

Estado del conocimiento y vacíos de conservación de las especies focales, en la fauna de Andes Nororientales.

Eliana Lizeth Marín Quintero

Trabajo de Grado para Optar el título de Bióloga.

Director

Manuel Rodríguez Rocha

Biólogo, Máster en Manejo y Conservación de Bosques del CATIE, Costa Rica.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias

Escuela de Biología

Bucaramanga

2021

## Tabla de Contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	9
1. Objetivos .....	12
1.1 Objetivo General .....	12
1.2 Objetivos Específicos .....	12
2. Cuerpo Del Trabajo .....	13
2.1 Marco Referencial .....	13
2.1.1 Revisión De Información .....	13
2.1.2 Análisis De Vacíos Y Modelos De Distribución .....	14
2.1.2.1 Modelos De Distribución Potencial De Especies .....	14
2.1.2.2 Modelos De Distribución De Especies Sdm .....	15
2.1.2.3 Procedimiento De Los Sdm .....	15
2.1.2.3.1 Tipo De Datos .....	16
2.1.2.3.2 Variables Ambientales .....	17
2.1.2.3.3 Método De Modelado .....	18
2.1.2.3.4 Calibración Del Modelo .....	21
2.1.2.3.5 Validación De Modelo .....	21
2.2 Método .....	23
2.2.1 Área De Estudio .....	23
2.2.2 Bibliometría De La Fauna En Andes Nororientales .....	25
2.2.2.1 Generación De Base De Datos .....	25
2.2.2.2 Análisis De Datos .....	27
2.2.3 Establecimiento De Las Especies Focales .....	29
2.2.3.1 Generación De Base De Datos .....	29
2.2.3.2 Especies Focales .....	30
2.2.3.2.1 Criterios Operacionales O De Priorización .....	30
2.2.4 Modelos De Distribución Potencial De Las Especies Focales .....	31
2.2.4.1 Variables Ambientales .....	32
2.2.4.2 Selección De Las Variables Ambientales .....	32
2.2.4.3 Calibración Y Predicción .....	33
2.2.4.4 Validación Del Modelo .....	35
2.2.4.5 Proyección Del Modelo .....	35
2.2.5 Vacíos De Conservación Para Las Especies Focales .....	35

2.3 Resultados .....	36
2.3.1 Bibliometría De La Fauna En Andes Nororientales .....	36
2.3.2 Modelos De Distribución Potencial De Las Especies Focales .....	42
2.3.3 Vacíos De Conservación Para Las Especies Focales.....	50
2.4 Discusión.....	56
2.4.1 Bibliometría De La Fauna En Andes Nororientales .....	56
2.4.2 Especies Focales .....	59
2.4.3 Modelos De Distribución Potencial Y Vacíos De Conservación Para Las Especies Focales.....	60
3.Conclusiones .....	64
4.Recomendaciones .....	65
Referencias Bibliográficas .....	67

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Representación Del Procedimiento De Los Sdm .....	15
Figura 2. Discriminación De Los Logaritmos De Sdm. ....	20
Figura 3. Curva Roc.....	22
Figura 4. Área De Estudio .....	24
Figura 5. Diagrama De Flujo De La Construcción Y Calibración Del Modelo. ....	34
Figura 6. Boxplot Del Número De Estudios De La Fauna En Los Andes Nororientales Durante 5 Periodos. ....	38
Figura 7. Diagrama De Barras Del Número De Estudios Por Año Y Departamento De La Fauna De Andes Nororientales.....	39
Figura 8. Diagrama De Barras Del Número De Estudios De La Fauna Por Área Protegida Y Jurisdicción En Andes Nororientales. ....	40
Figura 9. Diagrama De Barras Del Número De Estudios De La Fauna Por Nivel Taxonómico En Andes Nororientales. ....	41
Figura 10. Diagrama De Barras Del Número De Estudios De Fauna Por Categoría En Andes Nororientales. ....	41

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 <i>Información Biológica Georreferenciada.</i> .....	16
Tabla 2. <i>Variables Climáticas De “Worldclim</i> .....	17
Tabla 3 <i>Logaritmos De Modelamiento Utilizados Para Los Sdm.</i> .....	19
Tabla 4 <i>Ejemplo De Base De Datos De Documentación Faunística Encontrada En Andes Nororientales.</i> .....	26
Tabla 5. <i>Composición De Base De Datos De Puntos Georreferenciados.</i> .....	30
Tabla 6. <i>Criterios De Priorización Y Sus Valores</i> .....	31
Tabla 7. <i>Valores De P De La Prueba De Turkey</i> .....	37
Tabla 8. <i>Especies Focales De Acuerdo Con Los Criterios De Selección.</i> .....	42
Tabla 9. <i>Tabla Resumen De Los Resultados De Modelación</i> .....	43
Tabla 10. <i>Resumen Del Cálculo De Áreas</i> .....	50
Tabla 11. <i>Porcentajes De Área Y Acciones De Manejo Para Las Especies Focales.</i> .....	55

**Lista de Apéndices**

	<b>Pág.</b>
Apéndice A. Script - Bibliometría .....	79
Apéndice B. Script - Selección de variables predictoras .....	79
Apéndice C. Script - Calibración, predicción, evaluación y proyección de los modelos .....	79
Apéndice D. Script - Cálculo de áreas .....	79
Apéndice E. Base de datos: Andes Nororientales .....	79
Apéndice F. Base de datos: especies priorizadas y selección de especies focales .....	80
Apéndice G. Distribución potencial de las especies focales .....	80

## Resumen en español

**Título:** Estado del conocimiento y vacíos de conservación de las especies focales, en la fauna de Andes Nororientales \*

**Autor:** Eliana Lizeth Marín Quintero \*\*

**Palabras Clave:** Bibliometría, Especies focales, Modelos de distribución, Conservación, Sistema Nacional de Áreas Protegidas SINAP.

La diversidad faunística encontrada en los Andes colombianos, es el resultado de complejos procesos biogeográficos y la interacción de ecosistemas diversos que promueven la especiación y la disponibilidad de hábitat. A pesar de encontrarse posicionada como punto caliente de diversidad, diferentes autores han realizado sugerencias con el fin de avanzar en el conocimiento de información y los vacíos de conservación para la fauna en los Andes Nororientales. En este trabajo se realizó un análisis bibliométrico de la información faunística disponible, se utilizó la documentación por departamentos, áreas protegidas, categorías y nivel taxonómico en el programa Rstudio. Se estableció las especies focales por medio de tres criterios operacionales y un filtro de georreferenciación. Se identificó la distribución potencial de las especies focales y los vacíos de conservación de estas, Por medio de presencias y pseudoausencias, variables ambientales (*wordclim*) y método de modelado MaxEnt, todo esto utilizado en el programa RStudio. De manera general, se obtuvo una base de datos con la revisión de 286 estudios, publicada entre los años 1942-2018, compuesta por 103 artículos, 69 tesis, 18 notas científicas y boletines, 79 documentos de autoridades ambientales, 5 libros y 12 documentos entre reportes, informes y guías. Se encontró diferencias significativas entre los periodos explorados. De los 3 departamentos, Santander fue representativo en el número de estudios. Además, se identificaron 15 especies como focales mediante criterios de priorización que corresponden a: *A. castaneiventris*, *A. griseimembra*, *C. hypoleucus*, *C. apolinari*, *C. alixii*, *C. bonapartei*, *C. alberti*, *G. melanops*, *H. amazonina*, *M. subalaris*, *O. strophium*, *P. calliptera*, *R. semiplumbeus*, *T. nicefori* y *V. gryphus*. Para las especies anteriormente mencionadas, se obtuvo una distribución potencial en función de su nicho climático de alta y buena precisión. Finalmente, se consideró que se encuentran vacíos de conservación para las especies que poseen más de un 70% de área idónea por fuera de área protegida y no poseen acciones de conservación identificadas.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Director: Manuel Rodríguez Rocha. Biólogo, Máster en Manejo y Conservación de Bosques del CATIE, Costa Rica.

### Resumen en ingles

**Title:** State knowledge and gaps conservation of focal species in the Fauna, of North-Eastern Andes\*.

**Author:** Eliana Lizeth Marín Quintero\*\*

**Key Words:** Bibliometrics, Focal Species, Distribution Models, Conservation, National System of Protected Areas SINAP.

The fauna diversity found in the Colombian Andes, is the result of complex biogeographic processes and the interaction of diverse ecosystems that promote speciation and habitat availability. Despite being positioned as a diversity hotspot, different authors have made suggestions in order to advance the knowledge of information and conservation gaps for fauna in the Northeast Andes. In this work, a bibliometric analysis of the available faunal information was carried out. Documentation by departments, protected areas, categories and taxonomic level, were used in the Rstudio program. The focal species were established by means of three operational criteria and a georeferencing filter. The potential distribution of the focal species and their conservation gaps were identified, by means of presences and pseudo-absences. Environmental variables (wordclim), and the MaxEnt modeling method, all of this used in the RStudio program. In general, a database was obtained with the review of 286 studies, published between the years 1942-2018, consisting of 103 articles, 69 theses, 18 scientific notes and bulletins, 79 documents from environmental authorities, 5 books and 12 documents. Between reports, and guides. Significant differences were found during the periods explored. Of the 3 departments, Santander was representative in the number of studies. In addition, 15 species were identified as focal through prioritization criteria that correspond to: *A. castaneiventris*, *A. griseimembra*, *C. hypoleucus*, *C. apolinari*, *C. alixii*, *C. bonapartei*, *C. alberti*, *G. melanops*, *H. amazonina*, *M. subalaris*, *O. strophium*, *P. calliptera*, *R. semiplumbeus*, *T. nicefori* and *V. gryphus*. For the aforementioned species, a potential distribution based on their climatic niche of high and good precision was obtained. Finally, it was considered that there are conservation gaps for species that have more than 70% of an ideal area outside the protected area, and do not have identified conservation actions.

---

\* Degree Work

\*\* Science Faculty. Biology School. Director: Manuel Rodríguez Rocha, M.Sc.

## Introducción

Según datos del Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SIB, 2019), la biodiversidad colombiana posee 58,312 especies registradas, lo que representa un aproximado del 10% de la diversidad a nivel mundial (Wilson & Reeder, 1993, p. 1206). De igual modo, la riqueza faunística de los Andes en el país se encuentra posicionada en el primer lugar, con un registro de 974 especies de aves, 484 de anfibios, 274 de reptiles y 329 de mamíferos, comprendidos en Trece ecorregiones con gran variedad de ambientes físicos (Rangel-Ch, 2015; Rodríguez et al., 2006). Así mismo, los Andes representan una zona de alto endemismo y diversidad biológica, lo cual, permite ser un foco de estudio y conservación debido a su historia geológica y evolutiva, caracterizada por el aislamiento, la extinción, las variaciones altitudinales y las radiaciones adaptativas generadas por el surgimiento de sus cordilleras (Marshall et al., 1982; Myers et al., 2000).

De acuerdo con lo anterior, los departamentos de Boyacá, Santander y Norte de Santander conforman los Andes Nororientales y pese a poseer ocho áreas protegidas por Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNNC) y cinco corporaciones con áreas a su cargo entre su jurisdicción (Parques Nacionales Naturales de Colombia [PNNC], 2016, 2018), la diversidad de su fauna continúa siendo poco explorada, encontrando vacíos de conocimiento. Por lo tanto, algunos trabajos desarrollados en estas instituciones y sobre la región, han mencionado que algunas partes presentan zonas de difícil acceso, además sugieren realizar más investigaciones, ampliar los rangos de estudio de esta forma conocer más sobre las especies del área, del mismo modo, verificar la incidencia de las actividades antrópicas sobre las poblaciones, generar estudios fitogeográficos, evaluar aspectos de amenazas que podrían estar afectando a las especies para establecer el efecto de la viabilidad en las poblaciones, estudios sobre el rango de acción de las poblaciones y el área

mínima necesaria para su supervivencia, así como el establecimiento de programas de conservación y monitoreo (Acevedo-Charry, 2017; Acevedo et al., 2011; Armesto et al., 2009; Avendaño, 2010; Cáceres-Martínez et al., 2017; Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt [IAvH], 2015; Olarte-Quiñonez et al., 2016; Peraza, 2001; Silva Garnica, 2003; Villanueva, 2006)

Las sugerencias anteriormente mencionadas, se han hecho con el fin de llenar vacíos de conocimiento y conservación existentes, en base a la diversidad faunística de los Andes Nororientales. Sin embargo, este tipo de información se puede recopilar, analizar y complementar mediante estudios bibliométricos y análisis de vacíos, mediante modelos de distribución potencial de las especies que se encuentran en el área de interés.

Por lo tanto, se conoce como bibliometría al estudio de los aspectos cuantitativos de documentos registrados (publicaciones científicas, tesis, documentos de corporaciones, entre otros), el cual, permite realizar análisis y evaluar la producción científica e identificar vacíos en el conocimiento de ciertas disciplinas o de ciertos lugares. Con esto, generar pronósticos y tomar decisiones que aporten a dichos procesos (Araujo-Ruiz & Arencibia-Jorge, 2002; Broadus, 1987; Morales-Morejón & Cruz, 1995). El estudio más reciente de este tipo en Colombia analizó la información bibliográfica en el periodo de 1900-2011, presentando tendencias temporales, patrones geográficos, temáticas y estadística básica, encontrando que los temas menos estudiados son referentes a la diversidad genética y la conservación, además, encontró que el mayor número de estudios pertenecen a los departamentos de Antioquia y Valle del Cauca (Arbeláez-Cortés, 2013).

Por otra parte, actualmente se cuenta con herramientas tecnológicas y diseños estratégicos para la evaluación de las áreas de interés, así como los acuerdos establecidos en la séptima conferencia del programa de áreas protegidas (COP-7) del 2004, en relación al uso del análisis de vacíos “*Gap*

*Analisis*”(Andrade-Pérez & Corzo-Mora, 2011; Arango et al., 2003). Así mismo, para identificar estos vacíos, orientar iniciativas de conservación sobre la biodiversidad, aportar al desarrollo de planes y estrategias sobre el impacto potencial de los cambios biofísicos sobre las especies, son utilizados los modelos de distribución de especies (SDM, *Species Distribution Modelling*, por sus siglas en inglés) (Cayuela et al., 2008).

El estudio de la fauna perteneciente a los Andes Nororientales es de gran interés considerando que, además de evidenciar el estado en el cual se encuentra el territorio, permite conocer la distribución de las especies en zonas no exploradas y su estado de conservación, promoviendo el aumento de los inventarios y consigo los valores de diversidad que permitan generar análisis con mayor robustez, implementar medidas de manejo, activar programas de monitoreo y conservación en las especies que muestran sensibilidad debido a acciones antropogénicas. Por lo cual, el presente proyecto tiene por objetivo evaluar el estado actual de conocimiento y vacíos de conservación sobre la fauna de los Andes Nororientales de Colombia. De tal manera, se reconoce que se requiere mejorar los mecanismos de gestión de la información para el desarrollo de procesos de modelación que permitan una toma informada de decisiones para el manejo de los territorios en un contexto de conservación.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Analizar el estado actual de conocimiento y vacíos de conservación sobre la fauna de los Andes Nororientales.

### **1.2 Objetivos Específicos**

- Analizar la información faunística relacionada con fauna silvestre disponible en repositorios, revistas indexadas, bases de datos y documentos técnicos de autoridades ambientales pertenecientes a los departamentos de Boyacá, Santander y Norte de Santander.
- Establecer las especies focales mediante el uso de criterios de categoría de amenaza, endemismo y especies Valores Objeto de Conservación (VOC) o con un grado de importancia para las autoridades ambientales del área.
- Identificar la distribución potencial de las especies focales establecidas por el grupo de trabajo de la Dirección territorial de Andes Nororientales (DTAN).
- Identificar los vacíos de conservación para las especies focales establecidas para la región de los Andes Nororientales.

## 2. Cuerpo del Trabajo

### 2.1 Marco Referencial

#### 2.1.1 *Revisión de información*

El incremento de la disponibilidad de recursos digitales a través de los años han permitido acceder a documentación de manera eficaz, mediante el uso de bases de datos con información sobre la biodiversidad, posibilitando nuevos estudios con esta información (Soberón & Peterson, 2004). Por medio de la idea del uso de recuentos de las publicaciones científicas, se abre paso a la bibliometría (Narin, 1994). Una definición reciente es descrita por Li & Zhao (2015) “Bibliometría se refiere a la metodología de investigación empleada en bibliotecas y ciencias de la información, que utiliza análisis cuantitativos y estadísticas para describir los patrones de distribución de artículos dentro de un tema, campo, institución o país dado” (p. 158).

Colombia ha venido aumentando en un 244% su producción científica entre el periodo de 2005-2014 (Lemarchand, 2015). El primer estudio bibliométrico unificador sobre la actividad investigativa de la biodiversidad fue realizado por Rincón (2001), con análisis entre el periodo de 1995-1999, y resultados de 40% de investigaciones para Colombia en general, un 25% de estudios para la región de los Andes y poca participación de la Orinoquía, Amazonía y Caribe. Posteriormente, se publicó un artículo con una base de datos de 5,264 estudios realizados sobre la biodiversidad colombiana, en donde se encontró una tendencia general al incremento en el número de estudios a través de los años, inclusive, se halló que el grupo con más publicaciones es la clase Insecta con 1,564 estudios, además, los departamentos como Boyacá, Santander, Chocó y Nariño ascendieron en el escalafón para temas de conservación y nuevos taxones (Arbeláez-Cortés, 2013).

### **2.1.2 *Análisis de vacíos y modelos de distribución***

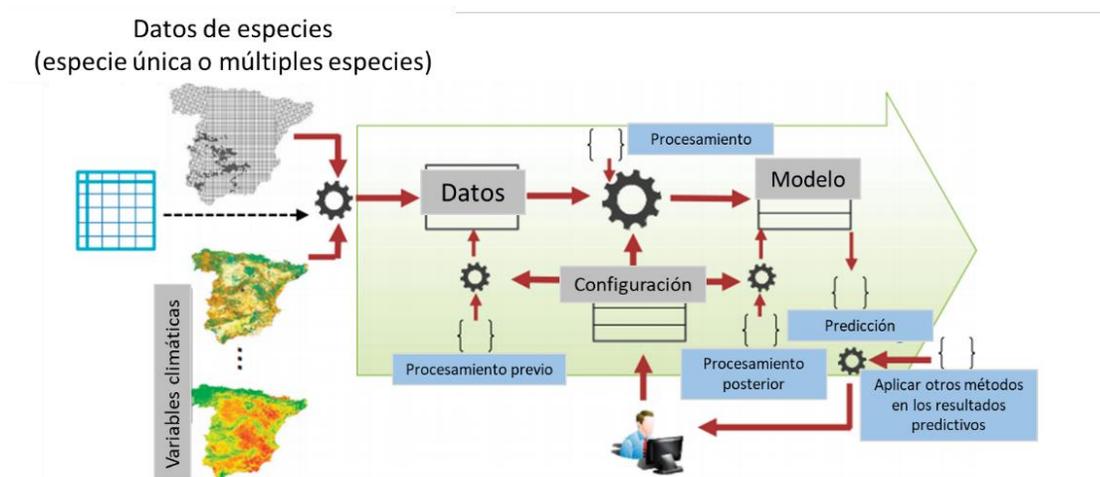
Los vacíos de conservación son empleados para identificar las zonas que no se encuentran representadas en áreas protegidas, y son potenciales para la conservación respecto a la fauna y flora encontrada en el lugar, mediante el uso de información espacialmente explícita y la superposición de información con conocimiento ecológico (Scott et al., 1993). Es decir, comparar las distribuciones de la biodiversidad con las áreas protegidas y de esta forma observar si las especies y los ecosistemas se encuentran con baja protección o con ausencia de esta (Dudley & Parrish, 2007). Cabe resaltar que los vacíos de conservación se pueden ejecutar con diferentes grupos objeto, así como para ciertas especies en particular u otros niveles de la biodiversidad (Arango et al., 2003).

De tal manera, el desarrollo de los modelos de distribución de especies, posibilitan la identificación de los vacíos de conservación.

**2.1.2.1 Modelos de distribución potencial de especies.** También conocido como modelo predictivo de distribución de hábitat, modelado de nicho y entre otros términos, este tipo de modelos es apropiado para el estudio de la distribución de variables geográficas relacionadas con el manejo de la vida silvestre, evaluaciones regionales de la biodiversidad, priorización de la conservación espacial, biología evolutiva y epidemiología (Guisan & Zimmermann, 2000; Miller, 2010; Peterson & Soberón, 2012).

**2.1.2.2 Modelos de distribución de especies SDM.** Los SDM se basan en el concepto de nicho ecológico, son logaritmos estadístico-analíticos y se corren utilizando observaciones de campo y mapas ambientales para encontrar la distribución geográfica de las especies y sus cambios a factores ambientales (Franklin, 2010). Por lo tanto, generan una distribución potencial de las especies, lo que permite tomar decisiones acerca de la conservación de la especie, realizar seguimiento y dirigir esfuerzo de investigación hacia ciertas áreas (Scott et al., 2003). Los resultados de los SDM son sensibles a las reglas específicas utilizadas para parametrizarlos, cuando los modelos se implementan en diferentes plataformas, las reglas utilizadas para ajustarlos pueden no ser comparables (Naimi & Araújo, 2016).

**2.1.2.3 Procedimiento de los SDM.** Para la construcción de un SDM, de manera práctica, Naimi & Araújo (2016) presentan una representación esquemática del procedimiento (*Figura 1*), donde se incluyen de manera general los procedimientos previos y posteriores para llevar a cabo la distribución potencial.



**Figura 1.** Representación del procedimiento de los SDM. Tomado de: Naimi, B., & Araújo, M. B. (2016). sdm : a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. *Ecography*, 39(October 2017), 001-008. <https://doi.org/10.1111/ecog.01881>

*Nota.* Representación esquemática de la ruta de trabajo de los SDM. Modificado de: sdm: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling, 2016.

**2.1.2.3.1 Tipo de datos.** Los datos biológicos georreferenciados permiten obtener la distribución de las especies, estos pueden ser medidos de forma nominal (presencia/ausencia), ordinal (rango de abundancia) y de proporción (abundancia y riqueza), (Miller, 2010).

Los datos utilizados para el modelamiento de especies son de tipo nominal, sin embargo, los datos de ausencia se pueden utilizar de 3 diferentes formas: primero, ausencia estricta (datos derivados de un inventario, es decir, donde se tenga la seguridad que las especies no tienen presencia en el área). Segundo, Pseudoausencia (se generan datos al azar de un área especificada, sin incluir áreas de presencia de la especie). Tercero, fondo o “*Background*” (al igual que la pseudoausencia, se generan datos al azar, pero se pueden encontrar áreas donde posiblemente se encuentren o se han observado las especies), de tal manera, este tipo de ausencias facilita una discriminación en el tipo de logaritmos del modelado, además, los datos de presencia pueden ser encontrados en bases de datos (**Tabla 1**), para el desarrollo de diferentes estudios sobre los tipos de vida en la tierra (Elith et al., 2011; Graham et al., 2004; Miller, 2010; Peterson et al., 2011).

**Tabla 1.**  
*Información biológica georreferenciada*

Base de datos	Información contenida	Enlace
Global Biodiversity Information Facility (GBIF).	Especies de plantas, animales, hongos y microorganismos.	<a href="https://www.gbif.org/">https://www.gbif.org/</a>
Sistema de información sobre Biodiversidad de Colombia (SIB).	Especies de invertebrados, vertebrados, plantas, hongos y microorganismos.	<a href="https://datos.biodiversidad.co/">https://datos.biodiversidad.co/</a>
VertNet	Incluye las cuatro redes clásicas de vertebrados (FishNet, MaNis, HerNet, ORNIS), colectados por los museos de historia natural de todo el mundo.	<a href="http://portal.vertnet.org/search">http://portal.vertnet.org/search</a>

*Nota:* Bases de datos utilizadas en este proyecto.

**2.1.2.3.2 Variables ambientales.** De acuerdo con la figura 1, aparte de los puntos georreferenciados de las especies, se necesitan las capas en formato raster de las variables ambientales para la construcción de modelo (Naimi & Araújo, 2016). Estas variables ambientales presentan una combinación en las variables climáticas y topográficas (describen los gradientes directos, indirectos y de recursos), siendo los predictores más utilizados en SDM (Miller, 2010).

Una de las fuentes digitales más utilizadas para la obtención de variables ambientales (bioclimáticas) es “WorldClim” (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011), esta posee información de 19 capas climáticas globales (**Tabla 2**), desde resoluciones de 1 Km, obtenidas a través de la interpolación de los promedios de los datos climáticos mensuales entre los años 1970 – 2000, derivadas de la temperatura mensual (mínima, media y máxima), precipitación, radiación solar, presión de vapor y velocidad del viento (Fick & Hijmans, 2017).

**Tabla 2.**  
*Variables climáticas de “WorldClim”*

<b>Código</b>	<b>Variables bioclimáticas</b>
BIO 1	Temperatura promedio anual
BIO 2	Promedio del rango diario (Promedio mensual (T° máx. - T° min.))
BIO 3	Isotermalidad (BI02/BI07) * 100
BIO 4	Temperatura estacional (Desviación estándar *100)
BIO 5	Temperatura máxima del periodo más caliente
BIO 6	Temperatura mínima del periodo más frío
BIO 7	Rango anual de temperatura (BI05-BI06)
BIO 8	Temperatura media en el trimestre más lluvioso
BIO 9	Temperatura promedio en el trimestre más seco
BIO 10	Temperatura promedio en el trimestre más caluroso
BIO 11	Temperatura promedio en el trimestre más frío
BIO 12	Precipitación anual
BIO 13	Precipitación en el periodo más lluvioso
BIO 14	Precipitación en el periodo más seco

Código	Variables bioclimáticas
BIO 15	Estacionalidad de la precipitación (Coeficiente de variación)
BIO 16	Precipitación en el trimestre más lluvioso
BIO 17	Precipitación en el trimestre más seco
BIO 18	Precipitación en el trimestre más caluroso
BIO 19	Precipitación en el trimestre más frío

Cuando se utilizan muchas variables climáticas (20 o más), se puede caer en el error de utilizar variables altamente correlacionadas, esto debido a que se puede sobre ajustar el modelo generando una escasa representación geográfica de la distribución de la especie. Y en el caso de utilizar muy pocas variables climáticas, se puede dar una distribución geográfica grande, saliéndose de los patrones de la realidad; por tanto, ambos extremos no se ajustan a lo deseado (Peterson et al., 2011). Para solucionar estos inconvenientes, Baselga y Araújo (2009) mencionan que se ha utilizado ampliamente por investigadores el análisis de correlación múltiple para identificar las variables menos correlacionadas. Mientras que otros autores utilizan un análisis de componentes principales (PCA) sobre una matriz de correlación, así reducir la dimensionalidad de las variables (Peterson et al., 2007, 2011; Simões & Peterson, 2018).

**2.1.2.3.3 Método de modelado.** Una vez obtenidos los datos de presencia/ausencia y las variables climáticas, se debe proceder a la evolución de los algoritmos de modelamiento (**Tabla 3**), es decir, escoger el método adecuado dependiendo de los datos para el desarrollo de los modelos mediante diferentes aproximaciones matemáticas (Mota-Vargas et al., 2019).

Existen tres técnicas de clasificación de logaritmos: discriminantes (necesitan datos de presencia y ausencia para construir el clasificador), descriptivas (necesitan solo datos de presencia), y mixtas (se utilizan tanto reglas descriptivas y discriminantes, combina varios modelos generados con los mismos datos para reducir la incertidumbre) (Mateo et al., 2011).

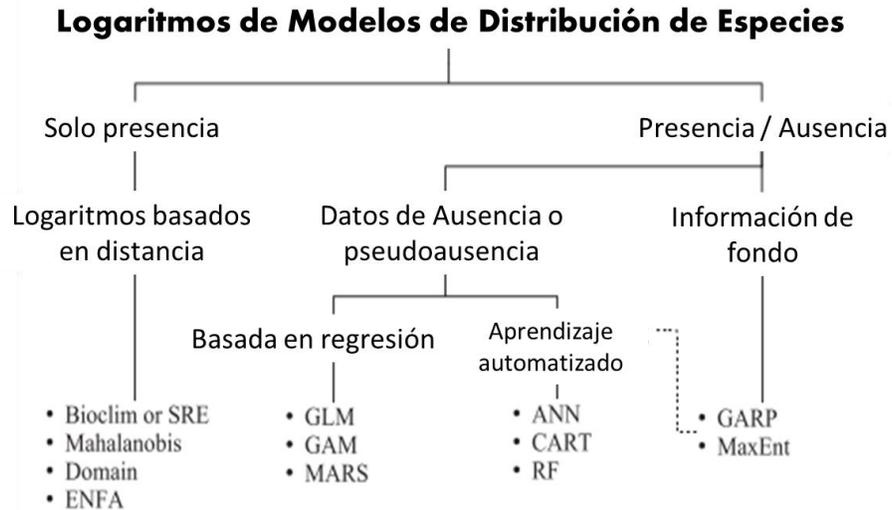
Pecchi et al., (2019) presenta 12 métodos de SDM y una discriminación en el momento de escogerlo de acuerdo con sus tipos de datos (*Figura 2*).

**Tabla 3.**

*Logaritmos de modelamiento utilizados para los SDM.*

<b>Nombre</b>	<b>Logaritmo</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Datos biológicos</b>
BIOCLIM	Envolturas bioclimáticas	Descriptivas	Presencias
ENFA	Análisis factorial del nicho ecológico	Descriptivas	Presencias
CONVEX HULL	Episodios de Volumen	Descriptivas	Presencias
MVE	Elipsoides de volumen mínimo	Descriptivas	Presencias
KDE	Estimación de la densidad de Kernell	Descriptivas	Presencias
MA	Marble	Descriptivas	Presencias
DOMAIN	Distancia de Gower (disimilaridad entre ambientes)	Descriptivas	Presencias
GARP	Logaritmos genéticos	Mixtas	Presencias/Entorno o fondo
MAXENT	Máxima Entropía	Discriminantes	Presencia/Entorno o fondo
BRT	Árboles de regresión impulsado	Discriminantes	Presencia/Ausencia o Pseudoausencia
GLM	Modelos lineales generalizados	Discriminantes	Presencia/Ausencia o Pseudoausencia
GAM	Modelos Aditivos Generalizados	Discriminantes	Presencia/Ausencia o Pseudoausencia

*Nota:* Información tomada y modificada de Mota-Vargas et al., (2019) y Mateo et al., (2011).



**Figura 2.** Discriminación de los logaritmos de SDM. Tomado de: Pecchi, M., Marchi, M., Burton, V., Giannetti, F., Moriondo, M., Bernetti, I., Bindi, M., & Chirici, G. (2019). Species distribution modelling to support forest management . A literature review. *Ecological Modelling*, 411, 108817. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108817>

*Nota.* Modificado de: Species distribution modelling to support forest management. A literature review, 2019, doi:10.1016/j.ecolmodel.2019.108817.

### ***Modelos de Máxima Entropía (MaxEnt)***

Se conoce como el principio de máxima entropía cuando la aproximación satisface cualquier restricción sobre la distribución desconocida de la que tenga conocimiento y es sujeta a estas restricciones, la distribución deberá tener la máxima entropía (Jaynes, 1957). La distribución de probabilidad desconocida se denota como  $\pi$  y está sobre un conjunto finito  $X$  (elementos individuales de  $X$  como puntos, que luego se interpreta como el conjunto de píxeles en el área de estudio). La distribución  $\pi$  asigna una probabilidad no negativa  $\pi(x)$  a cada punto  $x$ , y estas probabilidades suman 1. Nuestra aproximación de  $\pi$  también es una distribución de probabilidad, y se denota como  $\hat{\pi}$ , donde es definida como:

$$H(\hat{\pi}) = - \sum_{x \in X} \hat{\pi}(x) \ln \hat{\pi}(x).$$

Al presentarse una distribución con una entropía alta, se encuentra menos restringida por lo que se puede interpretar en el sentido de que no se deben aplicar restricciones alternativas o infundadas en  $\hat{\pi}$ , se pueden abordar ciertas restricciones que representan información incompleta, es la

propiedad fundamental la cual justifica el uso de esa distribución para la inferencia; se acepta cualquier cosa conocida, pero cuidadosamente se evita asumir algo que no se conoce (Phillips et al., 2006).

**2.1.2.3.4**      *Calibración del modelo.* Pliscoff y Fuentes-Castillo (2011), mencionan que se le conoce como calibración a los análisis estadísticos que buscan el ajuste del modelo y este dependerá de logaritmo utilizado. Una herramienta para analizar los resultados del entrenamiento del modelo son las curvas de respuesta (gráficos con la distribución de las presencias sobre los valores de las variables descriptoras utilizadas).

Una vez obtenida la curva de respuesta mediante la calibración, se procede a generar la distribución potencial en el espacio geográfico de interés (Guisan & Zimmermann, 2000).

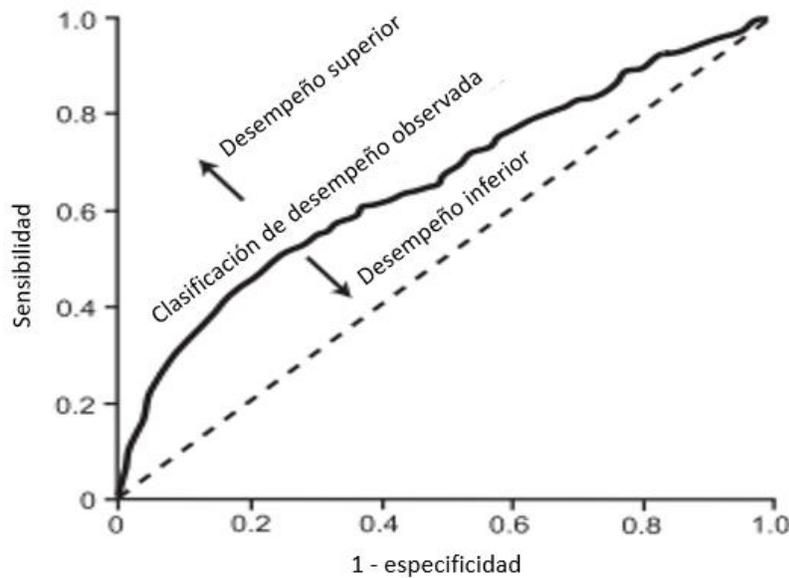
**2.1.2.3.5**      *Validación de modelo.* El enfoque de la validación del modelo se centra en la confiabilidad de los resultados de los logaritmos, en lugar de definirlos como correctos o incorrectos (Allouche et al., 2006). Por tanto, la manera adecuada para evaluar el modelo, es disponer un grupo de datos de presencia diferente al utilizado en la calibración, es decir, dividir los datos en dos sets uno para la calibración y otro para la evaluación (Guisan & Zimmermann, 2000).

Peterson et al. (2011), menciona que las medidas cuantitativas para evaluar el modelo son: dependiente de umbral (también conocidas como predicciones binarias) e Independiente de umbral (también conocidas como no binarias).

#### ***Independiente de umbral***

El estadístico más utilizado en la bibliografía es el AUC o el área bajo la curva ROC (**Figura 3Figura 4**), este representa la capacidad discriminativa para un modelo en todos sus posibles

puntos de corte, utilizando datos que sean de presencia/ausencia (Mateo et al., 2011), con un número mayor a 15-20 presencias únicas, ya que valores menores pueden incrementar artificialmente la consistencia del modelo (Veloz, 2009).



**Figura 3.** Curva ROC Tomado de: Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, P. A., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., & Bastos Araújo, M. (2011). *Ecological niches and geographic distributions*. Princeton University Press.

*Nota.* Tomado de: *Ecological Niches and Geographic Distributions*, 2011.

[https://www.researchgate.net/publication/230709994\\_Ecological\\_Niches\\_and\\_Geographic\\_Distributions](https://www.researchgate.net/publication/230709994_Ecological_Niches_and_Geographic_Distributions)

En su curva describe la tasa de identificación correcta de presencias (sensibilidad en Y) contra la tasa de falsas alarmas (1- especificidad en X) (Peterson et al., 2011). Por tanto, cuando la proporción de positivos es mayor a la de positivos falsos, la curva tenderá acercarse a la parte izquierda superior, reflejando el estadístico AUC; valores sobre 0,9 son modelos con alta precisión y valores entre 0,7 y 0,9 son modelos con buena precisión (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011).

## 2.2 Método.

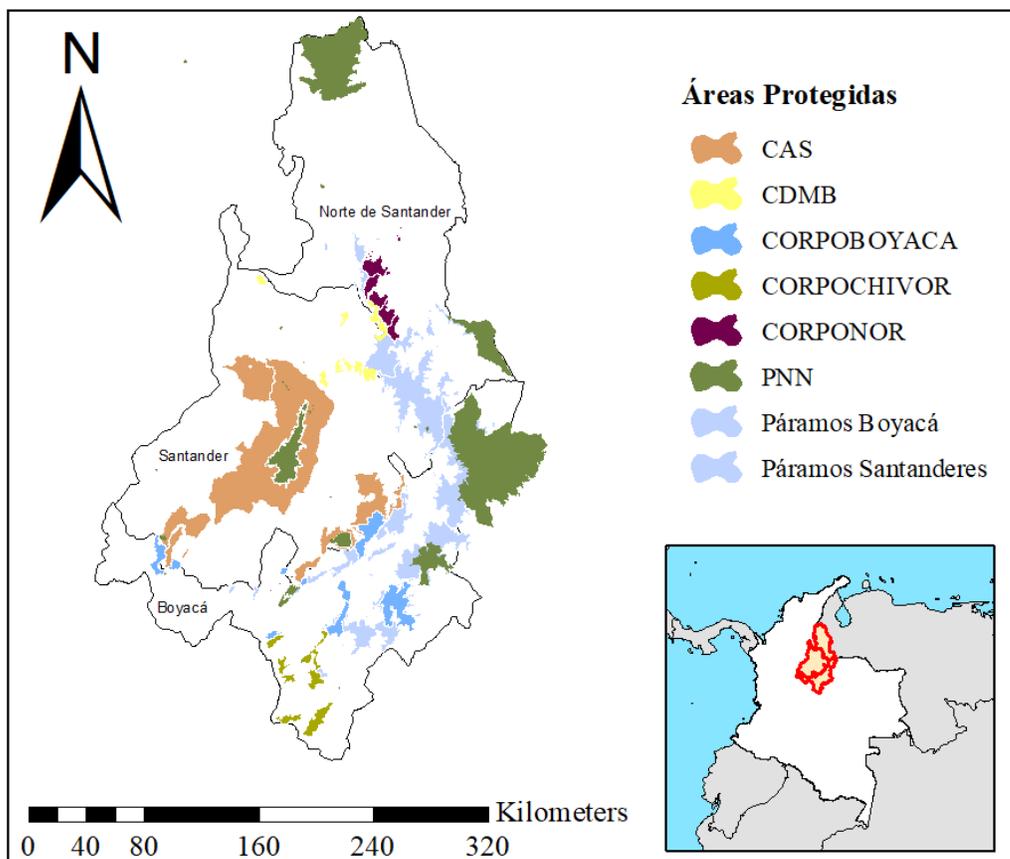
### 2.2.1 Área de estudio

Colombia posee un área aproximada de 280,000 km<sup>2</sup> perteneciente a los Andes, siendo un 24.52% del territorio nacional, ocupando 525,364 hectáreas con los orobiomas altoandino, subpáramo y páramo para la cordillera Oriental (Rodríguez et al., 2006). En este trabajo nos enfocaremos en los Andes Nororientales (**Figura 4**), específicamente hacia los siguientes departamentos:

Boyacá se encuentra ubicado entre 4°39'10" y 7°03'17" de Latitud Norte y los meridianos 71°57'49" y 74°41'35" de longitud al Oeste de Greenwich, con una extensión de 23,189 Km<sup>2</sup> y con el 8.74% de la región Andina, dispuesto en la parte central de la Cordillera Oriental, se destaca dentro de sus paisajes montañas, lomeríos, altiplanicies, piedemonte, planicies y valles aluviales. El clima que posee este departamento es variado debido a que se encuentra distribuido en todos los pisos térmicos y en cuatro regiones fisiográficas debido a su topografía (Instituto Geografico Agustín Codazzi [IGAC], 2005).

Santander está localizado 05°42'27" y 08°08'42" de latitud norte 72°28'23" y 74°31'35" de longitud Oeste de Greenwich, con una extensión de 30,537 km<sup>2</sup> al nororiente de Colombia y cuenta con una extensión equivalente al 2.7% del territorio nacional, se distinguen dos grandes unidades geográficas, el valle medio del río Magdalena y la cordillera Oriental. El clima que posee el departamento puede variar por las características del relieve cuatro pisos térmicos (cálido, medio, frío y páramo), predominado el cálido y el templado (Acevedo Latorre, 1953; Grupo de Investigación Sobre Desarrollo Regional y Ordenamiento Territorial [GIDROT], 2011).

Norte de Santander está localizado entre los  $06^{\circ}56'42''$  y  $09^{\circ}18'01''$  de latitud norte y los  $72^{\circ}01'13''$  y  $73^{\circ}38'25''$  de longitud Oeste de Greenwich. Cuenta con una superficie de 22,367  $\text{km}^2$  y con 10.3% de la región Andina, donde se distinguen tres regiones: la Serranía de los Motilones, el ramal que se desprende del nudo de Santurbán y, por último, la vertiente y valle del Catatumbo. El clima que posee el departamento puede variar por las características del relieve ya que se encuentran cuatro pisos térmicos: cálido, templado, frío y páramo (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC] 2006; Roncancio et al., 1998).



**Figura 4.** Área de estudio

*Nota.* Andes Nororientales pertenecientes a los Departamentos de Boyacá, Santander y Norte de Santander, Colombia. Incluyendo áreas protegidas correspondientes a Parques Nacionales Naturales PNN y corporaciones adscritas (CAS, CDMB, CORPOBOYACÁ, CORPOCHIVOR Y CORPONOR).

### 2.2.2 *Bibliometría de la fauna en Andes Nororientales*

**2.2.2.1 Generación de base de datos.** Durante el año 2019 se realizó una revisión bibliográfica para agrupar documentos con información faunística disponible en los Andes Nororientales. La búsqueda se realizó en las plataformas virtuales tales como: Google académico (<https://scholar.google.com/>) (Cabezas-Cavijo & Delgado-López-Cózar, 2013), bases de datos EBSCO por medio de la Universidad Industrial de Santander, repositorios de universidades (Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Universidad Nacional de Colombia, Pontificia Universidad Javeriana, Universidad de los Andes, Universidad de La Salle, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Universidad Industrial de Santander y Universidad de Pamplona), repositorio institucional Humboldt (<http://repository.humboldt.org.co/>) y documentaciones corporativas ambientales pertenecientes al Sistema Nacional De Áreas Protegidas de los Andes Nororientales SIRAP-AN.

Los filtros o palabras claves utilizadas en cada una de las búsquedas virtuales fueron: Fauna, aves, mamíferos, reptiles, anfibios, insectos, Santander, Norte de Santander, Boyacá, Andes, PNN Tamá, Santuario de Fauna y Flora SFF Iguaque, PNN Serranía de los Yariguíes, PNN Catatumbo Barí, SFF Guanentá Alto Río Fonce, PNN Cucuy y PNN Pisba.

Para las documentaciones correspondientes a las corporaciones, se realizaron comunicaciones directas y por medio de correo electrónico, donde se solicitó la información a cada entidad.

Los criterios utilizados en el momento de incluir la documentación fueron:

- Documentación centrada o relacionada con la fauna silvestre
- Documentación encontrada en el área de estudio

Para finalizar, se revisó cada documento, se extrajo la información necesaria y se generó una base de datos (**Tabla 4**).

**Tabla 4.**

Ejemplo de Base de datos de documentación faunística encontrada en Andes Nororientales.

<i>ítems</i>	<i>Descripción</i>
<i>Año</i>	2017
<i>Idioma</i>	ESP
<i>Título</i>	Diversidad de Triatominae (Hemiptera: Reduviidae) en Santander, Colombia: implicaciones epidemiológicas.
<i>Área Protegida</i>	Externa
<i>Ubicación</i>	Cañón del río Chicamocha, Valle medio del río Magdalena.
<i>Departamento</i>	Santander
<i>Proyecto</i>	Artículo
<i>Escala</i>	Municipal
<i>Nivel</i>	Subfamilia
<i>Taxón</i>	Triatominae
<i>Objetivo</i>	Analizar la diversidad de triatominos en dos regiones de Santander.
<i>Parámetros</i>	Diversidad
<i>Indicadores</i>	Obtención de la base de datos de los triatominos registrados en el Laboratorio de Entomología del CINTROP-UIS entre 1996 y 2008.
<i>Introducción</i>	En Santander se han reportado 14 especies de triatominos, este género transmite la enfermedad de Chagas, cuya principal vía de transmisión es vectorial, lo que genera un problema de salud pública. En Colombia se ha estimado que 437,960 habitantes se han infectado por este medio.
<i>Sistema</i>	El bosque húmedo premontano. La región se caracteriza por la presencia de cultivos de café y cacao, pastizales para la ganadería y extracción petrolera, y aún conserva remanentes de bosque primario y secundario.
<i>Métodos</i>	Se analizaron los datos correspondientes a 63 de los 83 municipios del departamento.
<i>Periodo climático</i>	No aplica
<i>Resultados</i>	Se encontraron nueve especies con 11,564 individuos para la zona andina y para el magdalena medio 10 especies con 554 individuos.

<i>ítems</i>	<i>Descripción</i>
<b>Análisis</b>	Se aplicó el análisis de diversidad (curva de acumulación, riqueza, abundancia e igualdad de la comunidad), variación temporal o persistencia.
<b>Discusión</b>	Se pudo comprobar en este estudio, así como la incriminación de especies como <i>P. geniculatus</i> , <i>R. pallescens</i> y <i>E. cuspidastus</i> en la transmisión de <i>T. cruzi</i> . Se indica que es necesario un mayor conocimiento sobre la ecología de estos potenciales vectores y la adopción de otras estrategias de control diferentes de las tradicionales. Es prioritario, continuar con la vigilancia entomológica y serológica, y establecer un sistema de alerta temprana para detectar y tratar casos agudos de la enfermedad.
<b>Planes de conservación</b>	No
<b>Autor</b>	Esteban, Lyda Mauricio Montes, José Angulo, Víctor Manuel
<b>Categoría</b>	Insectos
<b>Registro</b>	B-EL
<b>Enlace</b>	<a href="https://revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/3140/3415">https://revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/3140/3415</a>

*Nota:* En la descripción se muestra un ejemplo de la información extraída de la documentación faunística encontrada en Andes Nororientales.

**2.2.2.2 Análisis de datos.** Una vez obtenida la base de datos en Excel (Microsoft Corporation, 2019), se extrajeron los ítems referentes a: año, idioma, área protegida, departamento, documentos de área protegida, nivel, planes de conservación y categoría. Estos datos se cargaron al lenguaje estadístico RStudio (RStudio team, 2016) mediante el paquete readxl (Wickham & Bryan, 2009). Se calculó la frecuencia de: Documentos por año, documentos por departamento, documentos por área protegida, documentos por nivel taxonómico; y documentos por categoría y departamento. De esta manera, se generaron los gráficos para ver el comportamiento de los datos en cada uno de los ítems, con el uso de los paquetes de ggplot2 y extrafont (Chang, 2014; Wickham, 2016).

Para revisar específicamente el comportamiento a través de los años, se dividió en cinco periodos, el inicial con cinco años y los siguientes periodos de cuatro años (1998-2002, 2003-2006,

2007-2010, 2011-2014 y 2015-2018), excluyendo la documentación sin año especificado y años con poca participación (N=25), donde, se realizó un análisis de la varianza ANOVA seguido por Test post-hoc de Tukey. Además, se calculó el índice de diversidad (Índice de Simpson) para cada departamento por medio de los documentos por categoría y departamento, utilizando el paquete vegan (Oksanen et al., 2019). Finalmente, se realizó una correlación mediante el paquete corrplot (Wei & Simko, 2017), entre las áreas protegidas y los planes de conservación.

Cabe resaltar, que se encontró estudios realizados a nivel departamental donde sus áreas de influencia pertenecían a diferentes departamentos, dicho de otra manera, son estudios compartidos por departamentos. Por tanto, se asignaron a cada departamento perteneciente de forma independiente.

Al igual que a nivel departamental, se halló a nivel de categorías los documentos no solo se enfocaban en una especie o en un grupo en específico, sino se encontraron documentos compuestos por varias clases taxonómicas, de tal forma, se agruparon y los llamamos “conjunto”.

En el **Apéndice A** se encuentra el sript desarrollado a la bibliometría de la fauna en Andes Nororientales.

### 2.2.3 *Establecimiento de las especies focales*

**2.2.3.1 Generación de base de datos.** Al igual que los métodos anteriores, en el año 2019 se generó una búsqueda de la fauna con sus puntos georreferenciados en las siguientes bases de datos: GBIF (<https://www.gbif.org/>); VertNet (<http://www.vertnet.org/index.html>); y SIB Colombia (<https://datos.biodiversidad.co/>). Los filtros utilizados para GBIF y VerNet fueron: área (Colombia), nombre científico (Cordata/Artrópoda) y coordenadas; y para SIB Colombia: (Cordata/Artrópoda), taxonomía (especie), Ubicación (departamentos, concretamente los del área de interés).

Estas bases de datos fueron revisadas en el programa ArcMap™ (Esri, 2016), donde se eliminaron las distribuciones erróneas y puntos fuera del área de interés, utilizando solo los puntos encontrados en el polígono de Andes Nororientales. Posteriormente, en Excel (Microsoft Corporation, 2019) se filtraron los datos deseados y se dejaron en un solo documento (**Tabla 5**), de tal forma, se eliminaron los puntos repetidos de cada especie.

A manera de complemento y mediante la base de datos descrita en los métodos del objetivo anterior, la documentación que presentara puntos georreferenciados especificando la presencia de alguna especie fue incluida. Así mismo, se incluyó presencias brindadas por la Universidad Industrial de Santander y el investigador Fausto Sáenz Jiménez como parte del proyecto: FACTORES AMBIENTALES Y ANTRÓPICOS QUE DETERMINAN LA PRESENCIA Y DISTRIBUCIÓN DEL CÓNDOR ANDINO Y LA SELECCIÓN DE LUGARES DE ANIDACIÓN Y DESCANSO: UN ENFOQUE MULTIESCALAR, tesis de doctorado de la Pontificia Universidad Javeriana.

**Tabla 5.**

*Composición de base de datos de puntos georreferenciados.*

Clase	Especie	Latitud	Longitud
Amphibia	<i>Pristimantis lutitus</i>	7,04	-72,9839999999999

*Nota:* Descripción de base de datos, con ejemplo de llenado.

**2.2.3.2 Especies focales.** A partir de la base de datos de los puntos georreferenciados, se genera un listado de las especies encontradas en el área de estudio. En base al listado generado, se revisó los criterios operacionales o de priorización en cada especie (**Tabla 8**).

**2.2.3.2.1 Criterios operacionales o de priorización.** Se estableció tres criterios operacionales que permitieron enfocarnos en el estado de conservación las especies y de esta forma identificar las especies focales.

- Categoría de amenaza

Se utilizó el estado de categoría de amenaza ante la lista roja de UICN al ser un indicador de la biodiversidad a nivel mundial y la Resolución 1912 de 2017 del gobierno colombiano, la cual establece el listado de las especies silvestres amenazadas con deber a proteger en el país. los valores designados para lista roja de UICN comienzan en 1, mientras que para la resolución colombiana comienza desde 2, esto debido a que se le da más valor por ser criterio nacional.

Se tuvieron en cuenta las categorías de amenaza: Vulnerable (VU), En peligro (EN) y En peligro crítico (CR) para cada especie y su valor designado aumenta entre más crítica sea su categoría.

- Endemismo

Se empleó este término para identificar las especies que son propensas al declive de su población al poseer un rango de distribución limitado y pueda ser afectado por cualquier

eventualidad. Por tanto, se verificaron las especies endémicas y se les asignó un valor de 1, mientras que a las especies casi-endémicas se les asignó un valor de 0.5.

- Especies Valores Objeto de Conservación (VOC) o con grado de importancia

Dentro de las áreas protegidas (corporaciones y PNNC), se han identificado especies o elementos claves que permiten evaluar el cumplimiento de los objetos de conservación. De tal manera, las especies que estén incluidas en los procesos de planificación por los entes protectores de Andes Nororientales se le asignó un valor de 1.

**Tabla 6.**  
*Criterios de priorización y sus valores*

<b>Categoría</b>	<b>UICN</b>	<b>Res 1912-2017</b>	<b>Endémico</b>	<b>Casi-Endémico</b>	<b>VOC</b>
VU	1	2	1	0.5	1
EN	2	3	1	0.5	1
CR	3	4	1	0.5	1

*Nota:* Se aprecian las categorías de amenaza Vulnerable (VU), En peligro (EN) y En peligro crítico (CR), junto a los valores asignados para su priorización.

De acuerdo con lo descrito anteriormente, se procedió a realizar la sumatoria de los puntos brindados a cada especie, clasificando los mejores puntajes. Para concluir este proceso, se adicionó un filtro de cantidad de información georreferenciada válida, con un  $N \geq 30$  presencias. De esta manera se dispuso a escoger las especies focales.

#### **2.2.4 Modelos de distribución potencial de las especies focales**

Cabe resaltar que para este trabajo solo se utilizó información de Andes Nororientales (unidades políticas). Es decir, solo se utilizaron puntos de presencia y pseudoausencia del sector al igual que los recortes de las variables ambientales. Por lo tanto, a la hora de realizar el modelo para las

especies que son de amplia distribución genera que ciertas áreas ambientales puedan estar más representadas (Sillero & Barbosa, 2021).

Una vez obtenidas las especies focales, se procedió a dejar los puntos georreferenciados para cada especie en documentos individuales.

**2.2.4.1 Variables ambientales.** Se realizó la descarga de las 19 variables climáticas (**Tabla 2**) con resolución de 1 Km y el promedio de los años 1970-2000, desde la base de datos de Worldclim <https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html> (Fick & Hijmans, 2017). Estas variables se introdujeron en el programa ArcMap™ (Esri, 2016), donde se realizó el recorte del área de los Andes Nororientales. Para esto, se utilizó una capa geográfica de los departamentos de Boyacá, Santander y Norte de Santander, así, ser usados como máscara y hacer el recorte según su forma. Todo esto fue posible mediante la herramienta *Extraction By Mask*.

Adicionalmente, para cada especie y mediante la herramienta *Extract Multi Values to Points*, se extrajo el valor de cada variable climática perteneciente a cada punto georreferenciado, estos valores fueron guardados especificando la especie perteneciente.

**2.2.4.2 Selección de las variables ambientales.** Para la selección de las variables y estudiar la multicolinealidad, se utilizó método de rigor estadístico y criterio experto (dúctil), así como lo emplea Benito et al. (2017).

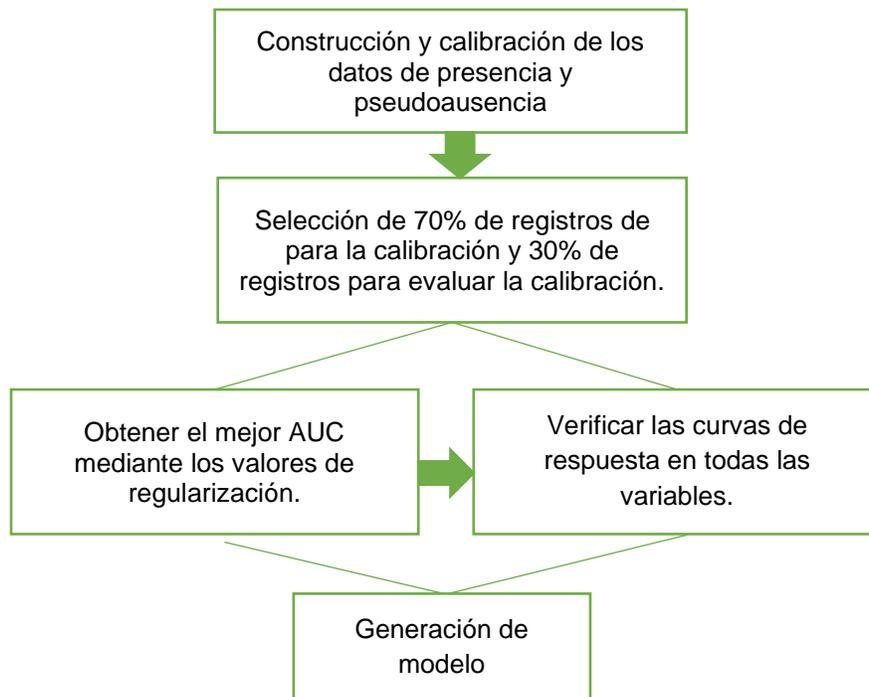
Inicialmente, y mediante el lenguaje estadístico RStudio (RStudio team, 2016), (**Apéndice B**), se realizó un análisis de correlación entre las variables predictoras y se generó la gráfica para observar el comportamiento de los datos, mediante el paquete corrplot (Wei & Simko, 2017). Adicionalmente, se tomó los valores de la correlación y se convirtieron en distancias de similitud mediante el paquete usdm (Naimi et al., 2014), para el desarrollo de un clúster que clasificó los

factores en ramas (dendograma, árbol de correlación). Una vez obtenido este árbol se estableció un umbral de distancia de 0.6 y se escogió una variable por cada rama (se tuvo en cuenta la ecología de la especie). Finalmente se calculó el VIF (Variance Inflation Factors) para las variables seleccionadas, utilizando el paquete stats (R Core Team, 2020), donde se excluyó las variables con un VIF superior a 5 (James et al., 2013, p. 101). De esta manera, se generó una tabla para cada especie con las variables finales para utilizar en el modelo.

**2.2.4.3 Calibración y predicción.** Una vez se obtuvo la matriz con los datos de presencia, pseudoausencia y las variables a utilizar, se eliminaron los registros duplicados por celda, de esta forma, quedó lista la matriz para comenzar la calibración del modelo.

El método de modelado utilizado en RStudio (RStudio team, 2016) fue MaxEnt por medio del paquete dismo (Hijmans et al., 2017). Elegido al poseer datos de presencia y pseudoausencia, y ser uno de los modelos más utilizados entre las publicaciones 2000-2009 en Scopus, por lo tanto, no es un método poco explorado (Pecchi et al., 2019)

Para la comprensión de la calibración, en la (*Figura 5*) se presenta un diagrama de flujo.



**Figura 5.** Diagrama de flujo de la construcción y calibración del modelo.

Inicialmente, se dividió al azar el 70% de los datos para el entrenamiento y el 30% para la evaluación. Para la calibración, mediante de la técnica de muestreo por *bootstrapping*, se generaron 500 iteraciones, con un rango de coeficiente de regularización (0.05,0.95,0.05), con la configuración *linear-quadratic*, *hinge* y un formato de salida “raw”, de esta forma se obtuvo el mejor AUC y se verificaron las curvas de respuesta para la generación del modelo. Todo este proceso fue realizado mediante el uso de los paquetes: raster, sf, rJava, biogeo y enmSdm (Hijmans, 2020; Pebesma, 2018; Robertson, 2016; Smith, 2020; Urbanek, 2020).

**2.2.4.4 Validación del modelo.** Para evaluar el rendimiento del modelo se utilizó el estadístico de AUC y el ROC parcial, se tomó el 30% de los registros de presencia y pseudoausencia. De igual manera, se halló el intervalo de confianza del 95% en el modelo para ambos estadísticos utilizados.

**2.2.4.5 Proyección del modelo.** Finalmente, se tomó el modelo que se generó con MaxEnt y se realizó la predicción mediante la herramienta “*predict*”. La cual, generó la proyección en formato raster. Todo el procedimiento fue realizado en Rstudio (RStudio team, 2016). En el **Apéndice C**, se encuentra Script-Calibración, predicción, evaluación y proyección de los modelos (todo el proceso de la modelación de las especies focales).

## **2.2.5 Vacíos de conservación para las especies focales**

Se tomó las proyecciones generadas de cada especie y fueron introducidas en el programa ArcMap™ (Esri, 2016). Mediante la herramienta *Extraction By Mask* se generó el recorte de las áreas deseadas para cada especie (Parques Nacionales Naturales de Colombia Dirección Andes Nororientales, corporaciones (CARs), Reservas Nacionales de la Sociedad Civil y páramos (sin áreas que se encuentren en jurisdicción de autoridades ambientales, así no generar duplicados en el cálculo de áreas). Finalmente, se introdujo en el lenguaje estadístico RStudio (RStudio team, 2016), para generar los cálculos y porcentajes de las áreas con probabilidad de presencia de las especies modeladas (**Apéndice D**). Durante el proceso, se utilizaron los siguientes paquetes: raster, rgdal, rgeos, stringr, udunits2, sf, tidyverse, printr (Bivand et al., 2021; Bivand & Rundel, 2020; Hiebert, 2016; Hijmans, 2020; Pebesma, 2018; Wickham, 2016, 2019; Xie, 2021).

Una vez obtenidos las áreas y porcentajes de las distribuciones potenciales de las especies, se halló el porcentaje de área idónea de las especies que se encuentran por fuera de áreas protegidas

mediante el uso de reglas de tres. Por ejemplo, para la especie *Amazilia castaneiventris* se realizó el siguiente procedimiento en Excel (Microsoft Corporation, 2019):

Área con probabilidad de presencia en Andes Nororientales: 6224 Km<sup>2</sup> = 8.26% del área total

Área con probabilidad de presencia en el complejo SIRAP-AN: 1414 Km<sup>2</sup>

Área con probabilidad de presencia en páramos: 28 Km<sup>2</sup>

$$6224 \text{ Km}^2 \rightarrow 8.26\%$$

$$1414 \text{ Km}^2 \rightarrow X$$

$$X = 1.88\% \text{ Probabilidad de presencia para área del SIRAP.}$$

$$6224 \text{ Km}^2 \rightarrow 8.26\%$$

$$28 \text{ Km}^2 \rightarrow X$$

$$X = 0.03\% \text{ Probabilidad de presencia para área de páramos}$$

Entonces,  $1.88 + 0.03 = 1.91\%$  corresponde al área total protegida

$8.26\% \rightarrow 100\%$  del área con probabilidad de presencia

$$1.91\% \rightarrow X$$

$$X = 23.24\% \text{ se encuentra área protegida.}$$

Por lo tanto, el 76.76% de la distribución idónea de la especie se encuentra por fuera de área protegida.

Para finalizar, se consultó la lista roja de especies amenazadas de la UICN (<https://www.iucnredlist.org>) para ver las acciones de conservación implementadas para cada una de las especies (BirdLife International, 2016a, 2016c, 2019c, 2019a, 2020c, 2020a, 2020b, 2016d, 2016b, 2016e, 2017, 2018b, 2018c, 2018a, 2019b).

## 2.3 Resultados

### 2.3.1 Bibliometría de la fauna en Andes Nororientales

Se recopiló la información de los Andes Nororientales en una base de datos con 286 estudios, publicada entre los años 1942-2018, compuesta por 103 artículos, 69 tesis, 18 notas científicas y

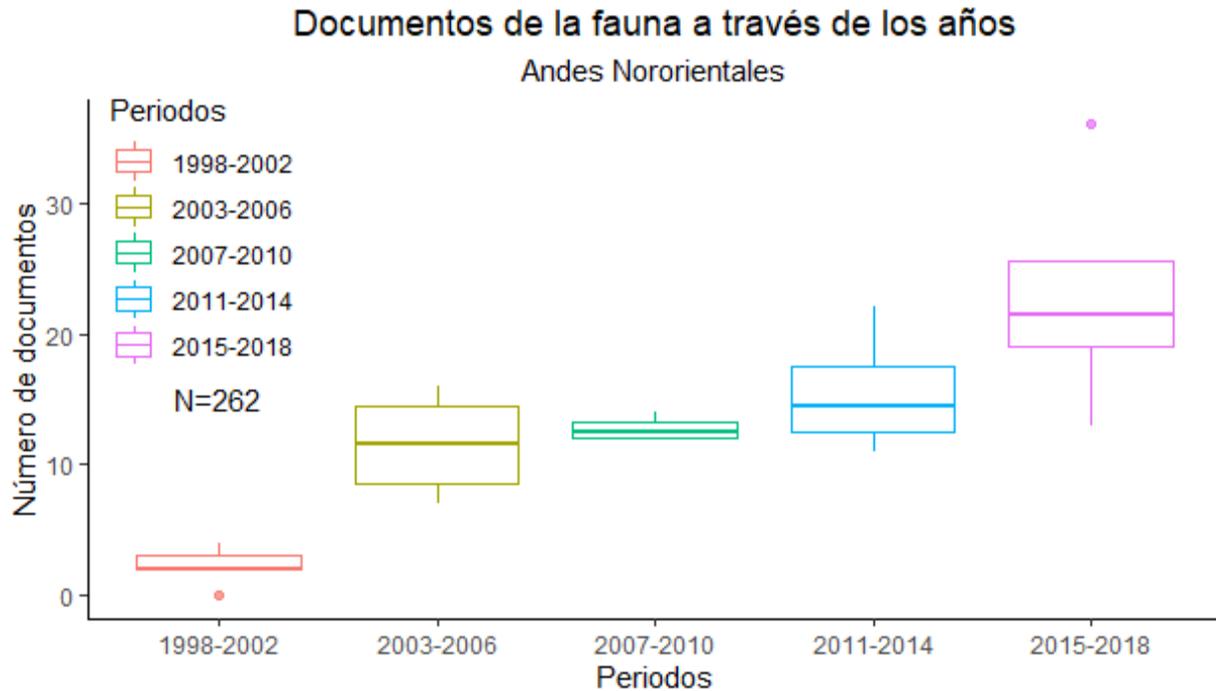
boletines, 79 documentos de autoridades ambientales, 5 libros y 12 entre reportes, informes y guías (Apéndice E).

Los análisis estadísticos de la documentación a través de los años nos arrojan que hay diferencias significativas entre ciertos periodos de estudio, con un Anova con valor de  $P = 0.0003099$  y en la prueba Post Hoc Turkey (**Tabla 7**) encontramos diferencias significativas, por ejemplo, al comparar el primer periodo con los demás (1998-2002), todos, excepto el siguiente periodo (2003-2006) nos arroja un  $P < 0,05$ . Además, otro valor que está por debajo del 0.05 es la comparación entre los periodos 2015-2018 y 2003-2006, mientras que los siguientes periodos no arrojaron diferencias significativas entre estos, dándonos a entender que no hay una gran diferencia estadística en estos periodos, pero al revisar la (**Figura 6**), se observa una tendencia al incremento en la media de estudios a través de los años.

**Tabla 7.**  
Valores de P de la prueba de Turkey

Periodos	1998-2002	2003-2006	2007-2010	2011-2014	2015-2018
<b>1998-2002</b>	-----	0.0902544	0.0452279	0.0090919	0.0090919
<b>2003-2006</b>	0.0902544	-----	0.9964262	0.7934704	0.0368452
<b>2007-2010</b>	0.0452279	0.9964262	-----	0.9354438	0.0717035
<b>2011-2014</b>	0.0090919	0.7934704	0.9354438	-----	0.2665421
<b>2015-2018</b>	0.0090919	0.0368452	0.0717035	0.2665421	-----

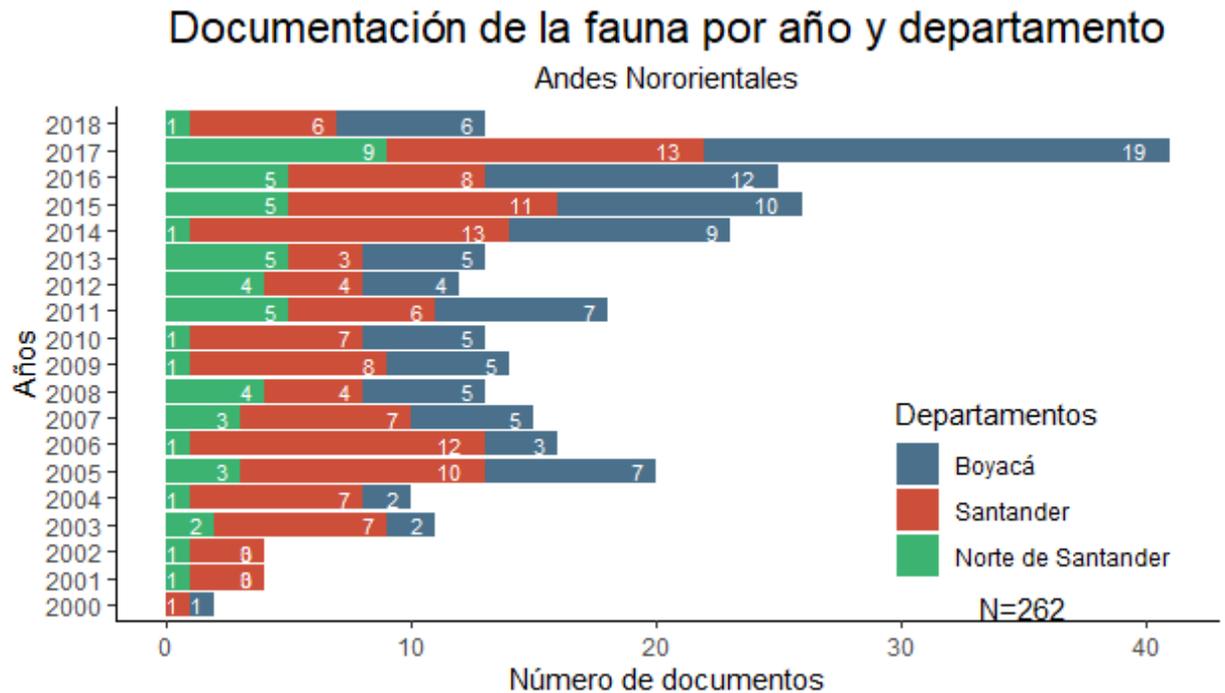
*Nota: Se indican los periodos comparados con su correspondiente valor de P, resaltando los valores menores a 0.05.*



**Figura 6.** Boxplot del número de estudios de la fauna en los Andes Nororientales durante 5 periodos.

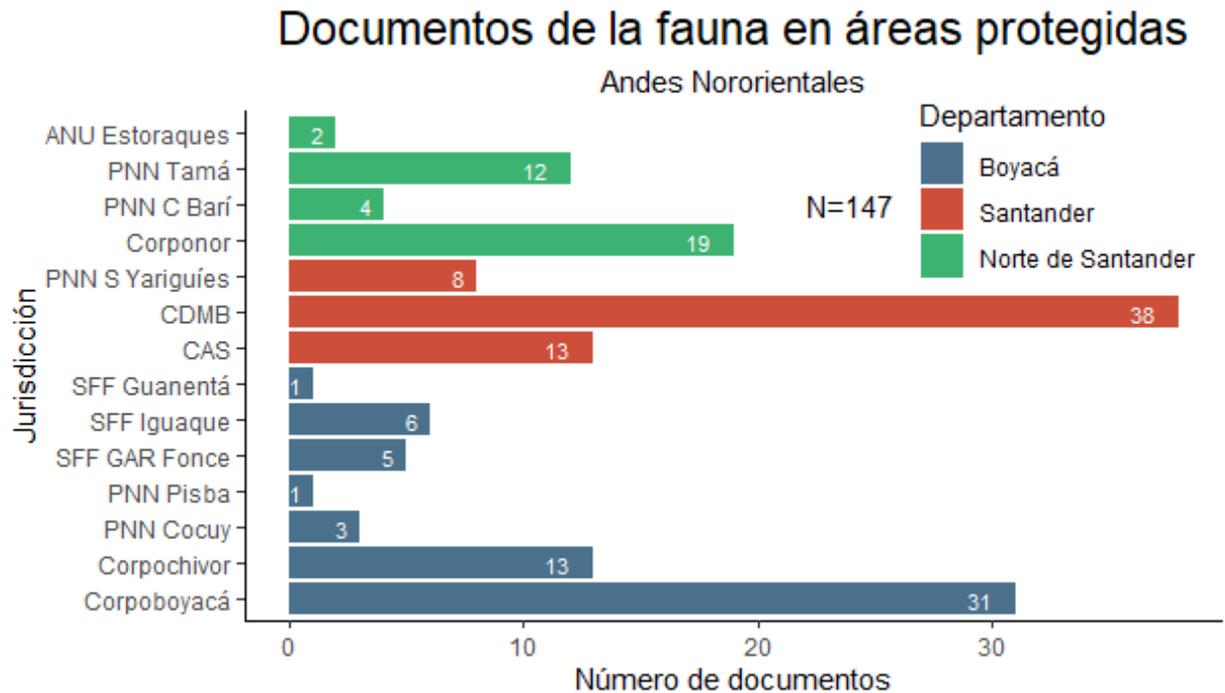
Por otra parte, al revisar la documentación total por año y departamento (N=286), se encontró una participación mayor en Santander con 142 estudios para el área, seguido por Boyacá con 122 documentos y Norte de Santander con 56.

Sin embargo, en la (**Figura 7**) se presenta el rango de 1998-2018 (N=262), donde se aprecia que el año con mayores estudios realizados fue el 2017, teniendo en cabeza al departamento de Boyacá seguido por Santander y Norte de Santander.



**Figura 7.** Diagrama de barras del número de estudios por año y departamento de la fauna de Andes Nororientales.

De igual manera, dentro de los documentos por áreas protegidas y departamentos (**Figura 8**), se obtuvo 147 documentos (51.3%) con presencia en áreas protegidas, de los cuales, se encontró una participación mayor en el departamento de Boyacá con 60 estudios, seguido de Santander con 59 y Norte de Santander con 37. Siendo la CDMB la jurisdicción con un mayor aporte a la base de datos.

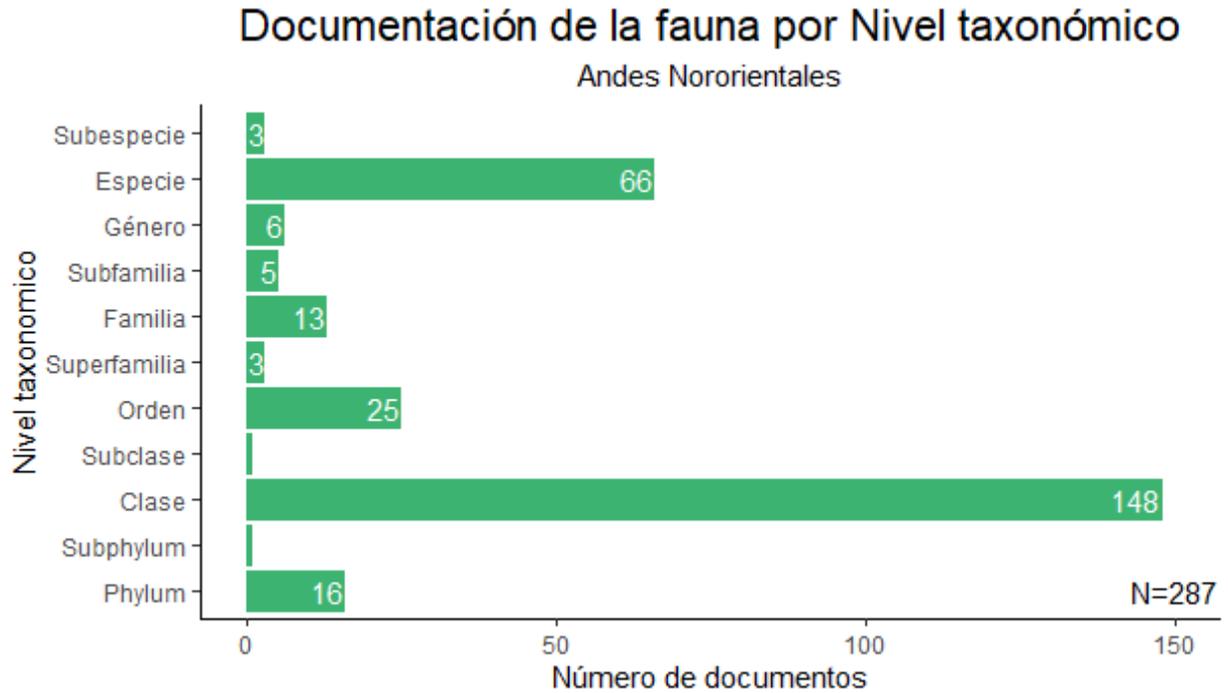


**Figura 8.** Diagrama de barras del número de estudios de la fauna por área protegida y jurisdicción en Andes Nororientales.

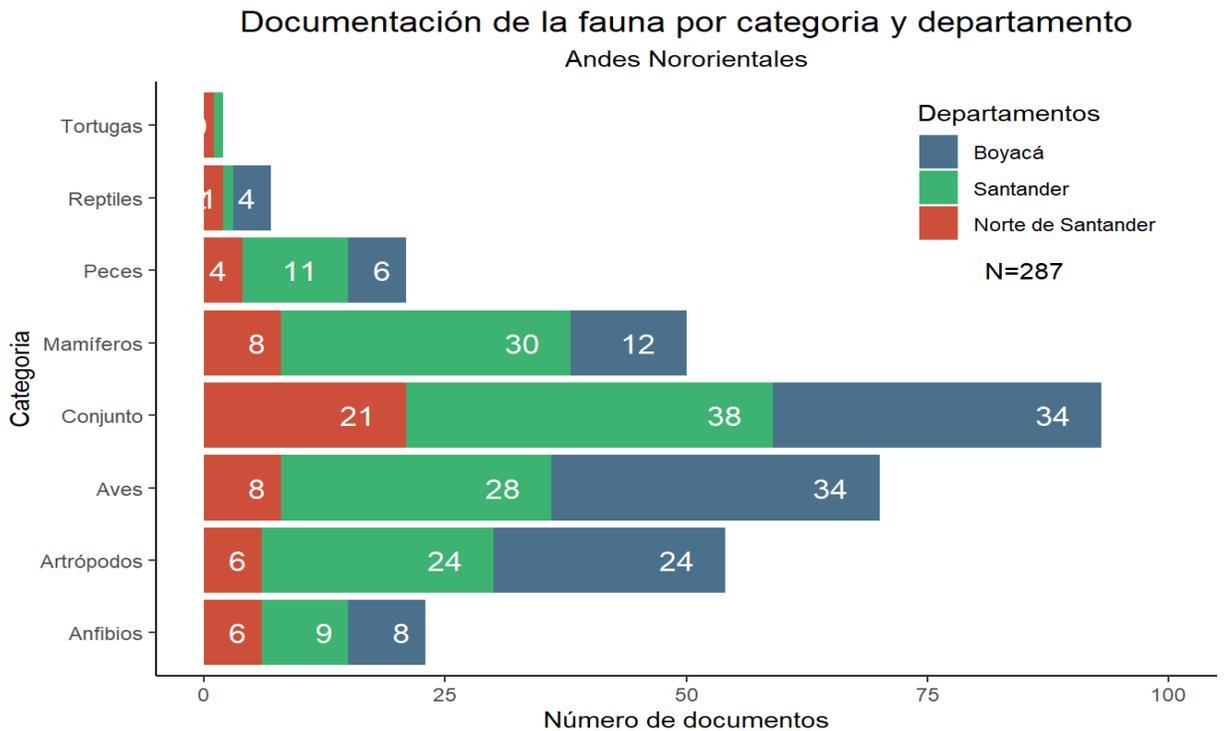
En cuanto a los estudios realizados a nivel taxonómico, se encontró una mayor frecuencia por clase, seguida por estudios para especie (**Figura 9**). Así mismo, dentro de las categorías observadas, en la documentación hay una mayor tendencia a realizar estudios en conjunto, es decir, trabajos compuestos de diferentes categorías (**Figura 10**), a su vez, la categoría más estudiada por departamento son las aves con 70 documentos, seguida de artrópodos con 54 y mamíferos con 50.

Además, el cálculo del índice de diversidad por departamento arrojó 0.7884977 para Boyacá, 0.8061892 para Santander y 0.7889031 para Norte de Santander.

Para finalizar, la correlación entre los documentos de las áreas protegidas y los planes de conservación arrojó un valor de 0.24. De tal manera, se encontró una correlación positiva, donde el incremento en el desarrollo de investigación en áreas protegidas es explicado en un 24% por el desarrollo de documentos de planificación.



**Figura 9.** Diagrama de barras del número de estudios de la fauna por nivel taxonómico en Andes Nororientales.



**Figura 10.** Diagrama de barras del número de estudios de fauna por categoría en Andes Nororientales. Establecimiento de las especies focales

Una vez realizado el listado de las especies encontradas en los Andes Nororientales y aplicado los valores de los criterios de priorización se obtuvo como resultado (**Apéndice F**) la (**Tabla 8**), la cual indica las especies para las que se desarrolló los modelos de distribución.

**Tabla 8.**  
*Especies focales de acuerdo con los criterios de selección.*

Clase	Especie	UICN	Res 1912-2017	Total	Puntos de presencia
Aves	<i>Amazilia castaneiventris</i>	EN	EN	10	239
Mammalia	<i>Aotus griseimembra</i>	VU	VU	4	64
Aves	<i>Capito hypoleucus</i>	VU	EN	7	120
Aves	<i>Cistothorus apolinari</i>	EN	CR	7	309
Aves	<i>Clytoctantes alixii</i>	EN	VU	6	93
Aves	<i>Coeligena bonapartei</i>	LC	-	1	99
Aves	<i>Crax alberti</i>	CR	CR	9	40
Aves	<i>Gallinula melanops</i>	LC	EN	4	60
Aves	<i>Hapalopsittaca amazonina</i>	VU	VU	6,5	127
Aves	<i>Macroagelaius subalaris</i>	EN	EN	9	223
Aves	<i>Odontophorus strophium</i>	VU	EN	6	101
Aves	<i>Pyrrhura calliptera</i>	VU	VU	8	139
Aves	<i>Rallus semiplumbeus</i>	EN	EN	7	167
Aves	<i>Thryophilus nicefori</i>	CR	CR	8	234
Aves	<i>Vultur gryphus</i>	VU	CR	8	59

*Nota:* El ítem UICN y Res 1912-2017 muestra el estado de amenaza en que se encuentran estas especies, el ítem Total es la sumatoria de los criterios de priorización y en ítem Puntos muestra el número de puntos biogeográficos encontrados.

### 2.3.2 Modelos de distribución potencial de las especies focales

Se realizó las modelaciones para las 15 especies y como resultado del proceso de priorización, se presenta una tabla resumen (**Tabla 11**) de los resultados sobresalientes para cada especie. Para

consultar los resultados completos, remitirse a los **Apéndice B** y **Apéndice C** Pero para revisar las figuras de la distribución potencial de las especies focales se pueden dirigir al **Apéndice G**

Cabe resaltar que, se utilizaron 500 puntos de pseudoausencias y los puntos de presencia para cada especie mencionados en la (**Tabla 8**). Mediante el filtrado de puntos duplicados por celda se redujeron los puntos de presencia y son los valores que se encuentran especificados en la (**Tabla 9**).

**Tabla 9.**

*Tabla resumen de los resultados de modelación*

		Valores de entrenamiento	Valores Evaluativos	Variables seleccionadas	% contribución	Importancia de permutación
<i>Amazilia castaneiventris</i>	N Presencias	72	31	Bio 19	30	37.7
	N Pseudoausencias	350	150	Bio 4	28.2	21.9
	AUC	0.912	0.9651613	Bio 8	17.8	10.4
	Media de los valores de AUC	-----	0.963148	Bio 18	13.2	16.2
	Intervalo de confianza del 95% (Valor de p)	-----	0.002871616	Bio 7	4.7	3.5
	<b>Valores de ROC parcial</b>			Bio 14	4.6	8.9
	AUC	-----	0.9383266	Bio 15	0.9	0.7
	Intervalo de confianza del 95% (Valor de p)	-----	0	Bio 13	0.6	0.5
<i>Aotus griseimembra</i>	N Presencias	38	16	Bio 6	83.2	75.1
	N Pseudoausencias	350	150	Bio 3	15.5	24.2
	AUC	0.951	0.978	Bio 12	1	0.7
	Media de los valores de AUC	-----	0.989	Bio 15	0.2	0
	Intervalo de confianza del 95% (Valor de p)	-----	0.002647036	Bio 2	0.1	0
	<b>Valores de ROC parcial</b>					

	Valores de entrenamiento	Valores Evaluativos	Variables seleccionadas	% contribución	Importancia de permutación
AUC	-----	0.9111129			
Intervalo de confianza del 95% (Valor de p)	-----	0			
<i>Capito hypoleucus</i> N Presencias	38	16	Bio 15	50.3	35.3
N Pseudoausencias	350	150	Bio 7	34.1	45.7
AUC	0.928	0.96875	Bio 13	9.4	9.1
Media de los valores de AUC	-----	0.9217533	Bio 3	6.2	9.9
Intervalo de confianza del 95%	-----	0.006130786			
<b>Valores de ROC parcial</b>					
AUC	-----	0.9127922			
Intervalo de confianza del 95% (Valor de p)	-----	0			
<i>Cistothorus apolinari</i> N Presencias	96	41	Bio 8	84.7	83.4
N Pseudoausencias	350	150	Bio 19	7.9	8.9
AUC	0.886	0.9969106	Bio 18	6.3	6.3
Media de los valores de AUC	-----	0.9817333	Bio 3	1.1	1.4
Intervalo de confianza del 95%	-----	0.001664206			
<b>Valores de ROC parcial</b>					
AUC	-----	0.8851531			
Intervalo de confianza del 95% (Valor de p)	-----	0			
<i>Clytactantes alixii</i> N Presencias	22	10	Bio 10	41.7	58.6
N Pseudoausencias	350	150	Bio 14	21.8	11.6

		Valores de entrenamiento	Valores Evaluativos	Variables seleccionadas	% contribución	Importancia de permutación
	AUC	0.967	0.9226667	Bio 16	15.7	9.5
	Media de los valores de AUC	-----	0.9268947	Bio 4	12.1	2.9
	Intervalo de confianza del 95%	-----	0.007091471	Bio 15	5.2	7.9
	<b>Valores de ROC parcial</b>			Bio 2	3.5	9.7
	AUC	-----	0.922763			
	Intervalo de confianza del 95% (Valor de p)	-----	0			
<i>Coeligena bonapartei</i>	N Presencias	48	21	Bio 19	57	60.1
	N Pseudoausencias	350	150	Bio 7	17.6	10.8
	AUC	0.897	0.7514286	Bio 4	15.5	17.5
	Media de los valores de AUC	-----	0.8241359	Bio 15	10	11.6
	Intervalo de confianza del 95%	-----	0.008969181			
	<b>Valores de ROC parcial</b>					
	AUC	-----	0.8447086			
	Intervalo de confianza del 95% (Valor de p)	-----	0			
<i>Crax alberti</i>	N Presencias	33	14	Bio 14	32.1	0.7
	N Pseudoausencias	350	150	Bio 19	30.9	50.6
	AUC	0.957	0.9690476	Bio 15	19.8	46
	Media de los valores de AUC	-----	0.9673286	Bio 3	10.4	2.1
	Intervalo de confianza del 95%	-----	0.004345945	Bio 7	4.4	0.1
	<b>Valores de ROC parcial</b>			Bio 6	1.2	0.5
	AUC	-----	0.9348494	Bio 18	1.1	0

		Valores de entrenamiento	Valores Evaluativos	Variables seleccionadas	% contribución	Importancia de permutación
	Intervalo de confianza del 95% (Valor de p)	-----	0			
<i>Gallinula melanops</i>	N Presencias	58	25	Bio 6	67.4	67.7
	N Pseudoausencias	350	150	Bio 4	15.1	21.9
	AUC	0.928	0.9914667	Bio 19	11.2	8.6
	Media de los valores de AUC	-----	0.9880064	Bio 7	6.3	1.7
	Intervalo de confianza del 95% (Valor de p)	-----	0.001696859			
	<b>Valores de ROC parcial</b>					
	AUC	-----	0.956241			
	Intervalo de confianza del 95% (Valor de p)	-----	0			
<i>Hapalopsittaca amazonina</i>	N Presencias	51	22	Bio 16	51.6	54.7
	N Pseudoausencias	350	150	Bio 8	35.2	30.2
	AUC	0.932	0.9880064	Bio 4	11.1	12
	Media de los valores de AUC	-----	0.9780145	Bio 19	2.2	3
	Intervalo de confianza del 95% (Valor de p)	-----	0.00180739			
	<b>Valores de ROC parcial</b>					
	AUC	-----	0.8901274			
	Intervalo de confianza del 95% (Valor de p)	-----	0			
<i>Macroagelaius subalaris</i>	N Presencias	76	33	Bio 8	44.6	45.1
	N Pseudoausencias	350	150	Bio 16	42.2	44.7

	Valores de entrenamiento	Valores Evaluativos	Variables seleccionadas	% contribución	Importancia de permutación
AUC	0.905	0.9818182	Bio 4	9.3	6.2
Media de los valores de AUC	-----	0.9780145	Bio 2	2.4	1.9
Intervalo de confianza del 95% (Valor de p)	-----	0.0180739	Bio 14	1.4	2.2
<b>Valores de ROC parcial</b>					
AUC	-----	0.8555588			
Intervalo de confianza del 95% (Valor de p)	-----	0			
<b><i>Odontophorus strophium</i></b>					
N Presencias	37	16	Bio 8	31.6	38.1
N Pseudoausencias	350	150	Bio 3	29.3	23.1
AUC	0.941	0.9158333	Bio 18	17.3	24.3
Media de los valores de AUC	-----	0.9200175	Bio 7	12.9	8.3
Intervalo de confianza del 95% (Valor de p)	-----	0.005043632	Bio 14	8.9	6.3
<b>Valores de ROC parcial</b>					
AUC	-----	0.894406			
Intervalo de confianza del 95% (Valor de p)	-----	0			
<b><i>Pyrrhura calliptera</i></b>					
N Presencias	44	19	Bio 6	54.5	71.9
N Pseudoausencias	350	150	Bio 19	25.6	11
AUC	0.944	0.934386	Bio 18	7.2	5.1
Media de los valores de AUC	-----	0.971327	Bio 4	6.9	4.3
Intervalo de confianza del 95% (Valor de p)	-----	0.003662946	Bio 2	4.2	5.4
<b>Valores de ROC parcial</b>			Bio 14	1.6	2.3

		Valores de entrenamiento	Valores Evaluativos	Variables seleccionadas	% contribución	Importancia de permutación
	AUC	-----	0.9186426			
	Intervalo de confianza del 95% (Valor de p)	-----	0			
<b><i>Rallus semiplumbeus</i></b>	N Presencias	41	17	Bio 12	79.8	73
	N Pseudoausencias	350	150	Bio 19	15.3	18.7
	AUC	0.938	0.934902	Bio 14	4.9	8.4
	Media de los valores de AUC	-----	0.9659004			
	Intervalo de confianza del 95% (Valor de p)	-----	0.002722988			
	<b>Valores de ROC parcial</b>					
	AUC	-----	0.9268517			
	Intervalo de confianza del 95% (Valor de p)	-----	0			
<b><i>Thryophilus nicefori</i></b>	N Presencias	66	29	Bio 18	46.4	65.3
	N Pseudoausencias	350	150	Bio 13	20.4	10.6
	AUC	0.862	0.8666667	Bio 7	19.1	14.3
	Media de los valores de AUC	-----	0.8562616	Bio 14	14.1	9.9
	Intervalo de confianza del 95% (Valor de p)	-----	0.006226155			
	<b>Valores de ROC parcial</b>					
	AUC	-----	0.8531811			
	Intervalo de confianza del 95% (Valor de p)	-----	0			
<b><i>Vultur gryphus</i></b>	N Presencias	51	22	Bio 8	41	57.8

	Valores de entrenamiento	Valores Evaluativos	Variables seleccionadas	% contribución	Importancia de permutación
N Pseudoausencias	350	150	Bio 14	35.3	1.5
AUC	0.925	0.9248485	Bio 18	11.6	27.4
Media de los valores de AUC	-----	0.9152612	Bio 7	6.2	4.1
Intervalo de confianza del 95% (Valor de p)	-----	0.005454167	Bio 4	3.1	6.3
<b>Valores de ROC parcial</b>			Bio 19	1.5	2.3
AUC	-----	0.9218977	Bio 15	1.3	0.6
Intervalo de confianza del 95% (Valor de p)	-----	0			

*Nota:* se recuerda que los mapas de distribución potencial se encuentran individualmente en el **Apéndice G**.

### 2.3.3 Vacíos de conservación para las especies focales

A continuación, se presenta la (Tabla 10) con áreas y porcentajes de la probabilidad de presencia para cada especie, junto con las áreas totales pertenecientes al complejo de Andes Nororientales y sus correspondientes componentes. Cabe resaltar que el complejo de andes nororientales está compuesto por el Sistema Regional de Áreas Protegidas Andes Nororientales (SIRAP-AN y estos a su vez están conformados por Parques Nacionales, corporaciones y las Reservas de la Sociedad Civil que se encuentran en el área.) y Páramos.

**Tabla 10.**  
Resumen del cálculo de áreas

Complejo	Componentes	Áreas totales del complejo y los componen tes	Área y porcentaje de probabilidad de presencia para las especies:										
			<i>Amazilia castaneiventris</i>	<i>Aotus griseimembra</i>	<i>Capito hypoleucus</i>	<i>Cistothorus apolinari</i>	<i>Clytoctantes alixii</i>						
Andes Nororiental es		75,384 km <sup>2</sup>	6,224 km <sup>2</sup>	8.26 %	9,992 km <sup>2</sup>	13.2 5%	8,362 km <sup>2</sup>	11.0 9%	14,155 km <sup>2</sup>	18.7 8%	5,676 km <sup>2</sup>	7.53 %	
	<b>SIRAP</b>	16,234.99 km <sup>2</sup>	1,414 km <sup>2</sup>	8.71 %	1,095 km <sup>2</sup>	6.74 %	2,040 km <sup>2</sup>	1257 %	1,848 km <sup>2</sup>	11.3 8%	667 km <sup>2</sup>	4.11 %	
	<b>-AN</b>												
	<b>PNNC- DTAN</b>	6,340.08 km <sup>2</sup>	183 km <sup>2</sup>	2.89 %	10 km <sup>2</sup>	0.16 %	155 km <sup>2</sup>	2.44 %	35 km <sup>2</sup>	0.55 %	217 km <sup>2</sup>	3.42 %	
		ANU	6.41 km <sup>2</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0	2 km <sup>2</sup>	31.2 2%
		SFF	171.79 km <sup>2</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0	2 km <sup>2</sup>	1.16 %

	PNN	6,161.88 km <sup>2</sup>	183 km <sup>2</sup>	2.97 %	10 km <sup>2</sup>	0.16 %	115 km <sup>2</sup>	2.52 %	35 km <sup>2</sup>	0.57 %	213 km <sup>2</sup>	3.46 %
	<b>Corporaciones</b>	9,840.30 km <sup>2</sup>	1,222 km <sup>2</sup>	12.42 %	1,081 km <sup>2</sup>	10.9 9%	1,859 km <sup>2</sup>	18.8 9%	1,806 km <sup>2</sup>	18.3 5%	449 km <sup>2</sup>	4.59 %
	CAS	6,783.42 km <sup>2</sup>	1,139 km <sup>2</sup>	16.79 %	1,070 km <sup>2</sup>	15.7 7%	1,626 km <sup>2</sup>	23.9 7%	575 km <sup>2</sup>	8.48 %	321 km <sup>2</sup>	4.73 %
	CDMB	359.31 km <sup>2</sup>	83 km <sup>2</sup>	23.10 %	11 km <sup>2</sup>	3.06 %	9 km <sup>2</sup>	2.50 %	16 km <sup>2</sup>	4.45 %	109 km <sup>2</sup>	30.3 4%
	CORPOBO YACÁ	1,340.82 km <sup>2</sup>	0	0	0	0	216 km <sup>2</sup>	16.1 1%	622 km <sup>2</sup>	46.3 9%	0	0
	CORPOCH IVOR	716.14 km <sup>2</sup>	0	0	0	0	8	1.12 %	558 km <sup>2</sup>	77.9 2%	1 km <sup>2</sup>	0.14 %
	CORPONOR	640.61 km <sup>2</sup>	0	0	0	0	0	0	35 km <sup>2</sup>	5.46 %	18 km <sup>2</sup>	2.81 %
	<b>RNSC</b>	54.62 km <sup>2</sup>	9 km <sup>2</sup>	16.48 %	4 km <sup>2</sup>	7.32 %	26 km <sup>2</sup>	47.6 0%	7 km <sup>2</sup>	12.8 2%	1 km <sup>2</sup>	1.83 %
	<b>Páramos</b>	5,898.04 km <sup>2</sup>	28 km <sup>2</sup>	0.47 %	0	0	23 km <sup>2</sup>	0.39 %	2,197 km <sup>2</sup>	37.2 5%	0	0

**Nota:** Los acrónimos utilizados son los siguientes: Sistema Regional de Áreas Protegidas Andes Nororientales SIRAP-AN; Parques Nacionales Naturales de Colombia-Distrito Territorial Andes Nororientales PNNC-DTAN; Área Natural Única ANU; Santuario de Fauna y Flora SFF; Parques Nacionales Naturales PNN; Reservas Naturales de la Sociedad Civil RNSC.

Complejo	Componentes	Áreas totales del complejo y los compone ntes	Área y porcentaje de probabilidad de presencia para las especies:									
			<i>Coeligena bonapartei</i>		<i>Crax alberti</i>		<i>Gallinula melanops</i>		<i>Hapalopsittaca amazonina</i>		<i>Macroagelaius subalaris</i>	
Andes Nororiental es		75,384	9,931	13.17	6,745	8.95	5,812	7.71	12,698	16.8	15,711	20.84
		km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	4%	km <sup>2</sup>	%
	SIRA	16,234.99	2,070	12.75	1,533	9.44	559 km <sup>2</sup>	3.44	2,607	16.0	2,583	15.91
	P-AN	km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%		%	km <sup>2</sup>	6%	km <sup>2</sup>	%
	PNNC- DTAN	6,340.08	454	7.16	27 km <sup>2</sup>	0.43	92 km <sup>2</sup>	1.45	480 km <sup>2</sup>	7.57	542 km <sup>2</sup>	8.55
		km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	%		%		%		%		%
	ANU	6.41 km <sup>2</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SFF	171.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		km <sup>2</sup>										
	PNN	6,161.88	454	7.37	27 km <sup>2</sup>	0.44	92 km <sup>2</sup>	1.49	480 km <sup>2</sup>	7.79	542 km <sup>2</sup>	8.80
		km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	%		%		%		%		%
	Corpora ciones	9,840.30	1,604	16.30	1,484	15.0	465 km <sup>2</sup>	4.73	2,112	21.4	2,027	20.60
		km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	8%		%	km <sup>2</sup>	6%	km <sup>2</sup>	%
	CAS	6,783.42	1,425	21.01	1,298	19.1	65 km <sup>2</sup>	0.96	1,462	21.5	1,220	17.99
		km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	3%		%	km <sup>2</sup>	5%	km <sup>2</sup>	%
CDMB	359.31	66	18.37	12 km <sup>2</sup>	3.34	0	0	180 km <sup>2</sup>	50.1	261 km <sup>2</sup>	72.64	
	km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	%		%				0%		%	
CORPOB	1,340.82	109	8.13	173 km <sup>2</sup>	12.9	216 km <sup>2</sup>	16.1	173 km <sup>2</sup>	12.9	217 km <sup>2</sup>	16.18	
OYACÁ	km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	%		0%		1%		0%		%	
CORPOC	716.14	4 km <sup>2</sup>	0.56	1 km <sup>2</sup>	0.14	184 km <sup>2</sup>	25.6	0	0	1 km <sup>2</sup>	0.14	
HIVOR	km <sup>2</sup>		%		%		9%				%	
CORPON OR	640.61	0	0	0	0	0	0	297 km <sup>2</sup>	46.3	328 km <sup>2</sup>	51.20	
	km <sup>2</sup>								6%		%	



<b>Corporaciones</b>	9,840.30 km <sup>2</sup>	1,762 km <sup>2</sup>	17.9 1%	734 km <sup>2</sup>	7.46 %	1,278 km <sup>2</sup>	12.9 9%	2,179 km <sup>2</sup>	22.1 4%	1,130 km <sup>2</sup>	11.48 %
CAS	6,783.42 km <sup>2</sup>	1,446 km <sup>2</sup>	21.3 2%	251 km <sup>2</sup>	3.70 %	604 km <sup>2</sup>	8.90 %	1,799 km <sup>2</sup>	26.5 2%	269 km <sup>2</sup>	3.97 %
CDMB	359.31 km <sup>2</sup>	198 km <sup>2</sup>	55.1 1%	23 km <sup>2</sup>	6.40 %	10 km <sup>2</sup>	2.78 %	90 km <sup>2</sup>	25.0 5%	47 km <sup>2</sup>	13.08 %
CORPOB OYACÁ	1,340.82 km <sup>2</sup>	11 km <sup>2</sup>	0.82 %	100 km <sup>2</sup>	7.46 %	600 km <sup>2</sup>	44.7 5%	94 km <sup>2</sup>	7.01 %	634 km <sup>2</sup>	47.28 %
CORPOC HIVOR	716.14 km <sup>2</sup>	27 km <sup>2</sup>	3.77 %	354 km <sup>2</sup>	49.4 3%	62 km <sup>2</sup>	8.66 %	128 km <sup>2</sup>	17.8 7%	20 km <sup>2</sup>	2.79 %
CORPON OR	640.61 km <sup>2</sup>	80 km <sup>2</sup>	12.4 9%	6 km <sup>2</sup>	0.94 %	2 km <sup>2</sup>	0.31 %	68 km <sup>2</sup>	10.6 1%	160 km <sup>2</sup>	24.98 %
<b>RNSC</b>	54.62 km <sup>2</sup>	13 km <sup>2</sup>	23.8 0%	2 km <sup>2</sup>	3.66 %	9 km <sup>2</sup>	16.4 8%	12 km <sup>2</sup>	21.9 7%	9 km <sup>2</sup>	16.48 %
<b>Páramos</b>	5,898.04 km <sup>2</sup>	293 km <sup>2</sup>	4.97 %	1,027 km <sup>2</sup>	17.4 1%	2,171 km <sup>2</sup>	36.8 1%	616 km <sup>2</sup>	10.4 4%	3,090 km <sup>2</sup>	52.39 %

**Nota:** Los acrónimos utilizados son los siguientes: Sistema Regional de Áreas Protegidas Andes Nororientales SIRAP-AN; Parques Nacionales Naturales de Colombia-Distrito Territorial Andes Nororientales PNNC-DTAN; Área Natural Única ANU; Santuario de Fauna y Flora SFF; Parques Nacionales Naturales PNN; Reservas Naturales de la Sociedad Civil RNSC.

La acción que permite ver los vacíos de conservación de las especies focales se presenta en la (Tabla 11). Para las especies focales se aprecia los porcentajes y si poseen acciones de conservación implementadas.

**Tabla 11.**

Porcentajes de área y acciones de manejo para las especies focales.

	<b>% de área total de distribución potencial en Andes Nororientales</b>	<b>% de área idónea por fuera de área protegida en Andes Nororientales</b>	<b>Planes de acción de recuperación</b>	<b>Esquema de monitoreo</b>
<i>Amazilia castaneiventris</i>	8.26%	76.76%	No	No
<i>Aotus griseimembra</i>	13.25%	89.04%	Sí	Sí
<i>Capito hypoleucus</i>	11.09%	75.30%	No	No
<i>Cistothorus apolinari</i>	18.78%	71.46%	No	No
<i>Clytoctantes alixii</i>	7.53%	88.31%	No	No
<i>Coeligena bonapartei</i>	13.17%	68.56%	No	No
<i>Crax alberti</i>	8.95%	77.21%	Sí	No
<i>Gallinula melanops</i>	7.1%	72.54%	Sí	Sí
<i>Hapalopsittaca amazonina</i>	16.84%	57.54%	No	Sí
<i>Macroagelaius subalaris</i>	20.84%	64.00%	No	No
<i>Odontophorus strophium</i>	11.61%	71.66%	Sí	Sí
<i>Pyrrhura calliptera</i>	8.66%	79.79%	Sí	No
<i>Rallus semitlumbus</i>	10.13%	52.12%	No	No
<i>Thryophilus nicefori</i>	16.38%	71.86%	No	No
<i>Vultur gryphus</i>	7.70%	12.46%	No	No

Se encontró en la tabla anterior un vacío de conservación para las especies *A. castaneiventris*, *C. hypoleucus*, *C. apolinari*, *C. alixii*, *T. nicefori*, los cuales poseen más de un 70% de área idónea por fuera de área protegida y no poseen acciones de conservación tales como un plan de acción de recuperación o un esquema de monitoreo sistemático.

## **2.4 Discusión**

### **2.4.1 Bibliometría de la fauna en Andes Nororientales**

De la información recopilada en la base de datos perteneciente a los Andes Nororientales, este es el primer estudio bibliométrico enfocado en la fauna de esta área. Particularmente, se pueden encontrar estudios generalizados en la biodiversidad colombiana u orientados hacia revistas científicas (Arbeláez-Cortés, 2013; De La Ossa V et al., 2019; Machado-Maz et al., 2002; Rincón, 2001).

El aumento de la media de los estudios a través de los años puede ser explicado debido a un incremento de la inversión que se ha realizado en la búsqueda de la innovación (Merigó et al., 2016). Sin embargo, una de las mayores inversiones que se ha realizado en Colombia fue en el 2014 con un gasto en investigación y desarrollo del 0,31% del PIB y descendiendo el valor a 0,24% para el año 2018, siendo bajo el presupuesto al compararlo con otros países y con la producción científica del país (Arbeláez-Cortés, 2013; Grupo Banco Mundial, 2019).

Es importante reconocer que entre los años 1999-2001, los grupos armados ilegales poseían corredores estratégicos de transporte en Andes Nororientales (Reyes, 1997), provocando así, una sensación de inseguridad por los constantes atentados y desplazamientos forzados tanto para la población en general y para los investigadores. Lo que generó disuadir la producción científica de los departamentos.

La toma del control frente a la fuerza pública generó una reducción en los grupos armados, dando de baja y capturando a importantes líderes de estos grupos ilegales (Echandía Castilla & Bechara Gómez, 2006; Ríos Sierra, 2015). Por lo tanto, a partir del periodo 2003-2006 se comenzó a observar un incremento en los estudios en el área.

Cabe resaltar que, dentro de la base de datos, se encuentra una tasa de omisión debido a que no toda la documentación de las universidades con gran aporte al área (Universidad de Pamplona y la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia) se encontraban disponibles en un repositorio. Contreras et al. (2015), menciona que las universidades son de altos niveles científicos y por tal razón, su labor de investigación se debe conocer por fuera de la institución y para obtener tal propósito se encuentra la publicación en revistas indexadas. Actualmente, se está manejando la filosofía del *open Access* (Acceso Abierto), el cual, permite el libre acceso a la información garantizando la igualdad de oportunidades en el contexto académico y aprovechando los medios tecnológicos para llegar a toda la comunidad, mediante el uso de los repositorios (Civallero, 2006). En consecuencia, Guzmán-Useche y Rodríguez-Contreras (2020), mencionan que el manejo y difusión de datos e información debe mejorar, trabajando en la facilitación de herramientas de información disponible y así construir redes de conocimiento.

En la documentación de la fauna por año y departamento de manera general, se presenta una ligera tendencia a partir del año 2001 donde sobresale el departamento de Santander y esto puede ser por la tasa de omisión explicada en el párrafo anterior, de donde se extrajeron las tesis disponibles de la Universidad Industrial de Santander dando una desventaja a los otros dos departamentos. Por otra parte, el año con mayor aporte fue el 2017 con incremento en el número de documentos en todos los departamentos, Álvarez et al. (2020) menciona que a través de los años (entre el periodo 2008-2019), se presenta un aumento continuo en todos los niveles de

formación en Colombia, evidenciando un incremento en el número de graduados, razón por la cual, se ha generado estrategias de apoyo a la formación en actividades de ciencia, una de estas es el programa de Jóvenes investigadores e innovadores siendo el año 2017 el año con mayor número de jóvenes apoyados por Colciencias.

La baja representación encontrada en PNN respecto a ciertas jurisdicciones se puede deber a los permisos que se debe realizar para hacer una investigación. Actualmente, se ha venido avanzando en agilizar los permisos de investigación en sus áreas protegidas a través de los avales de investigación, donde se genera una investigación conjunta entre las áreas protegidas y la academia, así proveer el desarrollo de la investigación y aportar a la toma de decisiones de manejo (Rodríguez-Cabeza, 2017b) Cada área protegida cuenta con un programa de monitoreo y un portafolio de investigación, estos documentos, son fundamentales para generar un proceso de articulación entre la academia y las áreas protegidas donde es pertinente la suma de esfuerzos humanos, técnicos, de gestión de la información para mejorar la gestión del conocimiento. Adicionalmente (Rodríguez-Cabeza, 2017a)

Por otra parte, en la documentación a nivel taxonómico, se observó una marcada tendencia hacia la producción de estudios sobre la categoría clases, esto nos indica que la mayoría de los documentos están siendo exploratorios (51%), mientras que en una proporción más baja se encuentra la categoría especie (23,1%), dando a entender que la información está comenzando a fluir de lo general a lo específico.

La baja representación de estudios para las categorías: anfibios, reptiles y tortugas, se pueden explicar debido a que los estudios por categorías se encuentran compartidos, es decir, compartidos por categorías (clases, filo o denominación que agrupe ciertas especies), encontrándose estudios generales y poco específicos.

Referente a la correlación generada entre la documentación de áreas protegidas y planes de conservación, esta no obtuvo un valor fuerte, lo que nos permite deducir que la documentación ha sido exploratoria, pero al obtener un valor positivo, nos indica que se está adquiriendo la información necesaria. Por lo tanto, se están comenzando a generar los planes de conservación para la fauna en las áreas protegidas.

#### **2.4.2 *Especies focales***

Pese a encontrar especies con las características a ser focales, estas especies no cumplían con la cantidad de información georreferenciada. Por lo tanto, se encontró un vacío de información geográfica para el área de Andes Nororientales. De tal manera, el informe anual de creación de capacidad, integración y publicación de datos a través de la red del SiB Colombia, muestra un aumento significativo de las publicaciones sobre el año 2020, esto debido a que desde el mismo año se inició un rastreo de los nuevos registros procedentes de la actualización de datos ya existentes. Desde el año 2012 hasta el 2019 el total de los registros biológicos llegaban a la cifra de 7,925,417, mientras que en el año 2020 se llegó a la cifra de 11,044,360, generando una adición de 3,436,003 registros en un solo año (Plata et al., 2021). Dando a entender, que aún se encuentran datos no publicados y pese al aumento significativo se posee información sin publicar. Suarez-Castro et al. (2021), menciona que la distribución espacial de registros y representatividad de los mamíferos terrestres en departamento de Santander posee valores mayores al 60%, mientras que el departamento de Boyacá tiene valores menores al 40% y el departamento de Norte de Santander no alcanza al 30% de representatividad, por lo tanto, la representatividad de los registros tiende a ser baja y altamente variable.

El Sistema de Información Ambiental de Colombia SIAC, está compuesto por los temas de Naturaleza (ecosistemas de bosque, agua, aire, biodiversidad, suelo y seres humanos:

socioeconomía) e integrado por procesos de concentración interinstitucional e interdisciplinarios liderado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y algunos integrantes del sistema de información ambiental (IDEAM, IAvH, SINCHI, IIAP, PNNC, entre otros), para facilitar la generación de conocimiento, la toma de decisiones la educación y la participación social para el desarrollo sostenible (SIAC, 2016). Por lo tanto, la información ambiental del país termina depositada en este sistema, en tal sentido, es clave mejorar y articular los mecanismos de gestión de la información para incrementar su disponibilidad y el uso para la generación de procesos de modelación robusto y eficientes para la toma de decisiones de manejo. En este contexto según ha indicado Manuel Rodríguez (biólogo, trabaja en la estructuración del sistema de monitoreo, comunicación personal, 15 de febrero de 2021), “Parques Nacionales Naturales de Colombia avanza en la estructuración de su sistema de información y en la actualidad cuenta con más de 1,211,727 registros sobre la diversidad objeto de monitoreo en el Sistema”.

### **2.4.3 Modelos de distribución potencial y Vacíos de conservación para las especies focales**

De manera general para los modelos de distribución, los valores de AUC de entrenamiento y evaluativos no poseen un gran distanciamiento, lo que nos indica que no son modelos sobre ajustados. Asimismo, los valores de AUC, nos indican que los modelos de predicción potencial son de alta y buena precisión de acuerdo con lo dicho por Peterson et al., 2011, p. 172. Cabe resaltar que este tipo de evaluación (AUC o área bajo la curva ROC), además de ser el estadístico más utilizado en la bibliografía, también ha sido criticado, ya que subvalora los modelos que no proporcionan predicciones en toda el área de estudio (Jiménez-Valverde, 2012; Lobo et al., 2008). Por tal razón, nos acogimos a la recomendación encontrada en Peterson et al. (2008), y se utilizó el ROC parcial para proporcionar una base más firme en la evaluación de los modelos, dando como resultado modelos predictivos de alta y buena precisión según Peterson et al., 2011, p. 172.

Además, al revisar los intervalos de confianza (valor de P), tanto para los valores de AUC y para el ROC parcial, son estadísticamente significativos debido a que su valor es  $p < 0.05$ , por lo tanto, obtiene un 95% de confianza en el modelo generado.

De acuerdo con la exploración del nicho climático en las distribuciones potenciales generadas, y pese a los buenos resultados obtenidos, es de relevancia incluir otras variables que permitan enriquecer y mejorar los pronósticos de la modelación, teniendo en cuenta que incidan en la ecología de cada especie (Peterson et al., 2011). Además, Cruz-Cárdenas et al. (2014) recomienda el uso de variables auxiliares y climáticas ya que al incluir variables de suelo, topográficas y datos de sensores remotos, sus modelos de distribución de especie fueron mejorados.

Por otra parte, se halló un vacío de conservación en las áreas de páramo que se encuentran por fuera de la jurisdicción de las Autoridades Ambientales. Pese a la ley de páramos, en la cual consignan restricciones en el área delimitada (Ley 1930 de Gestión integral de los páramos en Colombia, 2018), Pinilla et al. (2016), menciona que hay disposiciones que implican conflictos socioeconómicos y ambientales con los productores de alimentos que hacen uso de áreas de páramo, los cuales, se están tratando de resolver mediante una reconversión productiva, restauración ecológica de páramo, incentivos de conservación, conectividad y fortalecimiento de espacios de coordinación, así obtener una mejor gobernanza de los páramos y una minimización en el conflicto por la conservación de páramo.

Pese a lo mencionado anteriormente, los conflictos no solo se encuentran en el sector agropecuario, también se encuentra frente a la minería tradicional. Dentro de los departamentos de Santander y Norte de Santander, se encuentra el páramo de Santurbán, para las poblaciones de los municipios de Vetás y California el principal sustento es la actividad aurífera y las comunidades campesinas son escépticas y se niegan a participar en proyectos con las corporaciones del sector.

Además, las políticas y decisiones conservacionistas del uso y manejo de páramos se contradicen y excluyen derechos que poseen las comunidades campesinas (Abadia & Avenda, 2008).

En cuanto a los vacíos de conservación para la fauna, se halló una mayor afectación para cinco especies, respecto a la representación encontrada en áreas protegidas y a la carencia de acciones de conservación encontradas en la lista roja de la UINC. A continuación, hablaremos de cada una de ellas:

- *Amazilia castaneiventris* (Gould, 1856)

Se conoce hasta el momento que, desde el 2004 se ha venido trabajando el proyecto Chicamocha en la conservación, teniendo como objetivo principal la protección y recuperación de las poblaciones de la especie en contexto, mediante programas de educación ambiental, red de áreas protegidas y el establecimiento de programa de recuperación del hábitat natural. En base a este proyecto para el 2009, la fundación ProAves, adquirió 1.300 hectáreas, (primera reserva natural en la zona, en el municipio de Zapatoca), para el mismo año se creó la Fundación conserva, la cual se encuentra trabajando un desarrollo sostenible del Cañón del Chicamocha (Parra et al., 2010). En consecuencia, la especie se articula con la conservación de los enclaves secos andinos, Andrade-Pérez y Corzo-Mora (2011), mencionan que estos bosques no alcanza las metas conservación planteadas en su estudio, por tal razón, es uno de los vacíos de conservación a escala de ecosistema. De tal manera, para el Instituto Humbolt el estudio ecosistémico del área han sido temas prioritarios de investigación y conservación los cuales fueron incorporados en el proyecto Andes (Chaves et al., 2007, p. 61).

- *Capito hypoleucus* (Salvin, 1897)

Huertas y Donegan (2006), hace visible la problemática de la especie sugiriendo “continuar con las exploraciones del sur de la Serranía con la finalidad de apoyar la creación o amplificación de

PPN Serranía Yariguíes hacia la cuenca del río Minero, de tal forma que se logre conectar esta población con la de la Serranía de las Quinchas en Boyacá”. Y Betancur et al.(2020) continua sugiriendo actividades que promuevan la conectividad entre parches de bosque para la conservación de esta especie.

- *Cistothorus apolinari* (Chapman, 1914)

Las medidas de conservación que se han tomado frente a esta especie son las de conservación de áreas. En el páramo de Siscunsi perteneciente al departamento de Boyacá y municipio de Sogamoso, fue registrada la especie, donde parte de este páramo (5887 ha) es un área natural protegida, al igual que las poblaciones encontradas en Pisba, Chisacal y Cocuy. Además, la ausencia de la especie *Molothrus bonariensis* a esa altitud, da un parte de tranquilidad ya que aparentemente las especies se encuentran en buen estado (Renjifo et al., 2016, p. 350).

- *Clytoctantes alixii* (Elliot, 1870)

Para la conservación de la especie en el 2009 la fundación ProAves creo la Reserva Natural de las aves el Hormiguero de Torcoroma, ubicado en Ocaña en el departamento de Norte de Santander (Renjifo et al., 2016, p. 261).

- *Coeligena bonapartei* (Boissonneau, 1840)

Esta especie no pasa los umbrales para formar parte de vacíos de conservación. De todas formas, es válido resaltar que es una especie que no se encuentra bajo categoría de amenaza y posee como desventaja una baja representación en las áreas protegidas (68.56% por fuera de estas). A pesar de que la especie no posee acciones de conservación y hay una tendencia al decrecimiento de esta, además, se cree que no es suficientemente rápida para acercarse a los umbrales de vulnerabilidad (BirdLife International, 2016b).

- *Thryophilus nicefori* (Meyer de Schauensee, 1946)

El cucarachero del Chicamocha en cuanto a conservación se encuentra adscrito en el proyecto Chicamocha el cual está estudiando y trabajando por la conservación de la especie, también genera espacios con actividades de concientización y educación ambiental para las áreas protegidas de Cañón del Chicamocha (Parra et al., 2010). Al igual que la especie *Amazilia castaneiventris*, se articula con la conservación de los enclaves secos andinos.

### 3. Conclusiones

Se realizó el análisis de la información disponible de la fauna silvestre pertenecientes a los Andes Nororientales, se obtuvo una base de datos con 286 estudios, publicada entre los años 1942-2018, compuesta por 103 artículos, 69 tesis, 18 notas científicas y boletines, 79 documentos de autoridades ambientales, 5 libros y 12 entre reportes, informes y guías. Además, Se presentó diferencias estadísticas significativas entre los periodos explorados (ANOVA con valor de  $P=0,0003099$ ) y la documentación tiende a ser general (trabajos compuestos por varias categorías).

Se identificaron 15 especies focales (*A. castaneiventris*, *A. griseimembra*, *C. hypoleucus*, *C. apolinari*, *C. alixii*, *C. bonapartei*, *C. alberti*, *G. melanops*, *H. amazonina*, *M. subalaris*, *O. strophium*, *P. calliptera*, *R. semiplumbeus*, *T. nicefori* y *V. gryphus*) las cuales, cumplen con los criterios operacionales establecidos en este proyecto.

La distribución potencial obtenida por los modelos de distribución es considera de alta precisión para las especies: *A. castaneiventris*, *A. griseimembra*, *C. hypoleucus*, *C. alixii*, *C. alberti*, *G. melanops*, *P. calliptera*, *R. semiplumbeus* y *V. gryphus*. Y es considerada de buena precisión para las especies: *C. apolinari*, *C. bonapartei*, *H. amazonina*, *M. subalaris* y *O. strophium* y *T. nicefori*.

Se considera que se encuentran vacíos de conservación para las especies que poseen más de un 70% de área idónea por fuera de área protegida y no poseen acciones de conservación tales como un plan de acción de recuperación o un esquema de monitoreo sistemático. Las siguientes especies cumplen con las condiciones: *A. castaneiventris*, *C. hypoleucus*, *C. apolinari*, *C. alixii*, *T. nicefori*

De manera general, para el área de Andes Nororientales se encontró vacíos de información geográfica para la fauna y a pesar de que no todas las especies focales fueron consideradas con vacíos de conservación, es clave la integración de la academia en el desarrollo de información enfocada al manejo de los sistemas de conservación, donde se logre articular los proyectos en la academia con los programas de monitoreo y los portafolios de investigación.

#### **4. Recomendaciones**

Sería de gran interés continuar con el estudio bibliométrico, tal vez verlo desde el punto de vista de la flora o añadir algunos datos de interés y generar análisis de acuerdo con los datos que se tengan.

Un punto fundamental para obtener una predicción más idónea de los modelos predictivos generados es utilizar más variables que puedan afectar el nicho ecológico de las especies. Tal y como lo menciona Mateo et al. (2011), aparte de la variable dependiente (presencia/ausencia) se encuentran las variables independientes (temperatura, elevación, litología uso del suelo, vegetación, topografía, entre otras) y son estas las que permiten realizar una predicción más acertada, sin olvidar el análisis previo que se debe realizar para no caer en un sobreajuste.

Es relevante contar con un sistema de áreas protegidas integrando por las diferentes categorías de manejo (Parque Nacionales y corporaciones), donde las zonas núcleo están manejadas por el

sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia, se complementan por las áreas del carácter nacional, integran estrategias complementarias de conservación e ingresan la Reservas de la Sociedad Civil para complementar la conectividad estructural y funcional en el territorio. Es decir, el establecimiento de un sistema integrado es de vital importancia para disminuir los vacíos de conservación y promover un sistema articulado entre sí.

Se hace un llamado a las instituciones que componen el SINAP-AN para generar investigación en articulación y subsanar los vacíos encontrados en este estudio, con el fin de complementar los sistemas de conservación.

Sería de gran interés continuar con el proyecto y generar propuestas de evaluación de vacíos de conservación a escalas específicas o filtro fino como comúnmente es llamado.

En el marco del manejo de áreas protegidas se propone incluir a la comunidad que se encuentra en áreas circundantes para trabajar en conjunto en búsqueda de la conservación de la biodiversidad. Así, generar impactos sociales que beneficien los niveles de bienestar en la comunidad (Jones et al., 2020), de esta manera, aumentar la extensión y manejo del área en pro de la conservación.

Es de gran importancia el reconocimiento del valor de las áreas protegidas en el bienestar humano de las comunidades, a través del desarrollo de procesos de investigación que permitan reconocer los valores, sociales, culturales, escénicos y económicos derivados de los sistemas de conservación.

### Referencias Bibliográficas

- Abadia, B. D., & Avenda, T. R. (2008). El dilema del páramo: diferentes concepciones en un contexto de justicia hídrica. *Javeriana*, 150(801), 9.
- Acevedo Latorre, E. (1953). Panorama Geo-Económico del Departamento de Santander Limite Departamental. *Economía y Estadística*, 78, 122. [http://biblioteca.dane.gov.co/media/libros/BOL\\_78\\_1953\\_20.PDF](http://biblioteca.dane.gov.co/media/libros/BOL_78_1953_20.PDF)
- Acevedo, A. A., Silva, K. L., Franco, R., & Lizcano, D. J. (2011). Distribución, historia natural y conservación de una rana marsupial poco conocida, *Gastrotheca helenae* (Anura: Hemiphractifae), en el Parque Nacional Natural Tamá, Colombia. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat.*, 15(1), 68-74.
- Acevedo-Charry, O. (2017). Birds of Río Tame of the Andes-Orinoco transitional region: species check-list, biogeographic relationship and conservation. *Ornitología Colombiana*, 16(eA03), 1-33.
- Allouche, O., Tsoar, A., & Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models : prevalence , kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology*, 43(6), 1223-1232. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x>
- Álvarez, J. L., Guevara Rey, A., Perea, G. I., Garavito Muñoz, M. P., Segura Sguerra, F. J., Ramírez Sánchez, L. D., Romero Riaño, E., Cifuentes Mirke, M. A., Castellanos, J. C., Zárate Rincón, S., Mora Holguín, H., Cacho Rodríguez, D. M., & Rocha Gutiérrez, F. (2020). *Indicadores de ciencia y tecnología Colombia 2019*.
- Andrade-Pérez, G. I., & Corzo-Mora, G. A. (2011). ¿Qué y donde conservar?. *Parques Nacionales Naturales de Colombia*. [http://www.sirapejecafetero.org.co/images/SIRAP/CENTRO\\_DE\\_DOCUMENTACION\\_VIRTUAL/PRIORIDADES-DE-CONSERVACION-SIRAP/3.pdf](http://www.sirapejecafetero.org.co/images/SIRAP/CENTRO_DE_DOCUMENTACION_VIRTUAL/PRIORIDADES-DE-CONSERVACION-SIRAP/3.pdf)
- Arango, N., Armenteras, D., Castro, M., Gottsmann, T., Hernández, O., Matallana, C., Morales, M., Naranjo, L., Renjifo, L., Trujillo, A., & Villareal, H. (2003). Vacíos de conservación del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia desde una Perspectiva Ecorregional (Sepia Ltda). WWF Colombia - Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Araujo-Ruiz, J. A., & Arencibia-Jorge, R. (2002). Informetría, bibliometría y cienciometría : aspectos teórico-prácticos. *ACIMED*, 10(4), 5-6.

- Arbeláez-Cortés, E. (2013). Knowledge of Colombian biodiversity: published and indexed. *Biodiversity and Conservation*, 22, 2875-2906. <https://doi.org/10.1007/s10531-013-0560-y>
- Armesto, O., Benedicto, J. E., & Torrado, R. (2009). Fauna de anfibios del municipio de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia. *Herpetotropicos*, 5(1), 57-63.
- Avendaño, J. E. (2010). La avifauna de las tierras bajas del Catatumbo, Colombia: inventario preliminar y ampliaciones de rango. *Boletín Sociedad Antioqueña de Ornitología*, 21(1), evAP3. <http://www.sao.org.co/boletinsao.html>
- Baselga, A., & Araújo, M. B. (2009). Individualistic vs community modelling of species distributions under climate change. *Ecography*, 32(1), 55-65. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.05856.x>
- Benito, B. M., Svenning, J. C., Kellberg-Nielsen, T., Riede, F., Gil-Romera, G., Mailund, T., Kjaergaard, P. C., & Sandel, B. S. (2017). The ecological niche and distribution of Neanderthals during the Last Interglacial. *Journal of Biogeography*, 44(1), 51-61. <https://doi.org/10.1111/jbi.12845>
- Betancur, J., Moralez-Rozo, A., & Parra, J. L. (2020). Occupancy of the Sooty ant - tanager (*Habia gutturalis*) and White - mantled barbet (*Capito hypoleucus*) in fragmented forests of the Central Andes in Colombia. *Ornitología Colombiana*, 18.
- BirdLife International. (2016a). *Capito hypoleucus*. La Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN 2016: e.T22681914A92925684. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22681914A92925684>
- BirdLife International. (2016b). *Coeligena bonapartei*. La Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN 2016: e.T61172969A95165329. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T61172969A95165329>
- BirdLife International. (2016c). *Gallinula melanops*. La Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN 2016: e.T22692887A93373536.
- BirdLife International. (2016d). *Hapalopsittaca amazonina*. La Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN 2016: e.T22686158A93100213. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22686158A93100213>

- BirdLife International. (2016e). *Rallus semiplumbeus*. La Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN 2016: e.T22692482A93355621. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22692482A93355621>
- BirdLife International. (2017). *Macroagelaius subalaris*. La Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN 2017: e.T22724290A118889995. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T22724290A118889995>
- BirdLife International. (2018a). *Cistothorus apolinari*. La Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN 2018: e.T22711366A131963740. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T22711366A131963740>
- BirdLife International. (2018b). *Crax alberti* (amended version of 2016 assessment). La Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN 2018: e.T22678525A127590617. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22678525A127590617>
- BirdLife International. (2018c). *Thryophilus nicefori* (amended version of 2016 assessment). La Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN 2018: e.T22711458A125465449. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22711458A125465449>
- BirdLife International. (2019a). *Amazilia castaneiventris*. Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN 2019: e.T22687614A156112287. <https://www.iucnredlist.org/species/22687614/156112287#conservation-actions>
- BirdLife International. (2019b). *Aotus griseimembra*. Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN 2019: e.T1807A17922228. <https://www.iucnredlist.org/species/1807/17922228>
- BirdLife International. (2019c). *Odontophorus strophium*. Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN 2019: e.T22679678A155450500. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T22679678A155450500>
- BirdLife International. (2020a). *Clytoctantes alixii*. Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN 2020: e.T22701358A179597646. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T22701358A179597646>
- BirdLife International. (2020b). *Pyrrhura calliptera*. Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN 2020: e.T22685867A179575031. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T22685867A179575031>

- BirdLife International. (2020c). *Vultur gryphus*. Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN 2020: e.T22697641A181325230. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T22697641A181325230>
- Bivand, R., & Rundel, C. (2020). rgeos: Interface to Geometry Engine - Open Source ('GEOS') (R package version 0.5-5). <https://cran.r-project.org/package=rgeos>
- Bivand, R., Keitt, T., & Rowlingson, B. (2021). rgdal: Bindings for the «Geospatial» Data Abstraction Library (R package version 1.5-23). <https://cran.r-project.org/package=rgdal>
- Broadus, R. N. (1987). Toward a definition of " bibliometrics ". *Scientometrics*, 12(5-6), 373-379. <https://doi.org/10.1007/bf02016680>
- Cabezas-Cavijo, A., & Delgado-López-Cózar, E. (2013). Google Scholar e índice h en biomedicina : la popularización de la evaluación bibliométrica. *Medicina intensiva*, 37(5), 343-354. <https://doi.org/10.1016/j.medin.2013.01.008>
- Cáceres-Martínez, C. H., Rincón Acevedo, A. A., Leal Sierra, A. J., & González-Maya, J. F. (2017). *Kinosternon scorpioides scorpioides* (Testudines: Kinosternidae): A New Record from Northeastern Colombia. 22(2), 242-245. <https://doi.org/10.15466>
- Cayuela, L., Golicher, D. J., Newton, A. C., & Kolb, M. (2008). Species distribution modeling in the tropics : problems , potentialities , and the role of biological data for effective species conservation. *Tropical Conservation Science*, 2(3), 319-352. <https://doi.org/10.1177/194008290900200304>
- Chang, W. (2014). extrafont: Tools for using fonts (0.17). <https://cran.r-project.org/package=extrafont>
- Chaves, M., Santamaria, M., & Sanchez, E. (2007). Alternativas para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad en los Andes de Colombia.
- Civallero, E. (2006). Open Access: experiencias latinoamericanas. <https://www.researchgate.net/publication/28808761>
- Contreras, F. G., Buzeta, L. P., & Pedraja-Rejas, L. (2015). Importancia de las publicaciones académicas: Algunos problemas y recomendaciones a tener en cuenta. *Idesia*, 33(4), 111-120. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292015000400014>
- Cruz-Cárdenas, G., Villaseñor, J. L., López-Mata, L., Martínez-Meyer, E., & Ortiz, E. (2014). Selección de predictores ambientales para el modelado de la distribución de especies en MaxEnt. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 20(2), 187-201. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.09.034>

- De La Ossa V, J., Montes-Vergara, D., González-Tous, M., & Salgado-Arroyo, L. C. (2019). Análisis bibliométrico de la Revista Colombiana de Ciencia Animal – RECIA 2009-2018. Indicadores de producción. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 11(1), 724. <https://doi.org/10.24188/recia.v11.n1.2019.724>
- Dudley, N., & Parrish, J. (2007). Cubriendo los vacíos. La creación de sistemas de áreas protegidas ecológicamente representativos: Una guía para conducir los análisis de vacíos de sistemas de áreas protegidas para el convenio de diversidad biológica. Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica.
- Echandía Castilla, C., & Bechara Gómez, E. (2006). Conducta de la guerrilla durante el gobierno Uribe Vélez: de las lógicas de control territorial a las lógicas de control estratégico. *Análisis político*, 57(19), 31-54. <http://www.scielo.org.co/pdf/anpol/v19n57/v19n57a02.pdf>
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1), 43-57. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>
- Esri. (2016). ArcGIS Desktop (10.5.0.6491). Esri Inc. <https://www.arcgis.com/index.html>
- 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(12), 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Franklin, J. (2010). *Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction*. Cambridge University Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/CBO9780511810602>
- GIDROT (Grupo de Investigación sobre Desarrollo Regional Y Ordenamiento Territorial). (2011). Dimension Biofísica Ambiental Tomo I. En *Dimensión Biofísica Ambiental Santander 2030*. Universidad Industrial de Santander. <http://www.uis.edu.co/webUIS/es/investigacionExtension/documentos/docInteres/Tomo I Dimension Biofísica Ambiental.pdf>
- Graham, C. H., Ferrier, S., Huettman, F., Moritz, C., & Peterson, A. T. (2004). New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. *Trends in Ecology and Evolution*, 19(9), 497-503. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2004.07.006>
- Grupo Banco Mundial. (2019). Gasto en investigación y desarrollo como % PBI. <https://datos.bancomundial.org/indicador/GB.XPD.RSDV.GD.ZS>
- Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135(2-3), 147-186. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00354-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00354-9)

- Guzmán-Useche, E., & Rodríguez-Contreras, F. (2020). La publicación y difusión científica en tiempos de pandemia por el COVID-19. *Revista Electrónica Educare*, 24(Suplemento), 1-4. <https://doi.org/10.15359/ree-24-s.6>
- Hiebert, J. (2016). *udunits2: Udunits-2 Bindings for R* (R package version 0.13). <https://cran.r-project.org/package=udunits2>
- Hijmans, R. J. (2020). *raster: Geographic Data Analysis and Modeling* (R package version 3.3-13). <https://cran.r-project.org/package=raster>
- Hijmans, R. J., Phillips, S. J., Leathwick, J., & Elith, J. (2017). *dismo: Species Distribution Modeling* (R package version 1.1-4). <https://cran.r-project.org/package=dismo>
- Huertas, B. C., & Donegan, T. M. (2006). Proyecto YARÉ: Investigación y Evaluación de las Especies Amenazadas de la Serranía de los Yariguíes, Santander, Colombia. BP Conservation Programme. Informe Final. [www.proaves.org](http://www.proaves.org).
- IAvH (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt). (2015). Caracterización biótica del complejo de páramos Iguaque-Merchán en Jurisdicción de Corpoboyacá y Cas (p. 450). <http://repository.humboldt.org.co/bitstream/20.500.11761/9572/1/14-13-014-317PS.pdf>
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). (2005). Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Boyacá. Tomo I. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). (2006). Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento Norte de Santander. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). *An introduction to statistical learning. With Applications in R*. <https://www.springer.com/gp/book/9781461471370><http://www.springer.com/us/book/9781461471370>
- Jaynes, E. T. (1957). Information theory and statistical mechanics. II. En *Physical Review* (Vol. 108, Número 2, pp. 171-190). <https://doi.org/10.1103/PhysRev.108.171>
- Jiménez-Valverde, A. (2012). Insights into the area under the receiver operating characteristic curve (AUC) as a discrimination measure in species distribution modelling. *Global Ecology and Biogeography*, 21(4), 498-507. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00683.x>

- Jones, N., Malesios, C., Kantartzis, A., & Dimitrakopoulos, P. G. (2020). The role of location and social impacts of protected areas on subjective wellbeing. *Environmental Research Letters*, 15(11). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb96e>
- Lemarchand, G. A. (2015). Latin America. En UNESCO Science Report: towards 2030 (pp. 174-209). United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. <https://doi.org/10.4324/9781315770581>
- Ley 1930 de Gestión integral de los páramos en Colombia, 27 de julio (2018). [http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY 1930 DEL 27 DE JULIO DE 2018.pdf](http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY_1930_DEL_27_DE_JULIO_DE_2018.pdf)
- Li, W., & Zhao, Y. (2015). Bibliometric analysis of global environmental assessment research in a 20-year period. *Environmental Impact Assessment Review*, 50, 158-166. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.09.012>
- Lobo, J. M., Jiménez-valverde, A., & Real, R. (2008). AUC: A misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography*, 17(2), 145-151. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00358.x>
- Machado-Maz, A., Fanjul-Jiménez, N. N., & Villarraga Rico, M. E. (2002). La producción científica colombiana en SciELO: un análisis bibliométrico. *Revista Interamericana de Bibliotecología*, 39(2), 111-119. <https://doi.org/10.17533/udea.rib.v39n2a03>
- Marshall, L. G., Webb, S. D., Sepkoski, J. J., Raup, D. M., Webb, D. S., Sepkoski, J. J., & Raup, D. M. (1982). Mammalian American. *Science*, 215(4538), 1532-1357. <https://doi.org/10.1126/science.215.4538.1351>
- Mateo, R. G., Felicísimo, Á. M., & Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84(2), 217-240. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2011000200008>
- Merigó, J. M., Cancino, C. A., Coronado, F., & Urbano, D. (2016). Academic research in innovation: a country analysis. *Scientometrics*, 108(2), 559-593. <https://doi.org/10.1007/s11192-016-1984-4>
- Microsoft Corporation. (2019). Microsoft Excel (N.o 365-2006). <https://office.microsoft.com/excel>
- Miller, J. (2010). Species Distribution Modeling. *Geography Compass*, 4(6), 490-509. <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2010.00351.x>

- Morales-Morejón, M., & Cruz, A. (1995). La bibliotecología, la ciencia de la información y sus disciplinas instrumentales: su alcance conceptual. *Ciencias de la Información*, 26(2), 70-88.
- Mota-Vargas, C., Encarnación-Luévano, A., Ortega-Andrade, H. M., Prieto-Torres, D. A., Peña-Peniche, A., & Rojas-Soto, O. R. (2019). Una breve introducción a los modelos de nicho ecológico. En C. E. Moreno (Ed.), *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio*. (pp. 39-63). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Libermex.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853-858. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Naimi, B., & Araújo, M. B. (2016). sdm : a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. *Ecography*, 39(October 2017), 001-008. <https://doi.org/10.1111/ecog.01881>
- Naimi, B., Hamm, N. A., Groen, T. A., Skidmore, A. K., & Toxopeus, A. G. (2014). Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling. *Ecography*, 37, 191-203. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.00205.x>
- Narin, F. (1994). Patent bibliometrics. *Scientometrics*, 30(1), 147-155. <https://doi.org/10.1007/BF02017219>
- Oksanen, J., Guillaume Blanchet, F., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlenn, D., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., Simpson, G. L., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Szoecs, E., & Wagner, H. (2019). *vegan: Community Ecology Package (2.5-6)*. <https://cran.r-project.org/package=vegan>
- Olarte-Quiñonez, C. A., Acevedo-Rincón, A. A., Ríos-Málaver, I. C., & Carrero-Sarmiento, D. A. (2016). Diversidad de mariposas (Lepidoptera, Papilionoidea) y su relación con el paisaje de alta montaña en los Andes nororientales de Colombia. *Arxius de Miselania Zoológica*, 14, 233-255.
- Parra, J., Beltran, M., Delgadillo, A., & Valderrama, S. (2010). *Project Chicamocha II Saving Threatened Dry Forest Biodiversity Final report*.
- Pebesma, E. (2018). Simple Features for R: Standardized Support for Spatial Vector Data. *The R Journal*, 10(1), 439-446. <https://doi.org/10.32614/RJ-2018-009>
- Pecchi, M., Marchi, M., Burton, V., Giannetti, F., Moriondo, M., Bernetti, I., Bindi, M., & Chirici, G. (2019). Species distribution modelling to support forest management. A literature

- review. *Ecological Modelling*, 411, 108817.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108817>
- Peraza, C. (2001). Diversidad de Fauna en la Microcuenca de la Quebrada La Honda (Municipio de Los Santos, Santander) (p. 23). CDMB.
- Peterson, A. T., & Soberón, J. (2012). Species distribution modeling and ecological niche modeling: Getting the Concepts Right. *Natureza a Conservacao*, 10(2), 102-107.  
<https://doi.org/10.4322/natcon.2012.019>
- Peterson, A. T., Papeş, M., & Eaton, M. (2007). Transferability and model evaluation in ecological niche modeling: a comparison of GARP and Maxent. *Ecography*, 30(4), 550-560.  
<https://doi.org/10.1111/j.2007.0906-7590.05102.x>
- Peterson, A. T., Papeş, M., & Soberón, J. (2008). Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling*, 213(1), 63-72.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.11.008>
- Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, P. A., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., & Bastos Araújo, M. (2011). *Ecological niches and geographic distributions*. Princeton University Press.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(2-3), 231-259.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Pinilla, M., Camacho, A., & Trujillo, M. (2016). Gestión de páramos y humedales en Colombia: Experiencias y desafíos del agua.  
[http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/32507/2016-Trujilloetal\\_GestionParamos\\_UICN.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/32507/2016-Trujilloetal_GestionParamos_UICN.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Plata, C., Ortiz, R., Marentes, E., & Diaz, J. (2021). Informe anual de creación de capacidad, integración y publicación de datos a través de la red del SiB Colombia 2020. En Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (p. 36). Versión 1.0.  
<http://hdl.handle.net/20.500.11761/35708>
- Pliscoff, P., & Fuentes-Castillo, T. (2011). Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: Una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2011(48), 61-79.  
<https://doi.org/10.4067/s0718-34022011000100005>
- PNNC (Parques Nacionales Naturales de Colombia). (2016). Organigrama.  
<http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/organizacion/organigrama/>

- PNNC (Parques Nacionales Naturales de Colombia). (2018). Subsistemas de Gestión del SINAP. <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/sistema-nacional-de-areas-protegidas-sinap/subsistemas-regionales-de-areas-protegidas/>
- R Core Team. (2020). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- Rangel-Ch, J. O. (2015). La biodiversidad de Colombia: significado y distribución regional. *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 39(151), 176-200. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.136>
- Renjifo, L. M., Amaya-villarreal, Á. M., Burbano-Girón, J., & Velásquez-Tibatá, J. (2016). Libro rojo de aves de Colombia, Volumen II: Ecosistemas abiertos, secos, insulares, acuáticos continentales, marinos, tierras altas del Darién y Sierra Nevada de Santa Marta y bosques húmedos del centro, norte y oriente del país.: Vol. II. Editorial Pontificia Universidad Javeriana e Instituto Alexander von Humboldt.
- Reyes, A. (1997). Compra de tierras por narcotraficantes. En *Drogas ilícitas en Colombia: Su impacto económico, político y social*. Planeta Colombia Editorial.
- Rincón, N. (2001). Actividad investigativa en biodiversidad de Colombia: análisis bibliométrico 1995-1999. *Biosíntesis*, 27, 1-4. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/32642>
- Ríos Sierra, J. (2015). Breves notas sobre el conflicto colombiano tras la llegada de Álvaro Uribe Vélez (pp. 1-15). *Grupos de Estudios en Seguridad Internacional*. <http://www.ugr.es/~gesi/analisis/2-2015.pdf>
- Robertson, M. (2016). biogeo: Point Data Quality Assessment and Coordinate Conversion (R package version 1.0). <https://cran.r-project.org/package=biogeo>
- Rodríguez, N., Armenteras, D., Morales, M., & Romero, M. (2006). Ecosistemas de los Andes colombianos. En *Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humbolt* (2da ed.).
- Rodríguez-Cabeza, B. V. (2017a). Lineamiento Institucional de Investigación. *Parques Nacionales Naturales. Subdirección de Gestión y Manejo de Áreas Protegidas. Grupo de Planeación y Manejo. Estrategia de Investigación*. (p. 101).
- Rodríguez-Cabeza, B. V. (2017b). Lineamiento Institucional de Monitoreo. *Parques Nacionales Naturales. Subdirección de Gestión y Manejo de Áreas Protegidas. Grupo de Planeación y Manejo. Estrategia de Monitoreo*. (p. 106).

- Roncancio, D., Vega, E., & Herrera, G. (Eds.). (1998). *Guía para plantaciones Forestales Comerciales. Norte de Santander*. CONIF (Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal).
- RStudio team. (2016). *RStudio: Integrated Development for R*. RStudio (1.1.463). RStudio, INC. <http://www.rstudio.com/>
- Scott, J. M., Davis, F., Csuti, B., Noss, R., Butterfield, B., Anderson, H., Caicco, S., Erchia, F. D., Edwards, T. C., Ulliman, J., Wright, R. G., Anderson, H. A. L., & Caicco, S. (1993). Gap analysis: A geographic approach to protection of biological diversity. *Biological Conservation*, 65(2), 3-41. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(93\)90452-7](https://doi.org/10.1016/0006-3207(93)90452-7)
- Scott, J. M., Helglund, J. H., Morrison, M. L., Hafler, J. B., Raphael, M. G., Wall, W. A., & Samson, F. B. (Eds.). (2003). Predicting species occurrences: Issues of accuracy and scale. *Journal of Mammalogy*, 84(1), 319-321. [https://doi.org/10.1644/1545-1542\(2003\)084<0319:R>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1644/1545-1542(2003)084<0319:R>2.0.CO;2)
- SIB (Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia). (2019). Biodiversidad en cifras. <https://sibcolombia.net/actualidad/biodiversidad-en-cifras/>
- Sillero, N., & Barbosa, A. M. (2021). Common mistakes in ecological niche models. *International Journal of Geographical Information Science*, 35(2), 213-226. <https://doi.org/10.1080/13658816.2020.1798968>
- Silva Garnica, N. (2003). *En busca del loro multicolor: Aproximación a la distribución geográfica y ecológica de los loros Hapalopsittaca en Colombia*. [Trabajo de grado, Universidad de los Andes].
- Simões, M. V. P., & Peterson, A. T. (2018). Utility and limitations of climate-matching approaches in detecting different types of spatial errors in biodiversity data. *Insect Conservation and Diversity*, 11(5), 407-414. <https://doi.org/10.1111/icad.12288>
- Sistema de Información Ambiental para Colombia SIAC. (2016). SIAC General. [http://www.siac.gov.co/siac\\_general](http://www.siac.gov.co/siac_general)
- Smith, A. B. (2020). *enmSdm: Tools for modeling niches and distributions of species* (R package version 0.5.3.0). <http://www.earthskysea.org>
- Soberón, J., & Peterson, T. (2004). Biodiversity informatics: managing and applying primary biodiversity data. *Biodiversity informatics: managing and applying*. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 359(1444), 689-698. <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1439>

- Suarez-Castro, A. F., Ramirez-Chaves, H. E., Noguera-Urbano, E. A., Velásquez-Tibatá, J., González-Maya, J. F., & Lizcano, D. J. (2021). Vacíos de información espacial sobre la riqueza de mamíferos terrestres continentales de Colombia. *Caldasia*, 43(2 SE-). <https://doi.org/10.15446/caldasia.v43n2.85443>
- Urbanek, S. (2020). rJava: Low-Level R to Java Interface (R package version 0.9-13). <https://cran.r-project.org/package=rJava>
- Veloz, S. D. (2009). Spatially autocorrelated sampling falsely inflates measures of accuracy for presence-only niche models. *Journal of Biogeography*, 36(12), 2290-2299. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2009.02174.x>
- Villanueva, D. (2006). Investigación y evaluación de las especies amenazadas de la Serranía de los Yariguíes, Santander, Colombia. BP Conservation Programme. Informe Final. En B. Huertas & T. Donegan (Eds.), *Estudio de los mamíferos de la Serranía de los Yariguíes y su conservación* (pp. 55-66 & 148-151). Colombian EBA Project Report Series 7.
- Wei, T., & Simko, V. (2017). R package «corrplot»: Visualization of a Correlation Matrix (Version 0.84). <https://github.com/taiyun/corrplot>
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York. <https://ggplot2.tidyverse.org>
- Wickham, H. (2019). stringr: Simple, Consistent Wrappers for Common String Operations (R package version 1.4.0). <https://cran.r-project.org/package=stringr>
- Wickham, H., & Bryan, J. (2009). readxl: Read Excel Files (1.3.1). <https://cran.r-project.org/package=readxl>
- Wilson, D., & Reeder, D. (Eds.). (1993). *Mammal species of the world: a taxonomic and geographic reference* (2nda ed.). Smithsonian Institution Press.
- Xie, Y. (2021). printr: Automatically Print R Objects to Appropriate Formats According to the «knitr» Output Format (R package version 0.1.1). <https://cran.r-project.org/package=printr>

## Apéndices

Puede ingresar a los enlaces descritos aquí para su visualización. Cabe aclarar que, para la correcta observación de los scripts, se recomienda descargar los documentos ya que son archivos HTML y no pueden ser abiertos correctamente desde una previsualización en OneDrive.

### Apéndice A

- Script – Bibliometría:

<https://1drv.ms/u/s!Av8BlaC3J2xageN5Xvz7OifsIVaQzg?e=wvnPKd>

### Apéndice B

- Script – Selección de variables predictoras:

[https://1drv.ms/u/s!Av8BlaC3J2xageN6mWQu1ZJ90Q11\\_g?e=bO9CHL](https://1drv.ms/u/s!Av8BlaC3J2xageN6mWQu1ZJ90Q11_g?e=bO9CHL)

### Apéndice C

- Script - Calibración, predicción, evaluación y proyección de los modelos:

<https://1drv.ms/u/s!Av8BlaC3J2xageN4N8bsD7i9BsmUWg?e=AuVQGA>

### Apéndice D

- Script - Cálculo de áreas:

<https://1drv.ms/u/s!Av8BlaC3J2xageN311XArNNNs-0lew?e=fVEmhZ>

### Apéndice E

- Base de datos: Andes Nororientales:

<https://1drv.ms/u/s!Av8BlaC3J2xageN1NsklrUSzW6lC5g?e=NyKXSx>

### **Apéndice F**

- ❑ Base de datos: especies priorizadas y selección de especies focales:

[https://1drv.ms/u/s!Av8BlaC3J2xageN2elQT9s1Zumm\\_Jw?e=1kAdzu](https://1drv.ms/u/s!Av8BlaC3J2xageN2elQT9s1Zumm_Jw?e=1kAdzu)

### **Apéndice G**

- ❑ Distribución potencial de las especies focales:

<https://1drv.ms/u/s!Av8BlaC3J2xageQS1P26Ew2p15KoSw?e=QjKIQw>