriormente, ya que estas evitan la singularidad de la matriz de correlación al momento de invertirla en el

proceso del MADIFA. Esta función pretende encontrar combinaciones lineales de dichas variables usadas que expliquen la mayor parte de la variabilidad en los datos a través de diagramas de dualidad, que facilitan la combinación de diferentes datos métricos (De la Cruz & Holmes, 2011). Los ejes son escogidos para maximizar la varianza de distribución (Hirzel et al., 2002). Además, con la función ‘count.points’ (paquete ‘adehabitat’; Calenge, [2006]), se procedió a crear un vector indicando el uso de los pesos estadísticos asociados a cada pixel con los registros de la especie, transformados a puntos espaciales en conjunto con la matriz de pixeles espaciales de las variables ambientales.

A través de los primeros cinco componentes derivados del PCA (varianza total explicada = 80.91 %), MADIFA divide el espacio ecológico en un conjunto de ejes, de modo que los primeros ejes maximizan la proporción promedio de sus distancias cuadradas de Mahalanobis (Calenge, 2006). Al igual que un componente de un análisis factorial, primero extrae un eje de marginalidad (vector del promedio de condiciones de hábitat disponible a las condiciones promedio de hábitat utilizado). En otras palabras, es la variedad de condiciones ambientales que no son adecuadas para especies particulares (Callo-Concha et al., 2014). Luego, el análisis extrae ejes *quasi* ortogonales sucesivos (i.e., los valores de los vectores están distribuidos en una elipsoide en lugar de una esfera) (Dray & Dufour, 2007) que maximiza la especialización de la especie (especialización 1 y especialización 2; relación entre la varianza ecológica en el hábitat medio y la observada para la especie focal) (Hirzel et al., 2002). Es decir, el requerimiento que una especie le da a un porcentaje de recursos en relación con las condiciones de hábitat disponibles (Fox & Morrow, 1981).

Finalmente, la función ‘mahasuhab’ (paquete ‘adehabitat’; Calenge, [2006]), se crearon mapas de idoneidad de hábitat para el área de estudio. El mapa se basa en un recuento de todas las celdas de la distribución de especies que se encuentran alejadas de la mediana de la celda focal en un eje factorial (derivada de los ejes de marginalidad, especialización 1 y especialización 2).

La función ‘mahasuhab’ muestra un primer mapa con el valor de las distancias de cada pixel dividido en cuatro rangos para una mejor diferenciación, considerando el valor de 1 la distancia mínima desde la media del vector hacia el punto observado; por tanto, este valor indica una mayor especialización y un hábitat más idóneo. De la misma forma, el valor máximo (para este estudio = 4894) indica un hábitat muy poco conveniente (Mapa 2). En el segundo mapa, los valores de probabilidad (P) que se relacionan con las distancias, son una aproximación a la distribución de un análisis de frecuencia Chi-cuadrado con n^{-1} grados de libertad, donde n es igual al número de características del hábitat asumiendo una normalidad multivariada (Clark et al., 1993). Los valores de la probabilidad varían en un rango de cero a uno (0 - 1), considerando a 1 el equivalente al 100 % de probabilidad de la presencia de la especie (Mapa 3A). Los valores superiores al 50 % de la probabilidad de ocurrencia se representaron en un mapa de tipo binario para una mayor apreciación de las zonas de hábitat conveniente con respecto a aquellas en donde esta probabilidad disminuye (Mapa 3B). Estos valores son más estrechos al respecto de los registros de ocurrencias observadas y se interpretan como indicativos del grado en que un área es adecuada para una especie (Araújo & Williams, 2000). Los valores de probabilidad se ajustaron de forma manual en cinco rangos para expresar simetría en los datos. A través de la función ‘mahasuhab’ se escalaron las variables antes de realizar el cálculo, de forma que todos los datos tengan la misma varianza y el mismo peso durante el análisis. Finalmente, la función ‘sp’ (‘paquete ‘sp’; Pebesma & Bivand, 2005), permite la manipulación de la información espacial de dos y tres dimensiones (e.g., edición del sistema de coordenadas, creación de tablas y mapas y la preparación de datos para futuros análisis). Asimismo, la función raster’ permitió editar datos temáticos o continuos representados en imágenes de pixeles (Hijmans, 2019) y exportar el raster para manejar la impresión de los mapas en ArcGis. Todos los análisis fueron realizados dentro del programa estadístico R (versión 1.3.1093) (RStudio Team, 2020).

CAPÍTULO 2

RESULTADOS

2.1. Ocurrencia del Cóndor Andino

En total se obtuvieron 60 registros, de los cuales 48 registros fueron obtenidos a partir de datos proporcionados por Astudillo et al. (2016b) (80 %) y un total de 12 registros del sitio web GBIF (20 %). En su mayoría se distribuyen dentro de los límites del Sistema Nacional de Áreas Protegidas en localidades sobre los 3000 m s.n.m. (Mapa 1).

2.2. Marginalidad

La Marginalidad (factor de hábitat poco conveniente) representa una gradiente de cambio desde una menor precipitación estacional, con una precipitación menor en el cuarto más húmedo y con una menor temperatura media en el cuarto más húmedo hacia un incremento en el rango de temperatura media (Tabla 1). Por lo tanto, la marginalidad es considerada como áreas en donde sucede una precipitación menos estacional con temperaturas y precipitaciones menores en los meses más húmedos del año, asociado con mayores rangos de temperatura en el día.

2.3. Especialización 1 & 2

La especialización 1 (primer factor de hábitat conveniente) representa una gradiente de cambio desde una menor precipitación en el cuarto más caliente y con una precipitación estacional menor hacia una mayor precipitación en el cuarto más húmedo, con un aumento en la isothermalidad (i.e., proporción del rango diurno medio

y la temperatura media anual), una mayor elevación del terreno y con una temperatura media mayor del cuarto más húmedo (Tabla 1). Consecuentemente, la especialización 1 se define como territorios con menor precipitación en los meses más cálidos que resulta en una menor estacionalidad, en asociación con zonas de mayor elevación con mayores rangos de temperatura del día con respecto a la anual, en especial con un aumento de la temperatura en los meses más húmedos.

La especialización 2 (segundo factor de hábitat conveniente) representa la gradiente de cambio desde la disminución del rango diurno medio de la temperatura hacia un aumento en la pendiente, incremento de la elevación del terreno, con una mayor proporción de matorral seco, además de un incremento en la precipitación del cuarto más caliente y un aumento en la temperatura media del cuarto más húmedo (Tabla 1). De tal forma, la especialización 2 es considerada como la disminución en el rango de la temperatura del día en lugares que presentan una pendiente pronunciada, con mayores elevaciones del terreno que resulta en una vegetación asociada a matorrales secos, con mayores precipitaciones en los meses más cálidos y un incremento de la temperatura en los meses más húmedos.

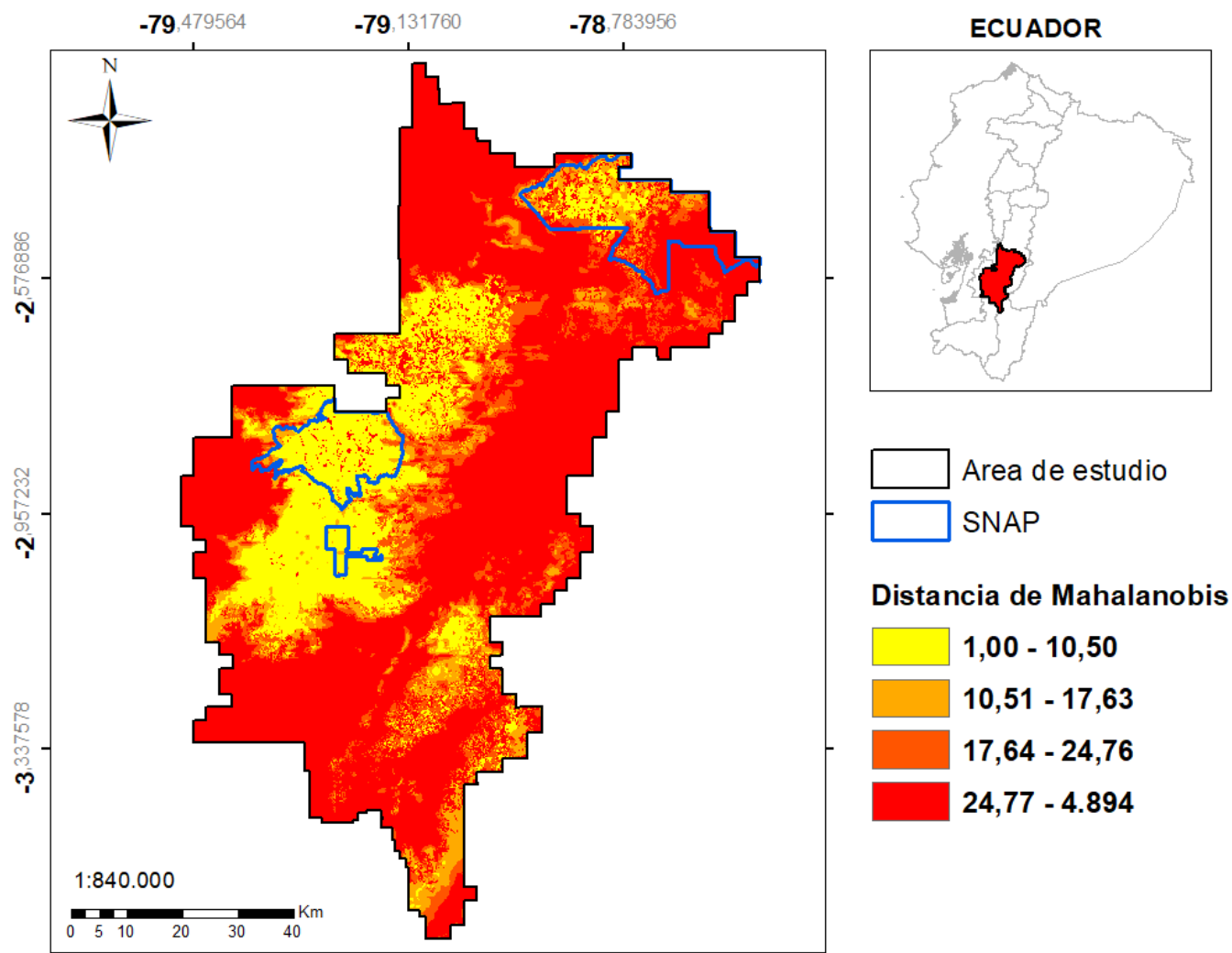
Tabla 1. Vectores propios de las variables ambientales para cada uno de los ejes factoriales (marginalidad y especialización). Los datos representan las correlaciones entre las variables ambientales y el primer y segundo eje del MADIFA.

Variables ambientales	Marginalidad	Especialización 1	Especialización 2
Vegetación (*)			
Páramo	0,006134903	-0,07186392	0,04851963
Intervenido	0,067801756	-0,09864051	0,04046230
Bosque montano	0,034132223	-0,04564749	-0,05495807
Matorral seco	-0,021817475	-0,06906683	0,17858223
Clima			
Precipitación del cuarto más caliente (mm)	0,173303292	-0,22739293	0,22739739
Precipitación estacional (mm)	-0,243552874	-0,19387289	0,01045554
Temperatura media del cuarto más húmedo (°C)	-0,293128411	0,65297705	0,53568260
Precipitación del cuarto más húmedo (mm)	-0,865317133	0,12616188	0,04216855
Isotermalidad (°C)	0,054444435	0,20302139	-0,08896577
Rango diurno medio (°C)	0,238245550	-0,06308385	-0,18335948
Topografía			
Elevación (m. s.n.m.)	0,099243696	0,62734532	0,74739430
Pendiente (%)	0,009989171	0,08889432	0,14286314

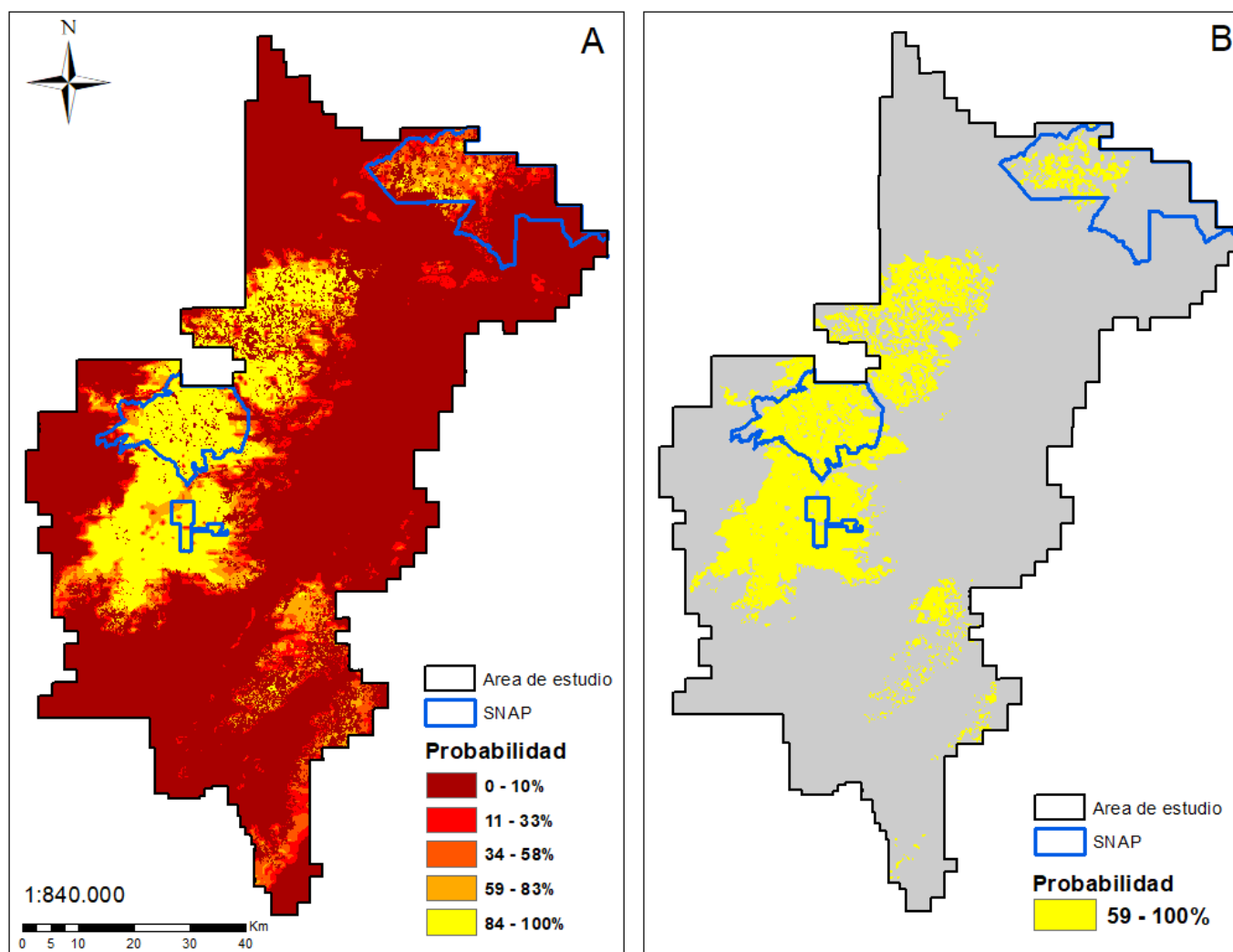
2.4. Mapas de disponibilidad de hábitat

El mapa de las distancias de Mahalanobis muestra aquellos pixeles que se acercan al rango del hábitat óptimo (Mapa 2), indicando que estas zonas presentan condiciones favorables de un nicho realizado. En color amarillo se expresa el primer rango de distancias de Mahalanobis (1,00 - 10,50), que comprende un área aproximada de 126 218,57 ha. Estos valores son los que se encuentran más cercanos a la media del vector del conjunto de variables de cada pixel; representando así las zonas de hábitat más conveniente para la especie (Clark et al., 1993). Al mismo tiempo, el análisis de probabilidades (distribución de frecuencias) (Mapa 3A, 3B) refleja un hábitat conveniente aproximado de 125 115,72 ha (Mapa 3B), representado en un rango de probabilidad entre 59 % y 100 % (i.e., $P \leq 0,59$; $P \leq 0,99$). Esto se asemeja a las distancias, es decir, un hábitat más conveniente está directamente relacionado a una mayor ocurrencia de la especie.

Los mapas de distancias de Mahalanobis (Mapa 2) y de probabilidad de ocurrencia (Mapa 3) demuestran cierta relación entre el hábitat disponible hacia zonas con mayor elevación del terreno, en donde predomina el tipo de cobertura de páramo herbáceo y existe un mayor número de registros de observaciones de la especie.



Mapa 2. Distancias de Mahalanobis al cuadrado para el Cóndor Andino (*Vultur gryphus*), Andes sur del Ecuador. Los valores más cercanos a la media del conjunto de las variables ambientales que se reportan donde ocurre la especie (incremento hacia el amarillo) son los más óptimos, representando zonas de hábitat conveniente.



Mapa 3. Probabilidad de las distancias de Mahalanobis al cuadrado para el Cóndor Andino (*Vultur gryphus*), Andes sur del Ecuador. (A) El mapa representa la probabilidad de ocurrencia de la especie, en donde los valores cercanos al 100 % (≥ 59 %) muestran el hábitat conveniente en color amarillo y, por tanto, mayor afinidad al nicho ecológico de la especie; y (B) la mapa binario con la mayor probabilidad (≥ 59 %) de ocurrencia de la especie.

CAPÍTULO 3

DISCUSIÓN

El análisis de las distancias de Mahalanobis (MADIFA), proporcionó estimaciones sobre la marginalidad y especialización del Cóndor Andino, evidenciando sus requisitos ecológicos. Los resultados demuestran que hay importantes áreas con hábitat conveniente que contienen un nicho ecológico más especializado para el Cóndor Andino. Zonas de mayor elevación con menor estacionalidad climática ubicadas a través de la Cordillera occidental altoandina, son ampliamente conocidas como hábitat para el Cóndor Andino (Astudillo et al., 2016b). Sin embargo, los resultados indican que zonas con fuertes pendientes, mayor elevación del terreno, pero con mayor estacionalidad climática en donde suceden temperaturas relativamente mayores, que resultan en hábitat dominados por matorral seco, también son espacio ecológico importante para la especie, por lo tanto, deben considerarse como áreas de nicho especializado para el Cóndor Andino.

3.1. Nicho ecológico

La región altoandina está influenciada por una menor estacionalidad en las lluvias y con menores temperaturas a medida que hay un incremento en la elevación, esto se relaciona con el primer factor de especialización (especialización 1). En concreto, los lugares que presentan un ambiente óptimo para el Cóndor Andino son aquellos que poseen pendientes marcadas, asociadas a gradientes de temperatura menores en las partes más altas. La mayoría de los registros (68 %) se concentran en los altos Andes del Macizo del Cajas, donde predomina el tipo de cobertura de páramo herbáceo. La región altoandina se caracteriza por tener zonas alrededor de 4000 m. s.n.m., con pendientes pronunciadas y gradientes marcadas de temperatura y precipitación. Ciertos sitios como el Parque Nacional Cajas y en especial otros sitios hacia los flancos

oeste y este de la cordillera occidental (≥ 3200 m s.n.m.) favorecen el nicho ecológico del Cóndor Andino (Astudillo et al., 2011). Por ejemplo, a lo largo de la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes, se registran altas precipitaciones debido a la formación de grandes masas nubosas provocadas por el ascenso de las corrientes húmedas, originarias principalmente de la selva amazónica (Campozano et al., 2016), en particular aquellas que se encuentran en el flanco este y son de mayor elevación (Martínez, 2006). Aquí, el hábitat es abierto y está dominado por páramo, en donde presas nativas como introducidas (ganado cimarrón) pueden explicar en conjunto un nicho más especializado hacia tierras altas (Astudillo et al., 2016b).

En vertientes de baja elevación (i.e., cuenca del Río Jubones) las precipitaciones son menores (Rodríguez et al., 2014). Las zonas de mediana elevación (~ 2000 m s.n.m.), con gradientes de temperatura mayores y con mayor estacionalidad climática (i.e., precipitación y humedad marcada en los meses de diciembre a mayo) (Luna-Romero et al., 2018), reflejan de igual manera un ambiente óptimo para el Cóndor Andino (especialización 2). Estas condiciones resultan en una vegetación dominada por matorral seco, que únicamente se desarrollan cuando hay lluvias en los meses más cálidos. De este modo, la cuenca del Río Jubones (incluida la subcuenca del Río León), es parte importante del nicho ecológico del Cóndor Andino, en particular, cuando el paisaje está configurado por cañones, fuertes pendientes que generan elevaciones abruptas del terreno y presencia de vegetación semidecidual con un clima más cálido y estacionalidad en la precipitación (Astudillo et al., 2016b).

Las diferencias de temperatura diarias presentan variaciones en la presión atmosférica y dan lugar a centros de alta (anti ciclones) y baja presión (depresiones), entre los cuales circula el viento (Andrades & Múñez, 2012). Al ser el aire frío más denso, ocupa el sitio que ha dejado el aire caliente al momento de ascender, de esta forma se producen columnas de aire llamadas “termas”, las cuales son utilizadas por el Cóndor Andino para su desplazamiento. Estas termas son características en la cuenca del Río Jubones y Río León, como también en zonas de mayor elevación hacia el páramo (Rodríguez et al., 2014). Estas corrientes de aire caliente se elevan al encontrarse con barreras topográficas, que dan lugar a una aceleración del movimiento de ascenso el

cual es aprovechado por el Cóndor Andino para adquirir una mayor altura (Martínez, 2006). Este fenómeno puede explicar cómo la mayoría de registros se asocian a individuos en vuelo (Astudillo et al., 2011, 2016b).

3.2. Marginalidad

Los resultados muestran que existe una mayor marginalidad (hábitat poco conveniente) en localidades con un mayor rango de humedad a lo largo del año. Zonas más calientes, húmedas y con precipitaciones abundantes no son convenientes. Estos territorios están ubicados hacia la cordillera oriental y en las zonas piemontanas entre los 500 y 1500 m s.n.m. En estos rangos de elevación, la temperatura media anual varía considerablemente manteniéndose en rangos altos, mientras que la humedad relativa se establece en todo punto, alrededor del 90 %. Como las vertientes reciben el impacto de las masas de aire tropical, cargado de humedad, las precipitaciones anuales son superiores a los 2000 mm y pueden llegar a 4000 mm (Pourrut & Pouyaud, 1995). En estos sitios no deben concentrarse esfuerzos de monitoreo, tampoco prioridades de conservación.

Aunque los hábitats intervenidos no aportan mayormente a la marginalidad, es conocido que la pérdida de hábitat influencia negativamente el tamaño poblacional del Cóndor Andino (Astudillo et al., 2011; Naveda-Rodríguez et al., 2016). Por tanto, es necesario integrar y mejorar los sistemas de conservación y áreas protegidas en donde los hallazgos de esta investigación explican áreas con nichos más especializados. A su vez, se debe aportar con el diseño e implementación de herramientas que posibiliten el manejo correcto y la evaluación de la situación actual del Cóndor Andino, las cuales contribuyan con acciones efectivas de conservación a mediano y largo plazo.

CONCLUSIONES

A medida que una localidad presenta características de hábitat más conveniente (especialización 1 & 2), existe mayor probabilidad de ocurrencia del Cóndor Andino, lo cual resulta en una mayor afinidad al nicho ecológico de la especie. El nicho especializado se explica en dos tipos de sistemas: i) el altoandino (≥ 3500 m s.n.m.), caracterizado principalmente por grandes extensiones de territorio abierto, además de lugares con pendientes pronunciadas y de mayor elevación que le sirven para el desarrollo reproductivo y zonas de descanso; ii) los valles secos más estacionales (~ 2000 m s.n.m.), principalmente en la cuenca del Río Jubones y Río León, con cañones pronunciados, pendientes fuertes y hábitat abiertos con matorrales semidecíduos, los cuales se pueden completar el nicho ecológico de la especie.

Las zonas marginales se caracterizan por poseer condiciones desfavorables para la realización del nicho ecológico, caracterizadas en zonas piemontanas muy cálidas, húmedas y con precipitaciones abundantes. En adición, la intervención se puede considerar también como un factor negativo a pesar de que esta no explica mayormente su influencia dentro del hábitat. Por tanto, no implica que la especie tolere zonas muy intervenidas. Este aspecto divergente puede explicarse por el tipo de información de la vegetación, valores de 0 - 1 evidencian presencia de un tipo de cobertura, más no consideran su magnitud (e.g., cobertura).

El uso de variables continuas para la vegetación es recomendable, en lugar de categóricas, para obtener mejores resultados basándose en la magnitud de las variables ambientales, así como una correcta normalización de los datos para obtener resultados con mayor exactitud.

Factores como la elevación del terreno y la precipitación han sido determinantes para entender el nicho del Cóndor Andino. A partir de esta información se puede llegar a

reconocer espacialmente territorios prioritarios para la conservación y el monitoreo a largo plazo. Este tipo de estudios pueden ser de gran utilidad al momento de elaborar planes y proyectos relacionados con la protección de sitios prioritarios especialmente aquellos fuertemente amenazados por actividades antrópicas.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrades, M., & Múñez, C. (2012). *Fundamentos de Climatología* (Vol. 12). Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones.
- Araújo, M. B., & Williams, P. H. (2000). Selecting areas for species persistence using occurrence data. *Biological Conservation*, 96(2000), 331–345. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(00\)00074-4](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(00)00074-4)
- Astudillo, P. X., Barros, S., Orellana, J. A., & Latta, S. (2016). Distribución y caracterización del hábitat del Cóndor Andino en los Andes sur del Ecuador. *XII CIMFAUNA. Conservación Cóndor Andino*, 1, 196.
- Astudillo, P. X., Siddons, D. C., Barros, S., Orellana, J. A., & Latta, S. (2016b). La distribución potencial del Cóndor Andino (*Vultur gryphus*) revela sitios prioritarios para la conservación en los Andes sur de Ecuador. *Hornero*, 31(2).
- Astudillo, P. X., Tinoco, B., Graham, C., & Latta, S. (2011). Assessing methods for estimating minimum population size and monitoring Andean Condors (*Vultur gryphus*) in southern Ecuador. *Ornitología Neotropical*, 22(2), 257–265.
- Calenge, C. (2006). The package “adehabitat” for the R software: A tool for the analysis of space and habitat use by animals. *Ecological Modelling*, 197(3–4), 516–519. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.03.017>
- Calenge, C., Darmon, G., Basille, M., Loison, A., & Jullien, J.-M. (2008). The factorial decomposition of the Mahalanobis distances in habitat selection studies. *Ecology*, 89(2), 555–566. <https://doi.org/https://doi.org/10.1890/06-1750.1>
- Callo-Concha, D., Sommer, J., Kleemann, J., Gatzweiler, F., & Denich, M. (2014). Marginality from a Socio-ecological Perspective. *Marginality: Addressing the Nexus of Poverty, Exclusion and Ecology*, January, 57–65. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7061-4>
- Campoazano, L., Céleri, R., Trachte, K., Bendix, J., & Samaniego, E. (2016). Rainfall and Cloud Dynamics in the Andes: A Southern Ecuador Case Study. *Advances in Meteorology*, 2016, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2016/3192765>
- Celleri, R., Willems, P., Buytaert, W., & Feyen, J. (2007). Space–time rainfall variability in the Paute Basin, Ecuadorian Andes. *Hydrological Process*, 21, 3316–3327. <https://doi.org/10.1002/hyp>
- Clark, J. D., Dunn, J. E., & Smith, K. G. (1993). A Multivariate Model of Female Black Bear Habitat Use for a Geographic Information System. *The Journal of Wildlife Management*, 57(3), 519–526. <https://doi.org/10.2307/3809276>
- Dávalos, S. (2014). Aplicación de un modelo predictivo de ocurrencia de sitios de

anidación y dormideros del Cóndor Andino (*Vultur gryphus*) como aporte a la conservación de la especie en el Ecuador. *Implementation Science*, 39(1), 1–15. <https://doi.org/10.4324/9781315853178>

De la Cruz, O., & Holmes, S. (2011). The duality diagram in data analysis: Examples of modern applications. *Annals of Applied Statistics*, 5(4), 2266–2277. <https://doi.org/10.1214/10-AOAS408>

Dolgener, N., Freudenberger, L., Schluck, M., Schneeweiss, N., Ibisch, P. L., & Tiedemann, R. (2013). Environmental niche factor analysis (ENFA) relates environmental parameters to abundance and genetic diversity in an endangered amphibian, the fire-bellied-toad (*Bombina bombina*). *Springer Science & Business Media*. <https://doi.org/10.1007/s10592-013-0517-4>

Dray, S., & Dufour, A. B. (2007). The ade4 Package: Implementing the Duality Diagram for Ecologists. *Journal of Statistical Software*, 22(4), 1–20. <https://doi.org/10.18637/jss.v022.i04>

Escobedo-Portillo, M. T., & Salas Plata-Mendoza, J. A. (2008). P. Ch. Mahalanobis y las aplicaciones de su distancia estadística. *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica*, 5(27), 13–20.

ESRI. (2014). *ArcGis Desktop: Release 10.3*. Redlands, CA. <https://www.esri.com/en-us/home>

Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(2), 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>

Fjeldså, J., & Krabbe, N. (1990). *Birds of the High Andes*. University of Copenhagen and Apollo Books: Svendborg.

Fox, L. R., & Morrow, P. A. (1981). Specialization: Species property or Local Phenomenon? *Science*, 211(4485), 887–893. <https://doi.org/10.1126/science.211.4485.887>

Freile, J. F., Santander G., T., Carrasco, L., Cisneros-Heredia, D. F., Guevara, E. A., Sánchez-Nivicela, M., & Tinoco, B. A. (2019). *Lista roja de las aves del Ecuador*. Ministerio del Ambiente, Aves y Conservación, Comité Ecuatoriano de Registros Ornitológicos, Universidad del Azuay, Red Aves Ecuador y Universidad San Francisco de Quito.

GBIF.org. (2019). *GBIF Occurrence Download*. <https://doi.org/10.15468/dl.tnssyg>

Hijmans, R. J. (2019). *raster: Geographic data analysis and modeling. R package version 3.0-7*. <http://cran.r-project.org/package=raster>

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*, 25(15), 1965–1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>

- Hirzel, A. H., Hausser, J., Chessel, D., & Perrin, N. (2002). Ecological-Niche Factor Analysis: How to compute habitat-suitability maps without absence data? *Ecology*, 83(7), 2027–2036. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[2027:ENFAHT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[2027:ENFAHT]2.0.CO;2)
- IUCN. (2020). *The IUCN Red List of threatened species*. IUCN, Gland. <https://www.iucnredlist.org>
- Kessler, M. (2006). Bosques de Polylepis. *Botánica Económica de Los Andes Centrales*, 110–120.
- Lambertucci, S. (2007). Biología y conservación del Cóndor Andino (*Vultur gryphus*) en Argentina. *Hornero*, 22(2), 149–158.
- López-García, M. A. (2007). *Descripción y caracterización de nichos ecológicos: una visión más cuantitativa del espacio ambiental*. Centro de Investigación en Matemáticas, A.C.
- Luna-Romero, A., Ramírez, I., Sánchez, C., Conde, J., Agurto, L., & Villaseñor, D. (2018). Spatio-temporal distribution of precipitation in the Jubones river basin, Ecuador: 1975–2013. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 63–70. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.07>
- Martínez, L. (2006). *Comportamiento y uso de hábitat del Cóndor Andino (Vultur gryphus) en el Parque Nacional Natural Chingaza*. Universidad de Los Andes.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2012). Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental. *Subsecretaría Del Patrimonio Natural*.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2013). Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. *Subsecretaría de Patrimonio Natural*.
- Naveda-Rodríguez, A., Vargas, F. H., Kohn, S., & Zapata-Ríos, G. (2015). Censo Nacional del Cóndor Andino en Ecuador 2015. *Ministerio Del Ambiente y Grupo Nacional de Trabajo Del Cóndor Andino En Ecuador*. Quito, Ecuador, 18.
- Naveda-Rodríguez, A., Vargas, F. H., Kohn, S., & Zapata-Ríos, G. (2016). Andean Condor (*Vultur gryphus*) in Ecuador: Geographic Distribution, Population Size and Extinction Risk. *PloS One*, 11(3), e0151827. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151827>
- Neill, D. A. (1999). Catalogue of the Vascular Plants of Ecuador. In P. Jorgensen & S. León-Yáñez (Eds.), *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden* (Vol. 75, pp. 13–25).
- Pabón, J., Eslava, J., & Gómez, R. (2001). Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia. *Meteorología Colombiana*, 4, 47–59.

- Pebesma, E. J., & Bivand, R. S. (2005). Classes and Methods for Spatial Data in R. *R News*, 5(2). <https://cran.r-project.org/doc/Rnews/>
- Pourrut, P., & Pouyaud, B. (1995). El agua en el Ecuador: Clima, precipitaciones, escorrentía. In P. Pourrut (Ed.), *Estudios de Geografía*. Corporación Editora Nacional, Colegio de Geógrafos del Ecuador, ORSTOM.
- Rodríguez, S., Rodas, F., Schubert, A., & Vasco, S. (2014). *Área de Biósfera del Macizo del Cajas, Experiencias de Desarrollo Sostenible para el Buen Vivir*. ETAPA EP, Municipio de Cuenca, Ministerio del Ambiente, SENPLADES, Ministerio de Relaciones Exteriores, Cooperación Alemana GIZ, Naturaleza y Cultura Internacional.
- RStudio Team. (2020). *RStudio: Integrated Development Environment for R*. RStudio, PBC, Boston, MA. <https://www.rstudio.com>
- SIGTIERRAS. (2010). *Sistema Nacional de Informacion de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica | SIGTIERRAS*. <http://www.sigtierras.gob.ec/>
- Skov, H., Humphreys, E., Garthe, S., Geitner, K., Grémillet, D., Hamer, K. C., Hennicke, J., Parner, H., & Wanless, S. (2008). Application of habitat suitability modelling to tracking data of marine animals as a means of analyzing their feeding habitats. *Ecological Modelling*, 212(3–4), 504–512. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.11.006>
- Xuezhi, W., Weihua, X., Zhiyun, O., Jianguo, L., Yi, X., Youping, C., Zhao, L., & Huang, J. (2008). Application of ecological-niche factor analysis in habitat assessment of giant pandas. *Acta Ecologica Sinica*, 28(2), 821–828. [https://doi.org/10.1016/S1872-2032\(08\)60030-X](https://doi.org/10.1016/S1872-2032(08)60030-X)

ANEXOS

Anexo 1. Tabla de registros del Cóndor Andino.

Registro N°	Coordenadas Decimales	Elevación	Provincia	Cantón	Cobertura	Localidad
1	-79.220467; -2.796011	3893	Azuay	Cuenca	Páramo	Burines (PNC)
2	-79.228839; -3.0545	3855	Azuay	Cuenca	Páramo	Quimsacocha
3	-79.052864; -2.665867	3611	Cañar	Déleg	Páramo	Chanlud
4	-79.084711; -2.057853	3609	Cañar	Déleg	Páramo	Chanlud
5	-79.217225; -2.811044	3884	Azuay	Cuenca	Páramo	Burines (PNC)
6	-79.312364; -2.784392	4174	Azuay	Cuenca	Páramo	Migüir (PNC)
7	-79.325678; -2.862453	4117	Azuay	Cuenca	Páramo	Cerro Arquitectos (PNC)
8	-79.313023; -2.873694	4180	Azuay	Cuenca	Páramo	Cerro Arquitectos (PNC)
9	-79.293839; -2.802153	3616	Azuay	Cuenca	Bosque montano	Migüir (PNC)
10	-79.163486; -2.781656	3632	Azuay	Cuenca	Intervenido	Dos Chorreras (PCN)
11	-79.319733; -2.787975	3689	Azuay	Cuenca	Páramo	Miguir
12	-79.372947; -3.150197	3324	Azuay	Santa Isabel	Intervenido	Carachula (Shaglli)
13	-79.389494; -3.153028	2959	Azuay	Santa Isabel	Intervenido	Shagly
14	-78.818106; -2.384233	4293	Cañar	Cañar	Páramo	Cuchilla Tres (Juncal)
15	-78.853558; -2.414483	4113	Cañar	Cañar	Páramo	Lagunas de Culebrillas (Juncal)
16	-78.794481; -2.540503	3194	Cañar	Cañar	Páramo	Cerro Bolurco (Ingapirca)
17	-78.977192; -2.517314	2456	Cañar	El Tambo	Intervenido	El Tambo (Peñas de Ayaguaco)
18	-78.972689; -2.516764	2696	Cañar	El Tambo	Bosque montano	El Tambo (Peñas de Ayaguaco)
19	-79.254694; -2.783892	4279	Azuay	Cuenca	Páramo	Sayausí (Cerro Amarillo)
20	-79.236933; -2.952872	3342	Azuay	Cuenca	Intervenido	San Joaquín (Soldados)
21	-79.349456; -2.998461	3795	Azuay	Cuenca	Páramo	Chaucha (Pino Guadalupano)
22	-79.285858; -2.907447	4068	Azuay	Cuenca	Páramo	San Joaquín (Cerro Napalé)
23	-79.226756; -3.395058	2676	Azuay	Oña	Intervenido	El Progreso (Pampas de la Virgen)
24	-79.046944; -3.571389	3383	Azuay	Oña	Páramo	Lagunas de Saraguro (Yacuambi, Oña)

25	-79.154361; -3.435125	2233	Azuay	Oña	Matorral seco	San Felipe de Oña
26	-79.092175; -2.730646	3658	Cañar	Biblián (Nazón)	Páramo	Labrados (Páramo Complejo Elecaastro)
27	-79.164534; -2.844859	3477	Azuay	Cuenca	Páramo	Llaviucu (PNC)
28	-79.27524; -2.75162	4414	Azuay	Cuenca (Sayausí)	Páramo	Quintahuayco
29	-79.238029; -2.869681	3980	Azuay	Cuenca (Sayausí)	Páramo	Hunanchi
30	-79.324785; -2.881184	4005	Azuay	Cuenca	Páramo	Camino a Yacutubiana (PNC) Sayausí
31	-79.264486; -2.908653	3835	Azuay	Cuenca	Páramo	Estrellascocha
32	-79.264564; -2.889047	3961	Azuay	Cuenca	Páramo	Tucshi
33	-79.221178; -2.819378	3904	Azuay	Cuenca	Páramo	Osohuayco
34	-79.20276936; -3.077882328	3675	Azuay	Cuenca	Páramo	Quimsacocha (Sombrerera)
35	-79.30082167; -2.871020509	3889	Azuay	Cuenca	Páramo	Dublaycocha
36	-79.300991; -2.872025	3895	Azuay	Cuenca	Páramo	Dublaycocha
37	-79.265097; -3.101036	3875	Azuay	Cuenca	Páramo	Ventanas Hacienda San Antonio
38	-79.355602; -3.151346	3548	Azuay	Santa Isabel	Páramo	Carachula (Shaglli)
39	-79.291733; -2.896212	3937	Azuay	Cuenca	Páramo	Lagunas de Napalé
40	-79.014573; -2.68137	3758	Cañar	Biblián	Páramo	Chanlud
41	-79.236111; -3.427944	2505	Azuay	Nabón	Matorral seco	Poetate
42	-79.209722; -2.83	3745	Azuay	Cuenca	Páramo	PN El Cajas
43	-79.26; -3.45	2310	Azuay	Nabón	Matorral seco	Cerro Zapote
44	-79.144529; -2.843227	3150	Azuay	Cuenca	Bosque montano	Llaviucu (PNC)
45	-79.270686; -2.877889	3975	Azuay	Cuenca	Páramo	Ventanas
46	-79.253225; -3.052154	3827	Azuay	San Fernando	Páramo	Quimsacocha (Tres Lagunas)
47	-79.317686; -2.975181	3778	Azuay	Cuenca	Páramo	Pimo
48	-79.253169; -3.421222	2362	Azuay	Nabón	Intervenido	Poetate
49	-79.370186; -3.150158	3352	Azuay	Santa Isabel	Intervenido	Carachula (Shaglli)
50	-79.216312; -3.042259	3751	Azuay	Cuenca	Páramo	Quimsacocha (Río Falso)
51	-79.220717; -3.049031	3795	Azuay	Cuenca	Páramo	Quimsacocha (Río Falso)
52	-79.23746; -3.01947	3758	Azuay	Cuenca	Páramo	Chumblín
53	-78.937847; -2.434343	3855	Cañar	Cañar	Páramo	Culebrillas
54	-79.380961; -2.982906	3770	Azuay	Cuenca	Páramo	Pimo
55	-79.253101; -3.421259	2371	Azuay	Nabón	Intervenido	Poetate

56	-79.219352; -3.037083	3812	Azuay	Cuenca	Páramo	Chuyacocha
57	-79.270619; -2.87792	3931	Azuay	Cuenca	Páramo	Ventanas
58	-79.214586; -3.041605	3748	Azuay	Cuenca	Páramo	Quimsacocha
59	-79.213913; -3.051858	2804	Azuay	Cuenca	Páramo	Quimsacocha
60	-79.347261; -2.812552	3756	Azuay	Cuenca	Páramo	Migüir (PNC)