



**Incidencia del cambio climático sobre la distribución espacial de tres de las  
especies de aves con mayor grado de amenaza en Colombia**

**Carlos Mario Fernández Barrios**

Cód.: 11792217422

**Universidad Antonio Nariño**

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Facultad de Ingeniería Ambiental e Ingeniería Civil

Bogotá D.C., Colombia

2023



**Incidencia del cambio climático sobre la distribución espacial de tres de las  
especies de aves con mayor grado de amenaza en Colombia**

**Carlos Mario Fernández Barrios**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Especialista en Sistemas de Información Geográfica**

**Universidad Antonio Nariño**

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Facultad de Ingeniería Ambiental e Ingeniería Civil

Bogotá D.C., Colombia

2023



# Contenido

Pág.

<b>1. Introducción .....</b>	<b>11</b>
<b>2. Marco teórico .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Cambio climático y su incidencia en la biodiversidad .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 Modelos de distribución de especies .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3 Generalidades de las especies .....</b>	<b>20</b>
<b>2.3.1 Paujil de Pico Azul (<i>Crax alberti</i>) .....</b>	<b>23</b>
<b>2.3.2 Cucarachero del Chicamocha (<i>Thryophilus nicefori</i>) .....</b>	<b>26</b>
<b>2.3.3 Tordo Montañero (<i>Macroagelaius subalaris</i>) .....</b>	<b>29</b>
<b>2.4 Estado del conocimiento .....</b>	<b>33</b>
<b>3. Objetivos .....</b>	<b>39</b>
<b>3.1 Objetivo General .....</b>	<b>39</b>
<b>3.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>39</b>
<b>4. Metodología .....</b>	<b>40</b>
<b>4.1 Área de estudio .....</b>	<b>41</b>
<b>4.2 Datos de presencia o avistamiento de las especies. ....</b>	<b>42</b>
<b>4.3 Variables bioclimáticas .....</b>	<b>47</b>
<b>4.4 Modelado con MaxEnt .....</b>	<b>48</b>
<b>5. Resultados y discusión .....</b>	<b>52</b>
<b>5.1 Paujil de Pico Azul (<i>Crax alberti</i>) .....</b>	<b>52</b>
<b>5.2 Cucarachero del Chicamocha (<i>Thryophilus nicefori</i>) .....</b>	<b>58</b>
<b>5.3 Tordo Montañero (<i>Macroagelaius subalaris</i>) .....</b>	<b>63</b>
<b>5.4 Resultados generales .....</b>	<b>67</b>
<b>6. Conclusiones .....</b>	<b>73</b>
<b>7. Recomendaciones .....</b>	<b>76</b>
<b>8. Referencias .....</b>	<b>79</b>



## 1. Introducción

La cantidad de amenazas a las cuales se enfrentan las distintas especies ha venido en aumento tras la acelerada actividad humana, en términos de la destrucción de ecosistemas, deforestación, aprovechamiento de recursos naturales de manera desmedida, expansión de la frontera urbana y agrícola, entre otros, lo cual ha generado una constante presión sobre la biodiversidad y detrimento en los números de especies del planeta. Además, y como parte de la consecuencia de los anteriores actos habría que sumar el cambio climático y sus efectos.

El cambio climático, ha originado múltiples afectaciones a la biodiversidad, impactos que se han identificado en el ámbito espacial de las especies, como cambios en la distribución, y así efectos ecosistémicos altamente graves (Largo, 2019); como necesidad ante esta problemática se podrían encontrar las herramientas que permitan establecer y/o determinar la distribución real, potencial y futura de una especie.

La Biogeografía establecida como herramienta que permite estudiar la distribución de la especies sobre la Tierra y las causas que la definen, tiene como fin determinar cómo y por qué una especie se distribuye de cierta manera, y es la respuesta ante la necesidad antes mencionada (Ehrlén & Morris, 2015), y dentro de ella se encuentran de manera general los Sistemas de Información Geográfica y sus distintas aplicaciones y/o extensiones que permiten a partir de ciertos métodos estadísticos, y para el caso los Modelos de Distribución de Especies, generar una representación cartográfica de la idoneidad de espacio geográfico para la presencia de una especie, con base a los datos de observación de la misma y las variables bioclimáticas tanto actuales como futuras.

Para el caso de la presente investigación, se modelarán las distribuciones espaciales actuales y futuras para tres de las especies con mayor categoría de amenaza en Colombia, modelos futuros que se verán influenciados por escenarios de cambio climático SSP. Con estos modelos se podrá determinar el nivel de afectación del cambio climático a la distribución de una especie, estimando tasas de cambio porcentual, áreas de estabilidad, ganancia y pérdida.

El impulso de las tecnologías de la información, ha posibilitado la recopilación y distribución de los datos asociados a observación de una especie, en plataformas abiertas como GBIF se compilan más de dos mil millones de registros de especies, con el fin de impulsar la investigación, las políticas y mejorar las decisiones que se tomen con respecto a la biodiversidad mundial; además, páginas web como Worldclim, disponen información meteorológica y climática a nivel mundial, para generar modelos espaciales y/o cartografía temática, y en específico para el desarrollo de la presente investigación, servir de insumo para los modelos de distribución potencial a desarrollar, tanto actuales como futuros.

Las especies seleccionadas para esta investigación fueron el Paujil de Pico Azul (*Crax alberti*), el Cucarachero del Chicamocha (*Thryophilus nicefori*) y el Tordo Montañero (*Macroagelaius subalaris*), debido a sus características ecológicas, fisiológicas, taxonómicas, de distribución, comportamentales, además de su nivel de amenaza.



## **2. Marco teórico**

Haciendo una revisión frente a los aspectos teóricos tratados en la presente investigación, es necesario resaltar conceptos inmersos en varias áreas de estudio y conocimiento, como lo puede ser la biología, la ecología, los sistemas de información geográfica, los modelos de distribución, la estadística y la probabilidad, así como a las causas de las acciones humanas y su repercusión frente al medio ambiente, el cambio climático; también, es preciso destacar las generalidades de las especies de aves trabajadas, su estado de amenaza, su taxonomía, así como de los esfuerzos nacionales para su conservación. Además, durante este capítulo se adelantará una revisión de antecedentes y/o estudios realizados que permiten ampliar el marco de la investigación.

### **2.1 Cambio climático y su incidencia en la biodiversidad**

Es clara la necesidad de entender el cambio climático como factor clave en la afectación de los individuos, especies, poblaciones y ecosistemas ya sea de manera directa o indirecta. El IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) desde su creación ha publicado una serie de Informes de Evaluación sobre las causas del cambio climático, sus efectos a futuro y algunas estrategias a modo de respuesta. Definen el cambio climático como “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (IPCC, 2000).

Además, en 1992, hacen la primera publicación sobre los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero, los cuales para 1996 fueron ajustados, y que recibieron el

nombre de IS92. El IPCC definió entonces cuatro familias de escenarios de cambio climático A1, A2, B1 y B2, sin embargo, en la familia A1 se encuentran tres subgrupos y son A1F1, que se caracteriza por ser un escenario donde hay una utilización intensiva de combustibles de origen fósil, A1B, de los tres el escenario más equilibrado en cuanto al uso de todo tipo de fuentes de energía y el A1T donde predomina el desarrollo de tecnologías de energía con combustibles no de origen fósil. La familia A2, se caracteriza por ser escenarios de un mundo más heterogéneo y hacia una población en continuo crecimiento. La familia B1, es propensa al uso menos intenso de los materiales y de la introducción de tecnologías limpias con un aprovechamiento eficaz de los recursos. Por último, la familia B2, es el escenario más optimista en el que se propende a las soluciones locales del tipo sostenibles tanto económicas, sociales como medioambientales (IPCC, 2000; Rodríguez Pérez & Beltrán Vargas, 2014).

Entre el 2000 y el 2014 estos escenarios fueron actualizados constantemente por el IPCC, pasando de la primera generación, los mencionados anteriormente IS92, a la familia SRES de los informes dos, tres y cuatro del IPCC; finalizando en la familia de escenarios RCP del quinto informe (AR5), agrupados por el proyecto CMPI5 (de sus siglas en inglés Coupled Model Intercomparison Project en su versión 5) (Wayne, 2013).

Actualmente y a partir del sexto informe de evaluación presentado por el IPCC en 2017, se maneja la familia de escenarios de cambio climático denominado SSP (Shared Socio-Economic Pathways), que está compuesta de cuatro grupos de escenarios, distribuidos así: SSP1, donde se presenta un manejo mínimo de combustibles fósiles y se fortalecen las medidas del uso adecuado de los recursos en pro de un desarrollo más inclusivo, debido a esto se presentan cambios mínimos futuros, es el escenario más

sostenible; y que se podría homologar con las familias B1 y A1T de los IS92. SSP2, es un escenario en donde el mundo mantiene sus patrones de desarrollo similares a lo presentado históricamente, es un caso intermedio entre el SSP1 y el SSP3. El SSP3, es un escenario donde el mundo se encuentra regionalizado, por tanto, las emisiones son elevadas, el crecimiento poblacional alto, pero lento casi nulo en el cambio energético, esto genera inversiones en el capital humano escasas produciendo un margen alto de desigualdad; comparable con el A2 del IS92. El escenario SSP4, presenta un mundo dividido y desigual, pues hay un alto desarrollo tecnológico en los países que más emisiones producen, pero con alto impacto para las regiones donde su inversión tanto humana como tecnológica es baja, haciendo que sean más vulnerables al cambio climático y con poca adaptabilidad; no existe un homólogo a este dentro de la IS92. Y por último el escenario, SSP5, el escenario más crítico en cuanto a uso de combustibles fósiles, sin embargo, existe más inversión en el capital humano, por tanto, su adaptabilidad al cambio climático es mayor así como su vulnerabilidad baja, además que el crecimiento de la población es más lento; en cuanto a su homólogo en los IS92 este sería el A1F1 (harrison, 2018; O'Neill et al., 2014; Riahi et al., 2017).

Cómo mencionan (Bravo Cadena et al., 2011), estos cambios pueden incurrir en problemáticas en la biodiversidad de todo tipo, como la pérdida de hábitat, modificaciones de los patrones de migración, los tamaños y la distribución de poblaciones, entre otras; y dependerá de la capacidad de respuesta y adaptabilidad de las especies puesto que habrá poblaciones que aprovechen estos cambios para ampliar su distribución y habrán otras que se verán afectadas, es decir, que son más sensibles ante los efectos del cambio climático.

Desde la comunidad científica se han adelantado múltiples estudios e investigaciones que han permitido ampliar los conocimientos referentes a la distribución de las especies y sus cambios debido a los efectos del cambio climático, tanto con modelos potenciales hacia el futuro como al pasado, investigaciones a partir de registros fósiles y datos climáticos históricos (Bravo Cadena et al., 2011).

## **2.2 Modelos de distribución de especies**

Cuando se habla de la distribución de una especie, se hace necesario determinar en qué lugares del territorio están ubicadas dichas especies; y para llegar a esta conclusión y de la manera más confiable posible, es necesario poder estudiar a la especie desde su ecología, lo cual contemplaría arduos procesos de observación directa para tiempos de esperanza de vida, así como una adaptabilidad ante los cambios naturales de los hábitats, es decir, que se permitan reiterar estas observaciones; proceso que claramente es desgastante y que amerita esfuerzos exhaustivos tanto económicos como personales, esto omitiendo todas las limitantes que se pudiesen llegar a presentar en el trabajo in situ.

Como herramienta para posibilitar este trabajo, se han diseñado los Modelos de Distribución de Especies (MDE), los cuales son de tipo mecanicistas o correlativos. Los MDE mecanicistas, son modelos que necesitan de amplios conocimientos en la ecología y fisiología de la especie, mediciones precisas y regulares de las variables ambientales, por ende, tienden a ser más precisos de tener los datos necesarios. Y los MDE correlativos, que son modelos basados en razonamiento inductivo (métodos estadísticos o de aprendizaje automatizado) que permiten inferir la probabilidad de distribución de una especie en términos de datos de ocurrencia y la selección de variables climáticas (Arango, 2018).

Con base en lo anterior, la presente investigación se limita al uso de los MDE del tipo correlativo, que al ser en síntesis probabilísticos, pueden ser llamados Modelos de Distribución Potencial (MDP), los cuales y según (Ferrier & Guisan, 2006), son modelos que indican los niveles de idoneidad del hábitat para una especie. Dentro de estos modelos es necesario aplicar modelos estadísticos y que como se menciona en la literatura científica existen una amplia variedad, algunos de ellos son (Alberdi Nieves, 2021; Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011):

- Métodos de regresión: GLM (generalized linear models), LMR (logistic multiple regression).
- Algoritmos genéricos: GARP (genetic algorithm for rule-set production).
- Modelos adaptativos: MARS (multivariate adaptative regression splines)
- Máxima Entropía: MaxEnt (maximum entropy modeling).

A grandes rasgos el algoritmo de Máxima Entropía, basado en el principio de Máxima Entropía detallado por (Jaynes, 1957), que es toda una teoría estadística, busca determinar la idoneidad relativa de un área para una especie, al arrojar, valores continuos entre 0 y 1, donde cero sea totalmente incompatible y uno idóneo.

Este algoritmo es condensado en el Software gratuito MaxEnt<sup>1</sup> desarrollado por Steven J. Phillips, Miroslav Dudík y Robert E. Schapire, como iniciativa del Center for Biodiversity and Conservation at the American Museum of Natural History (AMNH), el cual provee al ejecutar el programa, información sobre la correlación y dependencia entre variables y registros de ocurrencias, como la curva ROC y el estadístico AUC, la

---

<sup>1</sup> [https://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/)

importancia o contribución de las variables en la construcción del MDP, así como las curvas respuesta, que muestra la relación de cada variable ambiental sobre la predicción de MaxEnt en la determinación de la predicción de la especie (Alberdi Nieves, 2021).

Como se ha mencionado para poder ejecutar MaxEnt y obtener el MDP, es necesario contar con los datos de ocurrencia de la especie, que en términos generales son las observaciones de presencia o ausencia sobre una ubicación específica (georreferenciados); así como de las variables o también llamadas predictores ambientales (o bioclimáticas), que son datos en su mayoría asociados al clima, esto según las investigaciones y literatura científica (Tabla 1).

**Tabla 1.** Variables Bioclimáticas. Fuente: (Arango, 2018; Largo, 2019)

<i>Código</i>	<i>Variable Bioclimática</i>	<i>Unidad y Descripción</i>
<i>Bio1</i>	Temperatura media anual	C°
<i>Bio2</i>	Rango diurno medio anual	C°, rango de temperatura media mensual (máximos mensuales menos mínimos mensuales)
<i>Bio3</i>	Isotermalidad	%, es el porcentaje de oscilación de la temperatura día-noche frente al cambio entre el trimestre más frío y el más cálido. Se obtiene de dividir la Bio1 entre la Bio7, y multiplicar por 100.

<b>Bio4</b>	Temperatura estacional	C°, es un coeficiente de variación de la temperatura anual a partir de la desviación estándar de las temperaturas media mensuales.
<b>Bio5</b>	Temperatura máxima del trimestre más caliente	C°
<b>Bio6</b>	Temperatura mínima del trimestre más frío	C°
<b>Bio7</b>	Rango de temperatura anual	C°, medida de variación de la temperatura a lo largo del año, se obtiene de la resta entre Bio5 y Bio6.
<b>Bio8</b>	Temperatura media en el trimestre más lluvioso	C°
<b>Bio9</b>	Temperatura media del trimestre menos lluvioso	C°
<b>Bio10</b>	Temperatura media en el trimestre más cálido	C°
<b>Bio11</b>	Temperatura media en el trimestre más frío	C°
<b>Bio12</b>	Precipitación anual	mm

<b>Bio13</b>	Precipitación del mes más lluvioso	mm
<b>Bio14</b>	Precipitación del mes menos lluvioso	mm
<b>Bio15</b>	Estacionalidad de la precipitación	%, es la desviación estándar de las precipitaciones acumuladas sobre el total de la precipitación acumulada en el año.
<b>Bio16</b>	Precipitación del trimestre más lluvioso	mm
<b>Bio17</b>	Precipitación del trimestre más seco	mm
<b>Bio18</b>	Precipitación del trimestre más cálido	mm
<b>Bio19</b>	Precipitación del trimestre más frío	mm

### 2.3 Generalidades de las especies

En Colombia se encuentra aproximadamente el 20% de las especies de aves del planeta, lo que lo hace convertirse en el país con la mayor diversidad en este ámbito, con un número de especies registradas para el 2020 de 1954 especies, y de las cuales 82 de ellas son endémicas, es decir que se encuentran únicamente en el territorio Colombiano (Asociación Colombiana de Ornitología, 2020).



Sin embargo, dentro del país se presentan múltiples amenazas para su existencia, como lo son la pérdida de hábitat por deforestación, el desarrollo urbano desmedido, la caza, el comercio ilegal, la minería, entre otros (Andrade C., 2011), que llevan a un detrimento en las poblaciones de especies presentes; es por ello que se publican los documentos (Renjifo et al., 2014) y (Renjifo et al., 2017), donde se agrupan por categorías el nivel de riesgo de extinción de una especie en Colombia, y son: Extinto (EX), extinto en estado silvestre (EW), en peligro crítico (CR), en peligro (EN), vulnerable (VU), casi amenazado (NT), preocupación menor (LC), datos insuficientes (DD) y no evaluado (NE). Hallando que más de 140 especies se encuentran en algún tipo de categoría de amenaza. Estas categorías de amenaza regional (o local) se determinan con base en los lineamientos determinados por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN de sus siglas en inglés) en la denominada Red List of Threatened Species<sup>2</sup> o sencillamente Red List, que es reconocida como la mayor autoridad para determinar el estatus de amenaza de una especie a nivel global.

Ahora bien, ante el auge de las tecnologías de la información se ha logrado compilar con mayor facilidad los registros de observación de especies de aves a lo largo del país y en diferentes temporalidades, en sistemas de bases de datos como lo son Ebird<sup>3</sup>,

---

<sup>2</sup> <https://www.iucnredlist.org/>

<sup>3</sup> <https://ebird.org/colombia/home>

iNaturalist<sup>4</sup>, Xenocanto<sup>5</sup>, Gbif<sup>6</sup>, que han permitido alimentar y nutrir de información los sistemas de orden nacional, como lo es el Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SiB).



**Figura 1.** Cifras de información sobre aves alojadas en el SiB. Fuente: SiB, 2022.

En los siguientes encisos se expondrá las generalidades de las especies de aves seleccionadas para el presente estudio, así como su estado de criticidad, sus principales amenazas y algunas de las acciones de conservación realizadas.

---

<sup>4</sup> <https://www.inaturalist.org/>

<sup>5</sup> <https://xeno-canto.org/>

<sup>6</sup> <https://www.gbif.org/>

### 2.3.1 Paujil de Pico Azul (*Crax alberti*)

Conocido también por sus nombres en español como Paujil Colombiano o Pavón Colombiano, y en inglés como Blue-billed Curassow, es perteneciente a la familia de los crácidos (Cracidae) los cuales son principalmente terrestres, con un tamaño que ronda entre los 83 y 93 cm, y en promedio 91 cm, son regularmente de color negro, tanto el macho como la hembra tienen una cresta rizada extendida hasta la nuca; el macho presenta en la cloaca (o respiradero) y en la punta de la cola el color blanco, el pico es color cuerno con cera azul carnosa y barbas colgantes; la hembra es de color negro con las plumas de la cresta espaciadas de color blanco, con un fino barrado blanco en las alas y en la cola, así como un vientre y muslos de color castaño (Hilty et al., 2001; IUCN, 2016) (Figura 1).

En cuanto a su taxonomía, esta especie pertenece a la orden Galliformes, como se mencionó anteriormente a la familia Cracidae, específicamente al género de los Crax, y concretamente a la especie *Crax alberti* (Fraser, 1852).

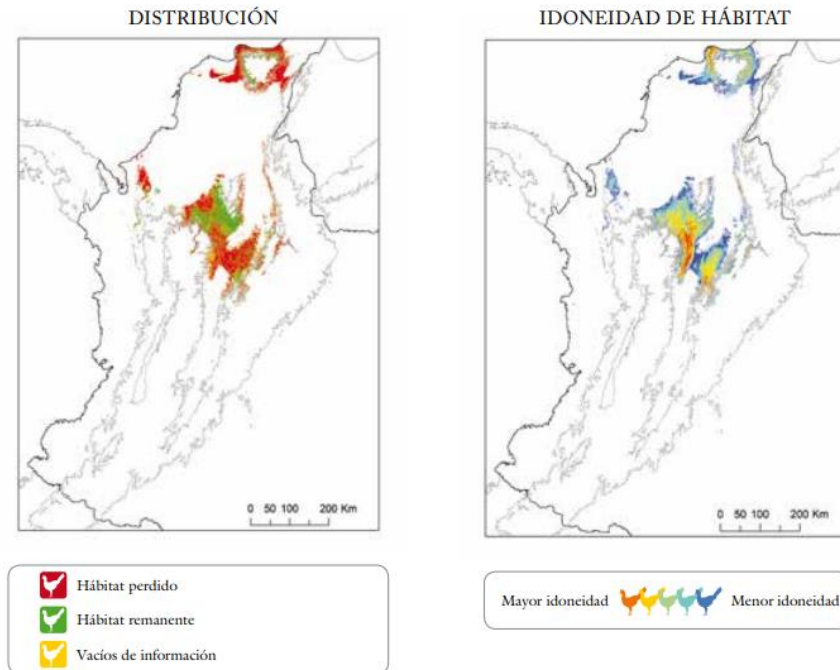


**Figura 2.** *Crax alberti*, de derecha a izquierda: macho, polluelo y hembra.

Fuente: Fundación ProAves de Colombia, 2020.

En cuanto a su distribución, es un ave endémica, que inicialmente se encontraba al norte del país desde la base de la Sierra Nevada de Santa Marta, así como grandes áreas de las cuencas medias y bajas de los ríos Cauca y Magdalena. Como se menciona en (Renjifo et al., 2017), existen algunas observaciones en la Guajira, así como otras zonas al norte del país donde se encuentren remanentes de bosque seco. Estudios realizados en 2003, muestran que la zona de la Serranía de las Quinchas ha sido un refugio poblacional para la especie, lo que impulsó la creación de la Reserva de Aves El Paujil, así como el proyecto “Salvando al Paujil Piquiazul” (Gil et al., 2008) (Figura 2).

Habita en los bosques húmedos y muy húmedo tropical entre los 0 y 1200 m, aunque se encuentran frecuentemente por debajo de los 800 m o 600 m. Tras diferentes estudios se ha determinado que el área mínima habitable de bosque son 300 ha, aunque esto no garantiza soportar poblaciones viables, dependería de la conectividad que tengan con bosques aledaños. El *C. alberti* se ha encontrado en bosques maduros, con diferentes grados de afectación, desde poca intervención antrópica hasta en bosques maderables, así como en bosques de crecimiento secundario (Renjifo et al., 2017).



**Figura 3.** Mapa de distribución en términos de hábitat perdido, hábitat remanente y vacíos de información (izquierda), y Mapa de idoneidad de hábitat (derecha) del *C. alberti*.

Fuente: (Renjifo et al., 2017)

Su población se ha estimado en aproximadamente unos 2.200 individuos, con una densidad poblacional promedio de 1,8 ind/ km<sup>2</sup> (donde las mayores densidades poblacionales se encontraron en el municipio de Puerto Boyacá de 3,1 ind/km<sup>2</sup> y 2,8 ind/km<sup>2</sup>), con una extensión estimada del hábitat restante de 2000 km<sup>2</sup> (IUCN, 2016; Renjifo et al., 2017).

Según el IUCN Red List of Threatened Species, el *C. alberti* se encuentra en Peligro Crítico (CR – Critically Endangered, A3bcd) con una población que viene en decremento desde 1994; al ser endémica presenta la misma categoría de amenaza. Se podrían resumir sus amenazas en la pérdida y fragmentación del hábitat, la disminución de

la calidad del mismo, la cacería y la contaminación; la disminución de la cobertura vegetal de bosque sobre las riveras del Río Magdalena podría considerarse como la principal amenaza.

Ante estas y otras amenazas, se han diseñado e implementado como medidas de conservación, estrategias del orden de: creación de áreas de protección, tanto privadas (Reservas de la Sociedad Civil) como nacionales que en común agrupan más de 3.555 hectáreas de conservación, programas de educación y sensibilización ambiental con las comunidades, así como proyectos de investigación en donde se realza la importancia de la especie y la preocupación sobre la misma; esfuerzos que también se han visto apoyados por programas y planes de conservación internacionales, cómo los zoológicos de San Diego (Estados Unidos) y Nogeiyama (Japón) (Renjifo et al., 2017).

### **2.3.2 Cucarachero del Chicamocha (*Thryophilus nicefori*)**

Es una especie endémica, que habita en bosques secos de los cañones de los ríos Chicamocha, Suárez y Sogamoso. En cuanto a la situación de la especie, está dentro de la categoría de Peligro Crítico (CR – Critically Endangered, C2a(i)), categoría que ha mantenido desde 1994; al ser endémica no presenta un ajuste a su categoría de amenaza a nivel regional. Los números de individuos según estudios y registros podrían rondar cerca de los 250; poblaciones que se ven afectadas por la ganadería, los incendios forestales, la desaparición de quebradas, así como de la expansión urbana, en general, una pérdida constante de hábitat (BirdLife International, 2021).

Su nombre en inglés es Niceforo's Wren, y en Colombia es conocido como Cucarachero del Chicamocha o Cucarachero de Nicéforo, que fue descubierta en 1946

sobre la vertiente occidental de la cordillera oriental en río Fonce en San Gil, Santander; y que para su momento era catalogada como *Thryothorus nicefori* (Meyer de Schauensee, 1946), pero en 2016, pasa a tener por nombre científico el conocido actualmente *Thryophilus nicefori* (Hoyo & Collar, 2016).

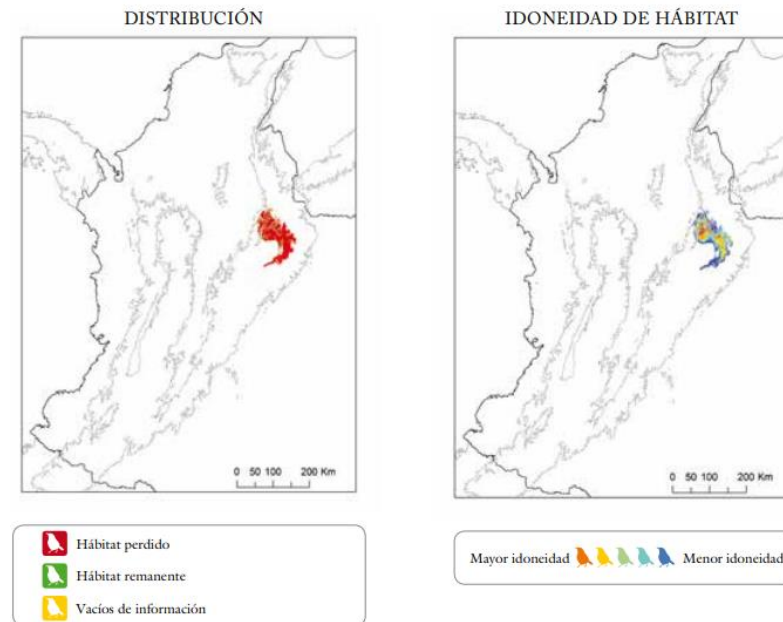
Esta ave pertenece a la orden de las Passeriformes, en específico a la familia Troglodytidae, es de tamaño medio (15 cm), presenta una corona marrón oliva hasta la parte superior de la espalda, el resto de las partes superiores son de color rojizo; las superciliares son blancas, la cola y las alas son barradas de negro, los laterales de la cabeza son estriados de blanco y negro. Las partes inferiores son blancas con flancos y lados marrón grisáceo pálido, por último, su crisálida es barrada de color negro (BirdLife International, 2021; Hilty et al., 2001) (Figura 3).



**Figura 4.** *Thryophilus nicefori*. Fuente: Robert Lockett (eBird), 2019.

Como se mencionó anteriormente, su distribución se encuentra en los departamentos de Santander y Boyacá, algunos bosques del municipio de Floridablanca,

así como en las zonas perimetrales de la ciudad de Bucaramanga, se cree, además, que existan algunas poblaciones sobre los departamentos de Cesar y Norte de Santander (Renjifo et al., 2017) (Figura 4).



**Figura 5.** Mapa de distribución en términos de hábitat perdido, hábitat remanente y vacíos de información (izquierda), y Mapa de idoneidad de hábitat (derecha) del *T. nicefori*.

Fuente: (Renjifo et al., 2017)

Su hábitat se encuentra entre los 1100 y 1200 m.s.n.m en los sotobosques densos de fragmentos de bosque que crecen a lo largo de ríos o quebradas, donde se presente grandes cantidades de hojarasca, así como un dosel que permita mantener la humedad del sotobosque. También se han observado en bosques de galería con hojas de forma de escama o aguja, así como en bosques secos o muy secos. Según estudios, se ha



identificado un individuo por cada dos hectáreas de hábitat, y su territorio está entre 1 y 4 hectáreas (BirdLife International, 2021; Renjifo et al., 2017).

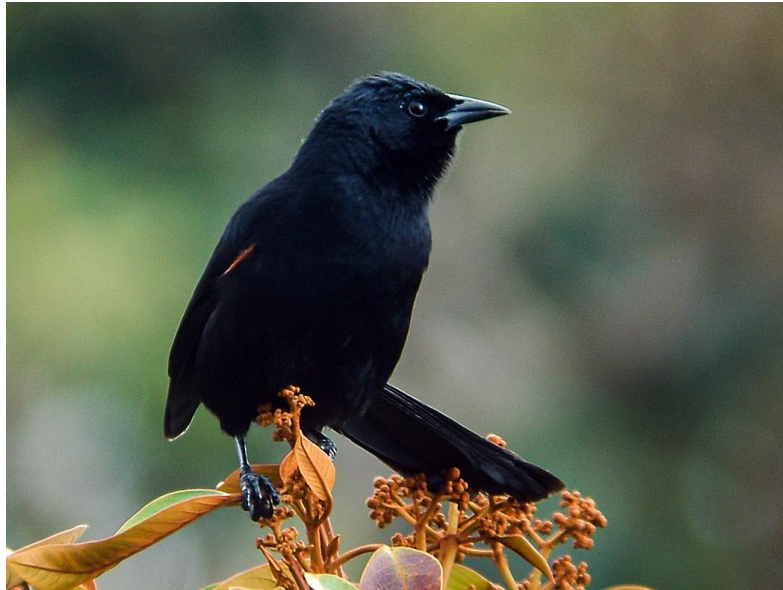
En Colombia se han adelantado diferentes acciones de conservación patrocinado por el The Conservation Leadership Programme (CPL), que desde el 2003, ha impulsado actividades de sensibilización ambiental, consolidación de áreas protegidas tanto gubernamentales como privadas, educación ambiental, trabajo con las comunidades locales, entre otras estrategias como corredores de conservación e investigaciones que ha posibilitado tener mayor conocimiento sobre la distribución y necesidades tanto biológicas como ecológicas de la especie (Renjifo et al., 2017).

### **2.3.3 Tordo Montañero (*Macroagelaius subalaris*)**

La última especie escogida para esta investigación es el *Macroagelaius subalaris* (Boissonneau, 1840), conocida también como Chango de Montaña o en inglés, Mountain Grackle o Colombian Mountain Grackle, así como el *T. nicefori*, pertenece a la orden de los Passeriformes, pero se encuentra dentro de la familia de los Icteridae. Se encuentra actualmente y desde el 2016, según la IUCN Red List of Threatened Species en Peligro (EN – Endangered, B2ab(ii,iii,v)), esta categoría la ha mantenido desde el año 2007 y es igual a nivel regional, debido a que es endémica, sin embargo, para los reportes entre 2000 y 2004, la especie se encontraba en Peligro Crítico (BirdLife International, 2017).

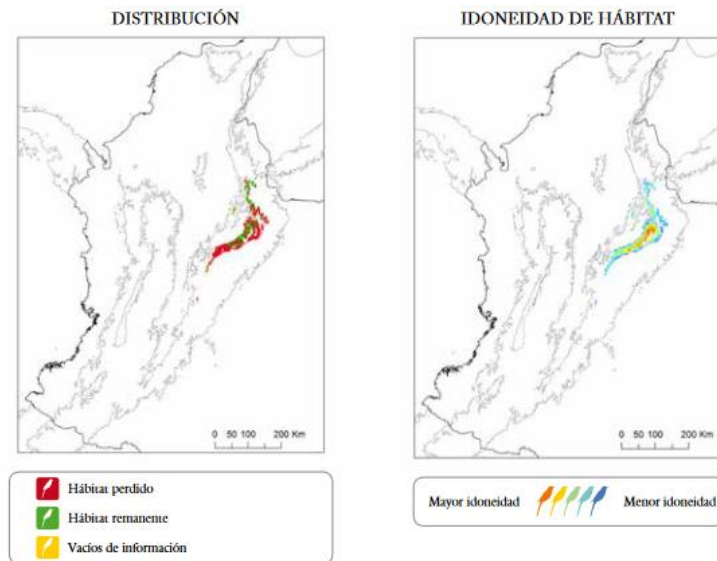
Se identifica por ser totalmente negro azulado, sus alas y axilares tienen un revestimiento castaño, con cola larga ligeramente redondeada, con pico cónico negro y ojos oscuros; los machos tienden a ser un poco más grandes que las hembras, los machos

miden aproximadamente 30 cm, y las hembras 28 cm (BirdLife International, 2017; Hilty et al., 2001) (Figura 5).



**Figura 6.** *Macroagelaius subalaris*. Fuente: Nick Athanas (eBird), 2007.

El *M. subalaris* se encuentra entre los 1950 y 3100 m.s.n.m, y se distribuyen en la vertiente occidental de la cordillera oriental en los departamentos de Norte de Santander, Santander y Boyacá. En cuanto a su hábitat, esta especie su registra en bosques andinos y subandinos con dosel cerrado, aunque también visita bosques secundarios en buen estado, bosques de roble y bosques mixtos, con áreas mayores a 300 ha (Hilty et al., 2001; Renjifo et al., 2014) (Figura 6).



**Figura 7.** Mapa de distribución en términos de hábitat perdido, hábitat remanente y vacíos de información (izquierda), y Mapa de idoneidad de hábitat (derecha) del *M. subalaris*.

Fuente: (Renjifo et al., 2014)

En cuanto a su comportamiento, es una especie que se observa regularmente en grupos de 3 a 6 individuos, y de manera ocasional forma bandadas de 30 a 40 individuos, que son observados regularmente en los meses de julio y agosto; se alimentan de frutos e insectos; presentan un sistema de cría cooperativa y se han encontrado nidos en los meses de junio, julio y agosto en los departamentos de Santander y Boyacá, así como nidos en el mes de abril, en Norte de Boyacá. Se estima una población de individuos maduros entre 600 y 1700 (para 2017) (BirdLife International, 2017; Renjifo et al., 2014).

El *M. subalaris* es altamente amenazado por la cacería, en (Renjifo et al., 2014) se menciona, que en el municipio de Soatá, durante el inicio de su temporada reproductiva los cazan, debido a que es cuando se presenta un mayor número de especímenes, también se

menciona como por parte de los mineros del Páramo de Santurbán los toman por blanco de cacería deportiva, minería que de por sí, es foco de contaminación de cuerpos de agua y extracción de madera. Además, su hábitat también se ha visto en decremento debido a la expansión ganadera y de agricultura, como la destrucción de bosque para cultivos y pastoreo. Habría que adicionar, la fragmentación de bosques debido a la producción de carbón vegetal (Renjifo et al., 2014).

Por último, las medidas de conservación que se han sido en el departamento de Santander existen más de 89.000 ha de áreas protegidas en donde se encuentra el *M. subalaris*; y en el departamento de Boyacá hay dos reservas donde se conserva la especie, una de orden municipal y otra comunitaria, esta última en el municipio de Soatá, donde han realizado actividades de aviturismo, censos, e investigaciones, así como programas de educación y sensibilización ambiental (Renjifo et al., 2014).

Para resumir, se seleccionaron estas tres (3) especies a trabajar durante la investigación, pues son especies con características muy particulares, así como patrones de comportamiento muy únicos, es de destacar entonces los niveles de criticidad e importancia hacia la conservación de las mismas. El Paujil de Pico Azul, la más grande de las tres, con una distribución un poco mayor, pero que se encuentra en zonas con menor altitud, y que circula de manera terrestre por los senderos inmersos en los bosques; El Cucarachero del Chicamocha, claramente la más pequeña, con la distribución más baja, y que se establece en las altitudes medias-altas de las cordilleras, perchando en los sotobosques cercanos a quebradas y ríos; y el Tordo Montañero, de tamaño medio (en comparación a los otros dos), y también con una distribución media, pero que se encuentra en las zonas con mayor altitud, así como en zonas de bosques andinos.

## 2.4 Estado del conocimiento

Esta sección está destinada al estado del conocimiento, que permitirá validar la selección adecuada de la metodología desarrollada.

Por comenzar en el marco nacional, se podría mencionar al trabajo desarrollado por (Hernández & Caceres, 2020), en donde modelaron la distribución geográfica del oso andino bajo escenarios de cambio climático, y validaron la incidencia de este fenómeno ante la pérdida de hábitat para la especie, haciendo uso del software MaxEnt, así como de las variables bioclimáticas presentes en Worldclim<sup>7</sup> bajo el proyecto CMIP5.

En el estudio (Arango, 2018), buscan contribuir al proceso de incorporación de cambio climático en el Plan de Ordenación y Manejo de Cuenca del Río Chinchiná, a través de la construcción y desarrollo de modelos de simulación de biodiversidad en escenarios de cambio climático, proceso realizado en el software MaxEnt para el modelamiento, pero que hacen uso de otros recursos a parte de Worldclim para los datos de las variables bioclimáticas.

En el 2018, se modeló la distribución espacial futura frente a los escenarios de cambio climático RCP para la *Atractus crassicaudatus*, en el documento (Huertas & Rey, 2018) haciendo uso de MaxEnt, datos de ocurrencia y variables bioclimáticas, donde se concluyó que como efectos del cambio climático la especie presentará una reducción de su área de distribución.

---

<sup>7</sup> <https://www.worldclim.org/>

Pese a la dificultad que puede representar el trabajar con especies pequeñas, como los insectos, en (Martínez Quintero et al., 2017), determinaron como para los años 2050 y 2080, y frente a escenarios de cambio climático tanto optimistas como pesimistas, la distribución espacial de la especie se verá ampliamente disminuida. Para este estudio, los autores se apoyaron de MaxEnt, como software de modelamiento, y utilizaron registros de ocurrencia de diferentes fuentes, así como las variables bioclimáticas tomadas de Worldclim.

Para 2015, se desarrolló el trabajo (Rodríguez, 2015), que logró a partir de los MDE, identificar esas áreas de alto endemismo y así evaluar la representatividad de las áreas protegidas en su conservación, cabe mencionar que, aunque el autor no trabaja con modelos potencial a futuro, si lo hace dentro de las recomendaciones, lo cual prestará mayores herramientas para la consolidación de programas de conservación en esas mismas áreas de alto endemismo.

Sobre distribución potencial encaminados a reptiles, en específico la *Podocnemis lewyana*, en el trabajo (Ortiz Yusty et al., 2014) los autores lograron modelar la posible distribución de la especie frente a escenarios de cambio climático utilizando MaxEnt, apoyados de los datos de ocurrencia encontrados en registros de literatura, así como de las variables bioclimáticas tomadas de Worldclim. Finalmente, lograron determinar que para la especie su rango de distribución presentará un aumento, debido a lo influyente que es la temperatura para la misma, sin embargo, se deja abierta a discusión y revisión este resultado, ya que no se tuvo en cuenta las preferencias de hábitat y su asociación a cuerpos de agua.

Para el país, se adelantó una amplia investigación sobre los efectos del cambio climático en la distribución de especies, su estructura en comunidad, así como la conservación de aves en las áreas protegidas de Colombia para el año 2013, donde se modelaron la distribución potencial futura para 19 especies de aves, haciendo uso de MaxEnt y de las 19 variables bioclimáticas encontradas en Worldclim (Gil et al., 2008).

En esta misma corriente y en el marco internacional, en Ecuador, se realizó el trabajo (Largo, 2019), en el cual se modeló la distribución espacial actual y futura para cinco especies de aves en condiciones de amenaza, para así compararlas y obtener métricas de pérdida o ganancia de hábitat; en donde también fue usado el software MaxEnt y las variables de Worldclim.

El estudio (Briones Salas et al., 2012), analiza desde los resultados obtenidos en MaxEnt, cómo existen cinco grandes regiones de México con alta probabilidad de presencia de la especie, y cómo los datos obtenidos de distribución potencial futura representan un instrumento para la consolidación de acciones de conservación de la *Panthera onca*. También, en este país se adelantó la investigación (Guitérrez & Trejo, 2014), donde se encontró que para las especies arbóreas escogidas en el estudio, “las 5 especies experimentarán reducción en su área de distribución, debido a las modificaciones en temperatura y precipitación. Esto supondría una disminución considerable en sus poblaciones e incluso se predice que ocurrirán algunas extinciones locales”.

En Chile, en el documento (Molina et al., 2018), los autores lograron modelar la distribución espacial de la especie *Lycalopex fulvipes*, ante escenarios de cambio climático tanto optimistas como pesimistas, y evidenciaron la notable incidencia de los mismos en la

distribución de la especie; para ello se apoyaron de MaxEnt, Worldclim y los registros de observación tomados en campo y literatura.

En el artículo (Arribas et al., 2012), donde se compilaron múltiples estudios de vulnerabilidad de las especies ante el cambio climático, especialmente en la Península Ibérica, y que por medio de MDEs se debate en los factores claves para ver esta vulnerabilidad de las especies como una amenaza para la conservación.

Recientemente, para el 2021, se publicó (Herrera Feijoo et al., 2021), donde se valoró la afectación, incidencia y la adecuación de la especie *Tapirus pinchaque* bajo al cambio climático, y se encontró una reducción del 70% en su distribución futura contra la actual. Y aunque para la construcción de los modelos no usaron el software MaxEnt, si emplearon su algoritmo (Maximum entropy) dentro del entorno R, así como de las variables bioclimáticas de Worldclim y los datos de observación obtenidos de GBIF que tuvieron un proceso de depuración y validación de los mismos.

Los autores en el documento (Quesada Quirós et al., 2016), escogieron cinco especies de plantas para determinar su comportamiento y afectación bajo tres escenarios (RCP) de cambio climático, los cuales modelaron el nicho ecológico de estas utilizando MaxEnt, datos de ocurrencia y las variables bioclimáticas de Worldclim; encontrando que solo una especie presentará un aumento favorable frente a su distribución actual.

Otros dos documentos, que validan la afectación de los efectos del cambio climático sobre la distribución de especies, y para el caso la flora, son (Sevillano Ríos & Morales, 2021) y (Alberdi Nieves, 2021) donde el uso de la herramienta MaxEnt fue indispensable para el proceso de ejecución de los modelos.



La bibliografía encontrada en otros idiomas es mucho más extensa sobre este tema de investigación, aun así, confirman completamente la validez en el uso de MaxEnt y de la correcta selección de las variables bioclimáticas (o todas) las presentes en Worldclim, a continuación, se listarán algunas de esas investigaciones, que se destacaron cómo antecedentes para la presente investigación (Tabla 2).

**Tabla 2.** Investigaciones realizadas sobre los cambios en la distribución de especies derivados del cambio climático.

<i>Título</i>	<i>Referencia</i>
<i>Alpine marmot (Marmota marmota) distribution evolution under climate change: The use of species distribution models at a local scale in the western Pyrenees massif (France)</i>	(Glad & Mallard, 2022)
<i>Effects of climate change on the potential habitat distribution of swimming crab Portunus trituberculatus under the species distribution model</i>	(X. Liu et al., 2022)
<i>Incorporating interspecific relationships into species distribution models can better assess the response of species to climate change, a case study of two Chinese primates</i>	(Ye et al., 2022)
<i>Mapping the potential distribution suitability of 16 tree species under climate change in northeastern China using Maxent modelling</i>	(D. Liu et al., 2022)
<i>Modeling impacts of climate change on the potential distribution of three endemic Aloe species critically endangered in East Africa</i>	(Mkala et al., 2022)

<i>Modelling the distribution of key tree species used by lion tamarins in the Brazilian Atlantic forest under a scenario of future climate change</i>	(Raghunathan et al., 2015)
<i>Predicting the occurrence of rare Brazilian birds with species distribution models</i>	(Marini et al., 2010)
<i>Predicting the potential distribution of geographically-limited species, <i>Apsylla cistellata</i> Buckton (Psyllidae: Hemiptera) on mango (<i>Mangifera indica</i>) under different climate change scenarios</i>	(Baradevanal et al., 2021)
<i>Species distribution models as a tool to estimate reproductive parameters: a case study with a passerine bird species</i>	(Brambilla & Ficetola, 2012)
<i>Vegetation dynamics and avian seasonal migration: clues from remotely sensed vegetation indices and ecological niche modelling</i>	(Papeş et al., 2012)

### 3. Objetivos

#### 3.1 Objetivo General

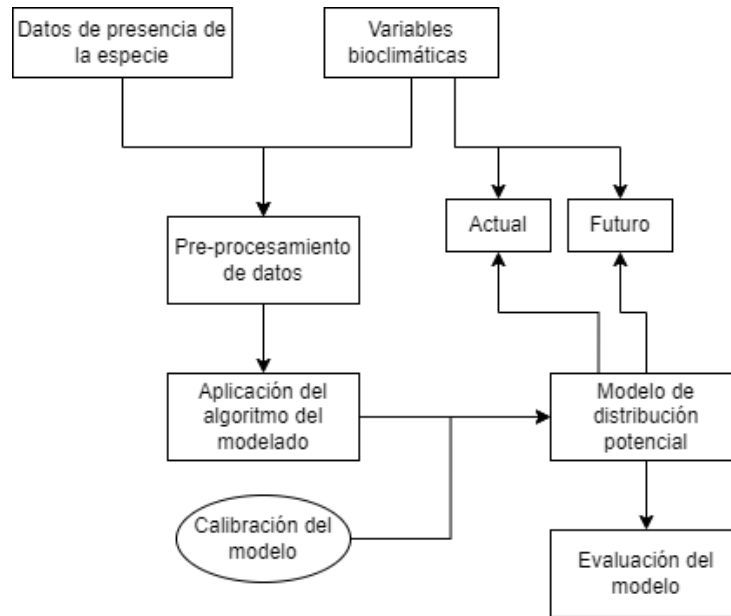
Analizar la incidencia del cambio climático sobre la distribución espacial del Cucarachero del Chicamocha (*Thryophilus nicefori*), el Paujil de Pico Azul (*Crax alberti*) y el Tordo Montañero (*Macroagelaius subalaris*) en Colombia para el año 2050 (promedio de 2041-2060).

#### 3.2 Objetivos Específicos

- Modelar la distribución espacial potencial actual del Cucarachero del Chicamocha, el Paujil de Pico Azul y el Tordo Montañero en Colombia.
- Simular la distribución espacial potencial futura del Cucarachero del Chicamocha, el Paujil de Pico Azul y el Tordo Montañero en Colombia ante los escenarios SSP1-2.6 y SSP5-8.5 de cambio climático para el año 2050.
- Determinar la tasa de cambio porcentual del área de distribución del Cucarachero del Chicamocha, el Paujil de Pico Azul y el Tordo Montañero en Colombia ante los escenarios SSP1-2.6 y SSP5-8.5 de cambio climático para el año 2050.

## 4. Metodología

Para poder modelar la distribución espacial actual y futura de una especie, es necesario seguir un procedimiento, que, con base en las referencias bibliográficas y el estado del arte, se podría resumir en el siguiente esquema:



**Figura 8.** Flujo de trabajo para la modelación de la distribución potencial de una especie.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se detallará el esquema presentado, en términos de fuente de obtención de la información, la delimitación de área de estudio, el software utilizado, el preprocesamiento de los datos, la evaluación del modelo y la disposición de los resultados. Es importante resaltar que estos procesos fueron realizados para cada una de las especies trabajadas. Y que luego de tener los modelos tanto actuales como futuros, fue necesario realizar procesos SIG para determinar las tasas de cambio porcentual en el hábitat de las

especies, con el fin de determinar la incidencia del cambio climático sobre la especie y su distribución.

#### **4.1 Área de estudio**

Debido a las características antes mencionadas de las especies de aves seleccionadas para esta investigación, específicamente en cuanto a su endemismo y distribución tanto altitudinal como geográfica, se ha determinado como área de estudio la superficie continental de Colombia, excluyendo su área sobre los océanos caribe y pacífico; con una extensión delimitada entre las longitudes  $79^{\circ} 0' 36.76''\text{W}$  -  $66^{\circ} 50' 49.98''\text{W}$ , y latitudes  $12^{\circ} 27' 33.40''\text{N}$  -  $4^{\circ} 13' 45.86''\text{S}$ .

Colombia como área de estudio presenta diversas zonas climáticas, debido a su ubicación sobre la línea del ecuador, y la variabilidad altitudinal que se encuentra partiendo los cero m.s.n.m y superiores a los 5100 m.s.n.m; siendo atravesada de Sur a Norte por la cordillera de los Andes, generando múltiples ecosistemas (98 generales, 74 naturales, 24 transformados y más de 8000 específicos) y coberturas, sus costas están bañadas por los océanos caribe al Norte y pacífico al Occidente, compartiendo gran parte de la Selva Amazónica con sus vecinos Brasil y Perú, por estos y demás factores bióticos lo convierten en uno de los países más “megadiversos” del mundo (Andrade C., 2011; Costa Posada, 2007; *Ecosistemas - IDEAM*, s. f.).

## 4.2 Datos de presencia o avistamiento de las especies.

Los registros de la observación de las especies seleccionadas para este estudio, fueron descargados de la base de datos de GBIF (Global Biodiversity Informatio Facility) a partir del complemento para QGIS<sup>8</sup> denominado “GBIF Occurrences”, el cual permite visualizar los registros que se encuentran en el portal de GBIF utilizando filtros por nombre científico, el país de observación, la fecha de publicación de los datos, entre otros. Donde se obtuvo un total de registros para el Cucarachero del Chicamocha de 1078 (GBIF.Org User, 2023c), para el Tordo Montañero de 715 (GBIF.Org User, 2023b), y para el Paujil de Pico Azul de 1087 (GBIF.Org User, 2023a).

Estos registros no podrán ser tomados como los datos finales para el modelado, puesto que fue necesario realizar una depuración bajo un proceso de verificación de la veracidad y calidad de los mismos: primero, la eliminación de las inconsistencias geográficas, segundo, la eliminación de registros duplicados y por último, la reducción de la autocorrelación espacial, esto debido a que se pueden generar errores en el modelado de la especies (Herrera Feijoo et al., 2021). Una vez realizado el proceso de depuración, se estructuraron para que pudiesen ser utilizados y leídos en el software MaxEnt. Para este proceso, se utilizaron herramientas del software ArcGis<sup>9</sup>, como fueron: clip, delete identical, así como la extensión “Spatially Rarefy Occurence Data for SDMs (reduce

---

<sup>8</sup> <https://www.qgis.org/es/site/>

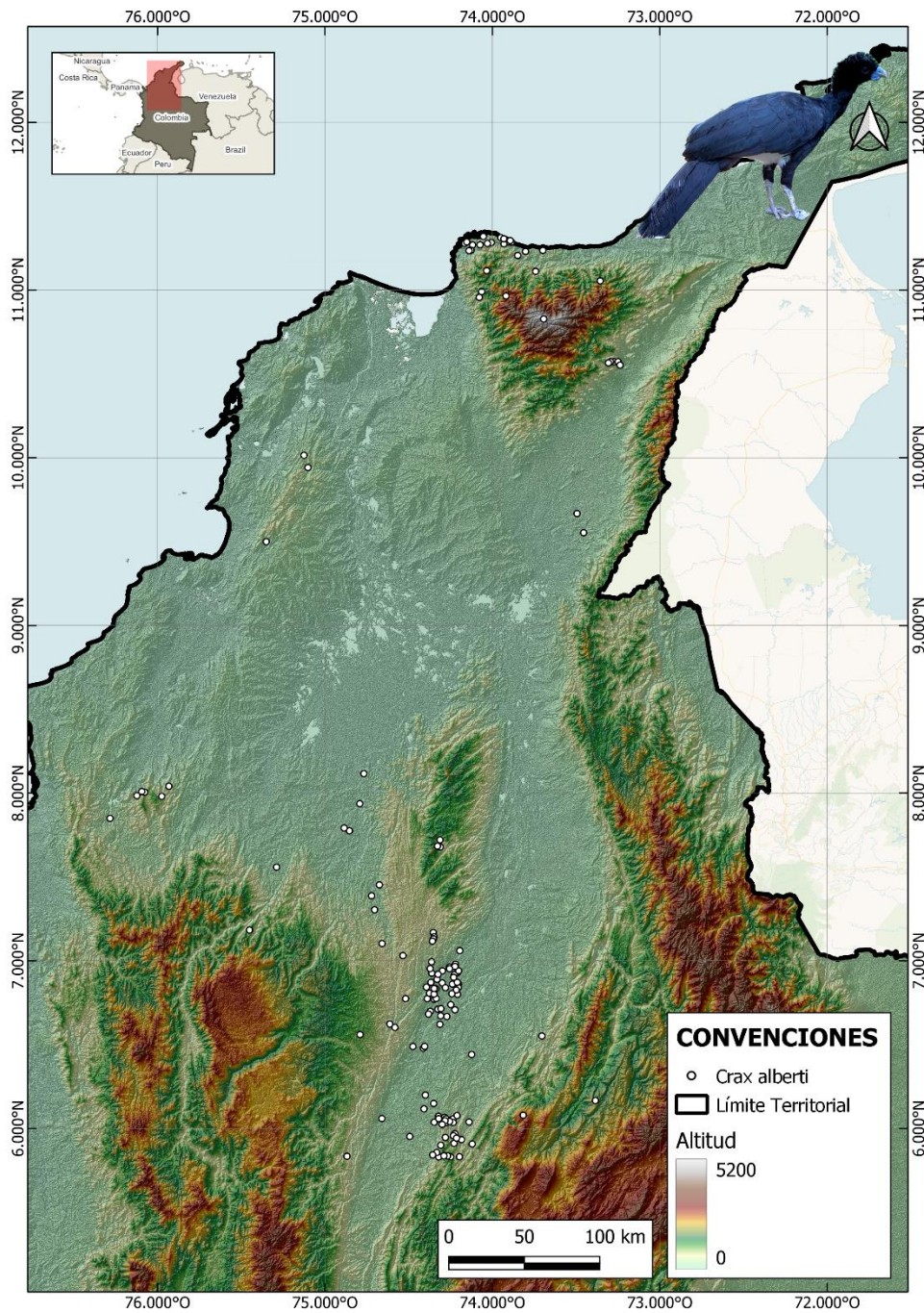
<sup>9</sup> <https://www.arcgis.com/index.html>

spatial autocorrelation)”, que viene dentro del grupo de herramientas denominado SDMtoolbox<sup>10</sup>, desarrollado por Jason L. Brown, Connor French y Joseph Bennett.

Obteniendo como resultado: 94 registros para el Cucarachero del Chicamocha (Figura 11), 115 registros para el Tordo Montañero (Figura 10) y 148 registros para el Paujil de Pico Azul (Figura 9).

---

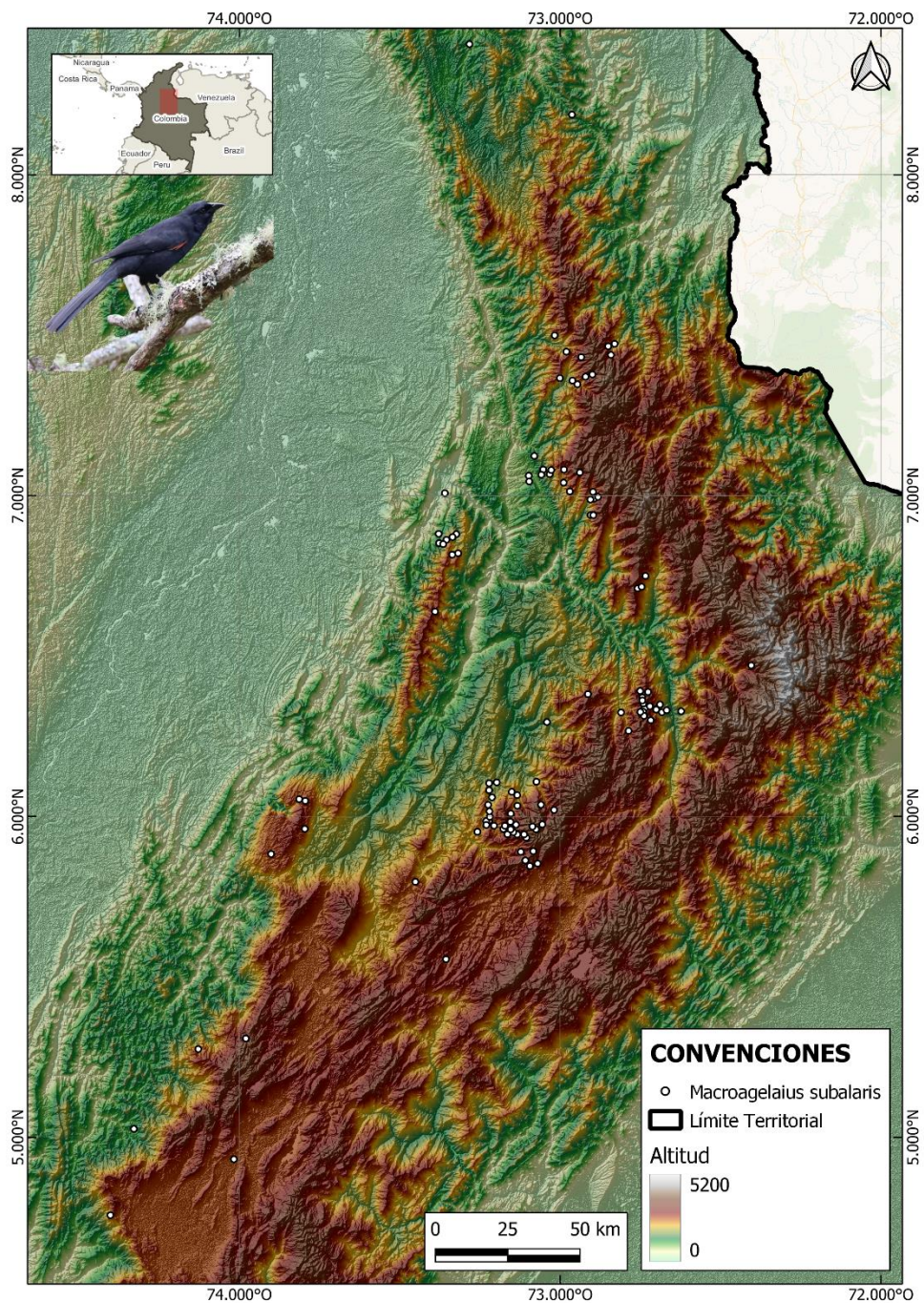
<sup>10</sup> <http://www.sdmttoolbox.org/>



**Figura 9.** Datos de presencia del *Crax alberti* (Paujil de Pico Azul) depurados. Fuente:

Elaboración propia.

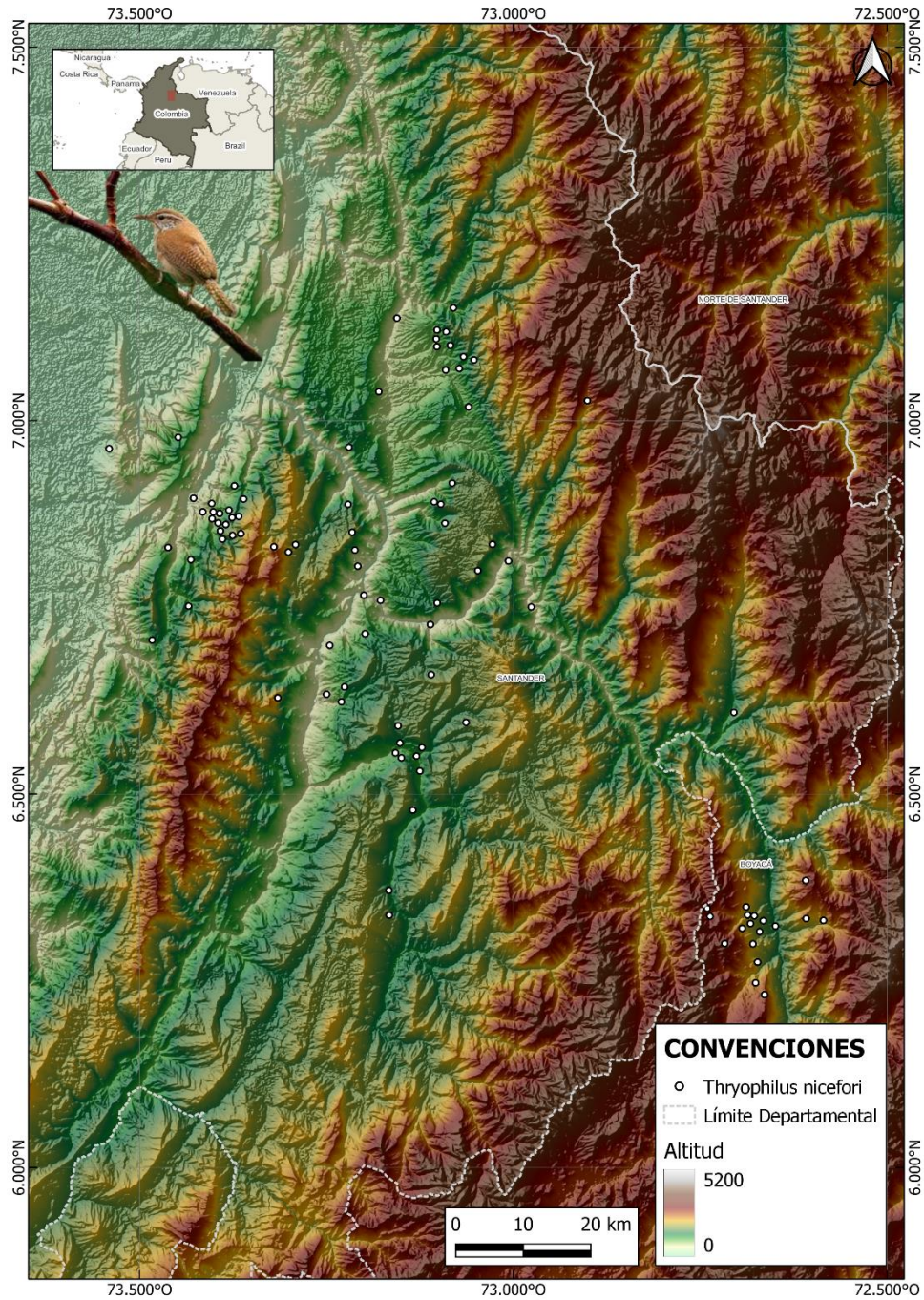




**Figura 10.** Datos de presencia del *Macroagelaius subalaris* (Tordo Montañero)

depurados. Fuente: Elaboración propia.





**Figura 11.** Datos de presencia del *Thryophilus nicefori* (Cucarachero del Chicamocho) depurados. Fuente: Elaboración propia.

### 4.3 Variables bioclimáticas

Para el desarrollo de esta investigación se han usado las variables bioclimáticas actuales obtenidas del portal WorldClim en su versión 2.1, desarrollado por el Geospatial and Farming Systems Consortium of the Sustainable Intensification Innovation Lab, donde se compilan las 19 variables bioclimáticas descritas anteriormente (Tabla 1), como promedio de los años 1970-2000 con una resolución espacial de 30 segundos (aproximadamente 1 km<sup>2</sup>), junto con la elevación usados para la elaboración de WorldClim 2.1 (Fick & Hijmans, 2017).

Además, también fue necesario descargar los datos que se encuentran en el mismo portal de Worldclim donde existen modelos globales (de proyección) del clima (GCM de sus siglas en ingles), con promedios anuales para periodos de 20 años (2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100), compilados en el proyecto CMIP6 y que cuenta con más de 23 modelos GCMs que cuentan con cuatro posibles escenarios de cambio climático llamados Shared Socioeconomic Pathways (SSPs); para este estudio se determinó descargar los datos referentes a los escenarios SSP1-2.6 (el escenario más “optimista”) y el SSP5-8.5 (el escenario más “pesimista”) del modelo MPI-ESM1-2-LR, que según (Arias et al., 2021) y (Roa, 2012) es uno de los modelos mejor adaptados para el país.

Estos datos vienen en formato raster, específicamente .TIF, y a una escala global, por tanto, es necesario realizar el recorte al área de estudio, proceso que se realizó con el software SIG, y, por último, para poder ser usados en MaxEnt, fue necesario convertir al formato ASCII, lo cual se hizo con la herramienta Raster to ASCII de ArcGIS (o también se puede usar la herramienta Traducir (Convertir formato) de QGIS). Estando listas las

variables bioclimáticas, así como los datos de presencia de las especies se continuo con el proceso del modelamiento.

#### **4.4 Modelado con MaxEnt**

En esta investigación se optó por el uso del algoritmo de Máxima Entropía, esto debido al gran uso que ha tenido en las investigaciones actuales, así como el reconocimiento que ha tenido sobre los otros modelos, sin desmeritar, los resultados que pudiesen ofrecer los otros. Este algoritmo como se mencionó anteriormente, está condensado en el software gratuito MaxEnt.

Se ejecutó un primer modelado para cada una de las especies, con las 19 variables bioclimáticas, esto con el fin de que al ejecutar el análisis Jackknife se pudiese determinar el grado de importancia de cada una de las variables bioclimáticas y su aporte en el modelado, luego, se ejecutó nuevamente el modelado omitiendo las variables que menos aportaban para cada una de las especies.

En la siguiente tabla se muestra la selección de variables bioclimáticas más relevantes al modelo a partir del análisis Jackknife para cada una de las especies (Tabla 3).

**Tabla 3.** Variables bioclimáticas seleccionadas para cada una de las especies según análisis Jackknife de importancia/influencia sobre el modelo. Fuente: Elaboración propia.

<i>Variable</i>	<i>Paujil de Pico Azul (Crax alberti)</i>	<i>Tordo Montañero (Macroagelaius subalaris)</i>	<i>Cucarachero del Chicamocha (Thryophilus Nicefori)</i>
<i>Bio1</i>	Descartada para todas las especies por su bajo aporte al modelo		
<i>Bio2</i>			X
<i>Bio3</i>	X		X
<i>Bio4</i>	X	X	X
<i>Bio5</i>	Descartada para todas las especies por su bajo aporte al modelo		
<i>Bio6</i>		X	X
<i>Bio7</i>		X	
<i>Bio8</i>	Descartada para todas las especies por su bajo aporte al modelo		
<i>Bio9</i>	Descartada para todas las especies por su bajo aporte al modelo		
<i>Bio10</i>	Descartada para todas las especies por su bajo aporte al modelo		
<i>Bio11</i>	X		
<i>Bio12</i>		X	X
<i>Bio13</i>			X
<i>Bio14</i>	X		X
<i>Bio15</i>	X	X	
<i>Bio16</i>		X	X
<i>Bio17</i>	X		
<i>Bio18</i>	X		

<i>Bio19</i>	X	X	X
--------------	---	---	---

Se realizaron entonces 10 repeticiones de modelado para cada una de las especies, con el fin de entrenar y generar un modelo más preciso, tras esto y haciendo uso del AUC (Area Under of Curve) arrojado por MaxEnt, se hizo la evaluación estadística, este indicador varía entre 0 y 1, y de estar lo más cercano a 1 posible representa un modelo óptimo, en comparación de ser o estar por debajo de 0.5 que indicaría que el modelo realizó la predicción de manera aleatoria (Herrera Feijoo et al., 2021; Largo, 2019; Ortiz Yusty et al., 2014). La siguiente tabla muestra el valor promedio del AUC para las 10 repeticiones de modelos y el mayor AUC del modelo seleccionado (Tabla 4).

**Tabla 4.** Tabla con los valores máximo y promedio de AUC para cada especie, según los dos escenarios de cambio climático SSP1-2.6 y SSP5-8.5. Fuente: Elaboración propia.

<i>Especie</i>	<i>Promedio AUC</i>		<i>Mayor AUC</i>	
	<b>SSP1-2.6</b>	<b>SSP5-8.5</b>	<b>SSP1-2.6</b>	<b>SSP5-8.5</b>
<i>Paujil de Pico Azul (Crax alberti)</i>	0,9169	0,9131	0,955	0,9624
<i>Tordo Montañero (Macroagelaius subalaris)</i>	0,9741	0,9749	0,9888	0,983
<i>Cucarachero del Chicamocha (Thryophilus nicefori)</i>	0,9739	0,9692	0,9891	0,9861

Por último, y con ayuda del software SIG, se reclasificaron los mapas de distribución potencial y futura generados en MaxEnt (formato ASCII), donde los valores de probabilidad de existencia de la especie que se encontraban entre 0 y 0,7 se tomaban como ausencia y valores entre 0,7 y 1 fueron tomados como presencia de la especie, y así obtener los mapas de idoneidad; luego se vectorizaron las capas raster resultantes y se proyectaron al sistema de coordenadas planas CTM12, con la finalidad de poder calcular áreas de pérdida o ganancia de territorio, y poder generar los mapas y análisis finales de la investigación.

## 5. Resultados y discusión

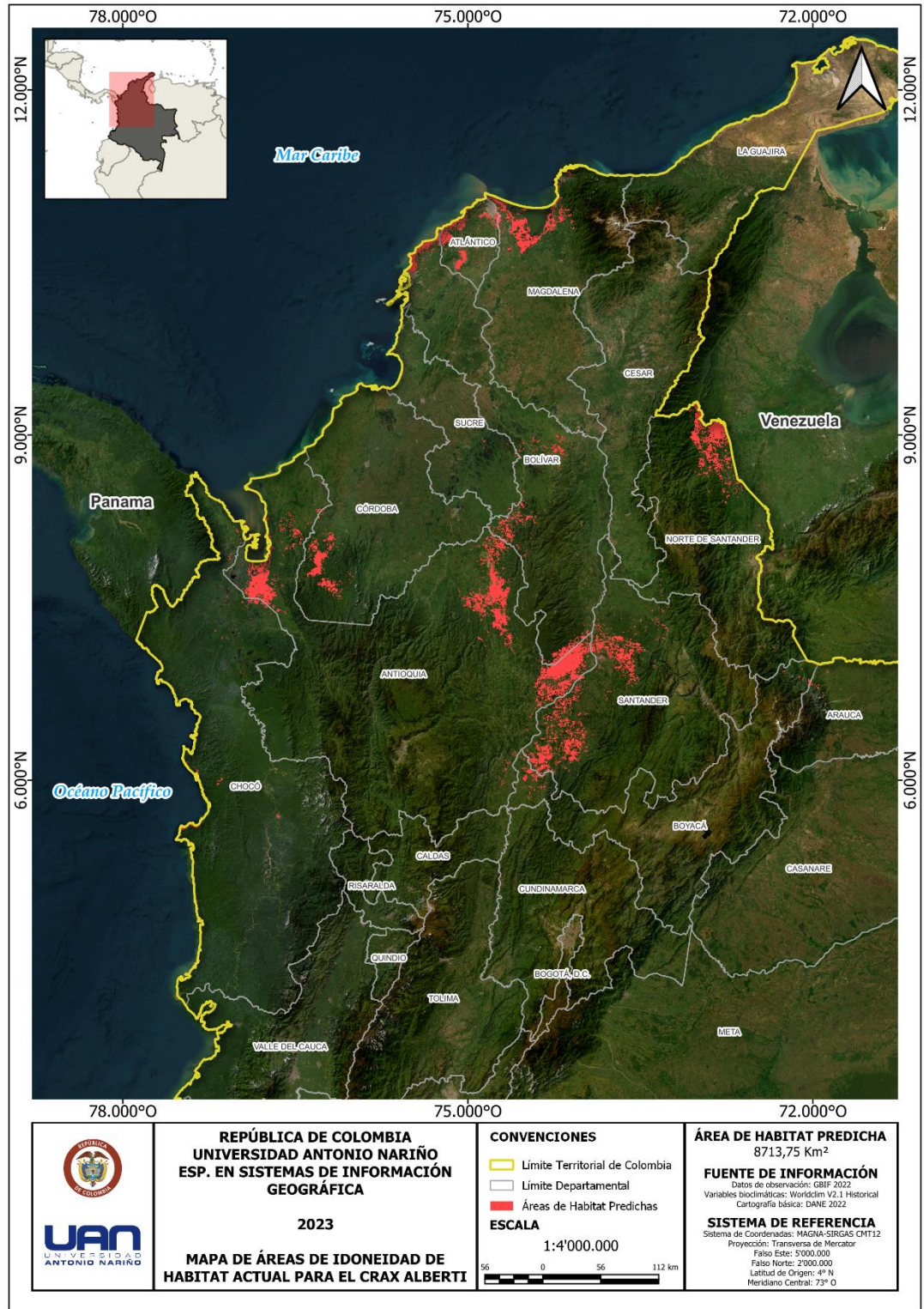
### 5.1 Paujil de Pico Azul (*Crax alberti*)

Del modelo de distribución potencial actual generado para el *C. alberti*, se estima un área de idoneidad de hábitat de 8713,75 km<sup>2</sup>. De esa área, un 36,36% se encuentra en el departamento de Antioquia, 18,69% en el departamento de Santander, el 11,37% en el departamento de Norte de Santander y el 10,05% en Bolívar, que fueron los departamentos con un porcentaje mayor al 10%; las áreas entre al 10% y 1% se encuentra en los departamentos de Magdalena, Córdoba, Atlántico, Chocó y Boyacá (de mayor a menor en porcentaje de participación). Las áreas restantes en los departamentos de Arauca, Sucre, Cesar, Caldas y Cundinamarca no superan el 1% (Figura 12). El modelo en condiciones actuales muestra que el *C. alberti* se podría encontrar en zonas con un rango de temperatura media anual (Bio1) entre 16,40 - 28,57 °C, de precipitación media anual (Bio12) entre 777 – 5938 mm y altitudes entre los 0 y 1922 m.s.n.m (Tabla 5).

**Tabla 5.** Rangos de altitud, precipitación y temperatura para el *C. alberti* según los modelos de distribución actuales y futuros. Fuente: Elaboración propia.

<i>Modelo</i>	<i>Altitud (m)</i>	<i>Precipitación (mm)</i>	<i>Temperatura (°C)</i>
<i>Actual</i>	0 - 1922	777 - 5938	16,40 - 28,57
<i>Futuro SSP1-2.6</i>	0 - 1922	734 - 6232	17,60 - 29,60
<i>Futuro SSP5-8.5</i>	0 - 1922	700 - 6796	18,50 - 30,30





**Figura 12.** Mapa de áreas de idoneidad de hábitat actual para el *Crax alberti*. Fuente:

Elaboración propia.

Con respecto a los modelos elaborados para un clima futuro, se encontró que para el escenario SSP1-2.6, el escenario más “optimista”, habrá un aumento considerable del área de distribución de la especie, alcanzando los 17576,37 km<sup>2</sup> (un poco más del doble del área actual) y para el escenario SSP5-8.5, el escenario “pesimista”, también tendrá un aumento de área de distribución, de 14238,43 km<sup>2</sup> (aproximadamente un 63%); con respecto a los departamentos con mayor porcentaje de área de distribución en el modelo actual, en la (Tabla 6) se puede evidenciar su cambio frente a los escenarios SSP1-2.6 y SSP5-8.5.

**Tabla 6.** Áreas potenciales de distribución actual y futura modelada en los departamentos de mayor participación para el *Crax alberti*. Fuente: Elaboración propia.

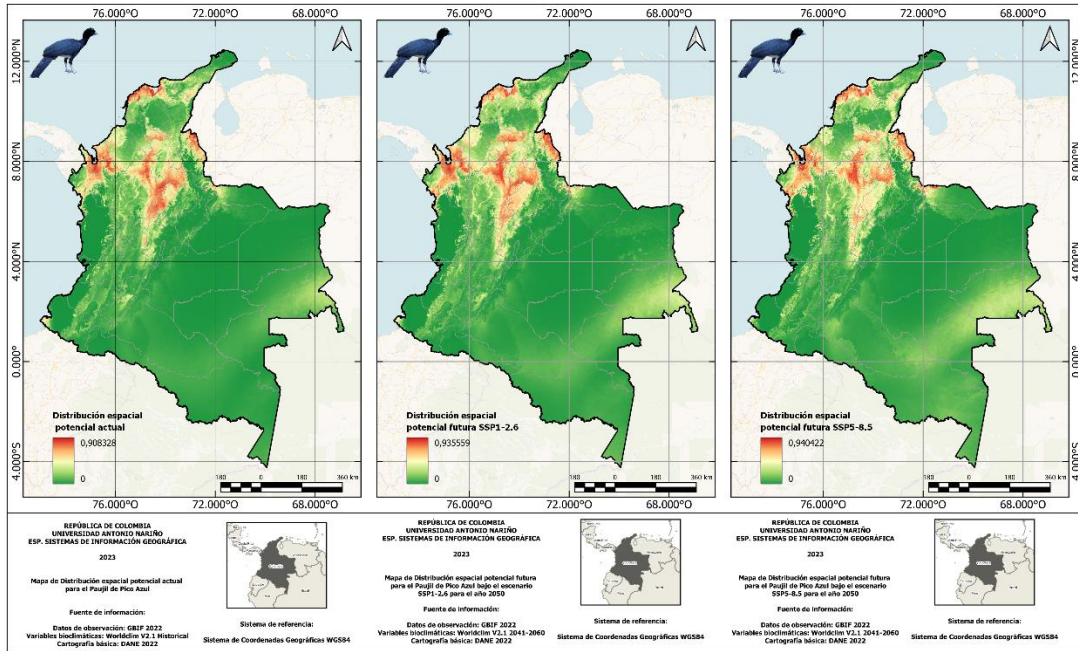
<i>Departamento</i>	<i>Área potencial actual (km<sup>2</sup>)</i>		<i>Área potencial futura (SSP1-2.6) (km<sup>2</sup>)</i>		<i>Área potencial futura (SSP5-8.5) (km<sup>2</sup>)</i>	
<i>Antioquia</i>	3167,94	36,36%	(↑) 6811,60	38,75%	(↑) 5504,30	38,66%
<i>Santander</i>	1628,17	18,69%	(↓) 1554,88	8,85%	(↓) 954,42	6,70%
<i>Norte de Santander</i>	990,52	11,37%	(↑) 2154,68	12,26%	(↑) 1601,97	11,25%
<i>Bolívar</i>	875,42	10,05%	(↓) 2315,18	13,17%	(↑) 1710,60	12,01%

**Nota:** Los signos ↑ y ↓ indican si hubo un aumento o una reducción en el área frente al modelo actual.

Para el escenario SSP1-2.6, quedaron entonces cuatro departamentos con un porcentaje mayor al 10% y fueron: Antioquia, Bolívar, Norte de Santander y Santander;

seis dentro del rango del 10% y el 1%, siendo en orden de mayor a menor porcentaje: Chocó, Córdoba, Magdalena, Atlántico, Sucre y Boyacá; y de las áreas que no superan al 1% se tienen los departamentos de Cundinamarca, Arauca, Caldas, Cesar, Tolima y Valle del Cauca.

En el escenario SSP5-8.5, la distribución de porcentajes de área de idoneidad de hábitat por departamento quedó así: Antioquia, Bolívar, Norte de Santander y Chocó, con porcentajes mayores al 10%; Magdalena, Santander, Atlántico, Córdoba y Arauca, con porcentajes entre 10% y 1%, finalizando con Boyacá, Sucre, Cesar, Valle del Cauca. Cundinamarca y Caldas, con porcentajes menores al 1% (Figura 13), lo que podría entenderse como algunos patrones de adaptabilidad, puesto que demuestra el incremento de su área potencial de distribución en zonas del país donde antes era menor, como el Cesar o nulo como en el departamento de Valle del Cauca. Además, es válido resaltar como el departamento de Santander, que dentro del modelo actual ocupa el segundo puesto en porcentaje de participación, decae en área y de manera considerable para ambos escenarios, en especial el SSP5-8.5, perdiendo aproximadamente 74 km<sup>2</sup> en el escenario SSP1-2.6 y 674 km<sup>2</sup> en el escenario SSP5-8.5, convirtiéndose en el departamento con mayor pérdida de área potencial de distribución del *Crax alberti*.



**Figura 13.** Mapas de distribución potencial actual (izquierda) y futura bajo los escenarios de cambio climático SSP1-2.6 (medio) y SSP5-8.5 (derecha) para el año 2050 del Paujil de Pico Azul (*Crax alberti*). Fuente: Elaboración propia.

Los anteriores resultados frente a los puntos de observación registrados de la especie por cada departamento, muestra como el departamento de Antioquia, con 59 registros y con los mayores porcentajes de área de distribución potencial de la especie, tanto actual como futura, se podría llegar a tomar como el fortín de la especie y así mismo, como área de interés fundamental para la conservación de la misma; que en el departamento del Magdalena, el segundo con 25 registros, en su mayoría sobre el Parque Nacional Natural Tayrona, frente a los porcentajes de áreas tanto actuales como futuras en ningún momento llega a superar el 10% de participación, su porcentaje máximo es de 9,05% en el modelo actual y la mayor cantidad de área estaría probablemente alrededor de la Ciénaga Grande de Santa Marta, aun así habría que hacer un análisis frente a las

coberturas presentes en la zona ya que esto podría servir como herramienta para validar la veracidad del modelo, por las características de hábitat de la especie, mencionadas en el Capítulo 2.3 de la presente investigación.

Es necesario hacer una revisión frente a las áreas asociadas al departamento del Atlántico generadas por los modelos, puesto que hacen referencia en su mayoría al área de los alrededores de la ciudad de Barranquilla, donde claramente las condiciones de hábitat para la especie son mínimas, y que se pueden evidenciar en que no existen registros de esta especie en el departamento (Tabla 7).

Además, en la (Tabla 7), podemos evidenciar como estos departamentos con registros de observaciones representan el 81.32% del área de idoneidad actual, pero que para los dos escenarios este porcentaje disminuye, lo que podría indicar dos posibles casos: 1. La pérdida de área en estas zonas y 2. El proceso de adaptabilidad de la especie, en busca de nuevas áreas. Lo anterior también se puede identificar dentro de la (Tabla 5), pues vemos, aunque la especie procura mantenerse dentro de los mismos rangos altitudinales, si busca adaptarse a nuevas áreas de mayor temperatura, y con mayores rangos de precipitación.

**Tabla 7.** Porcentajes de áreas de idoneidad actual y futura bajo los escenarios de cambio climático SSP1-2.6 y SSP5-8.5, y cantidad de registros de observación de la especie *Crax alberti* por departamentos.

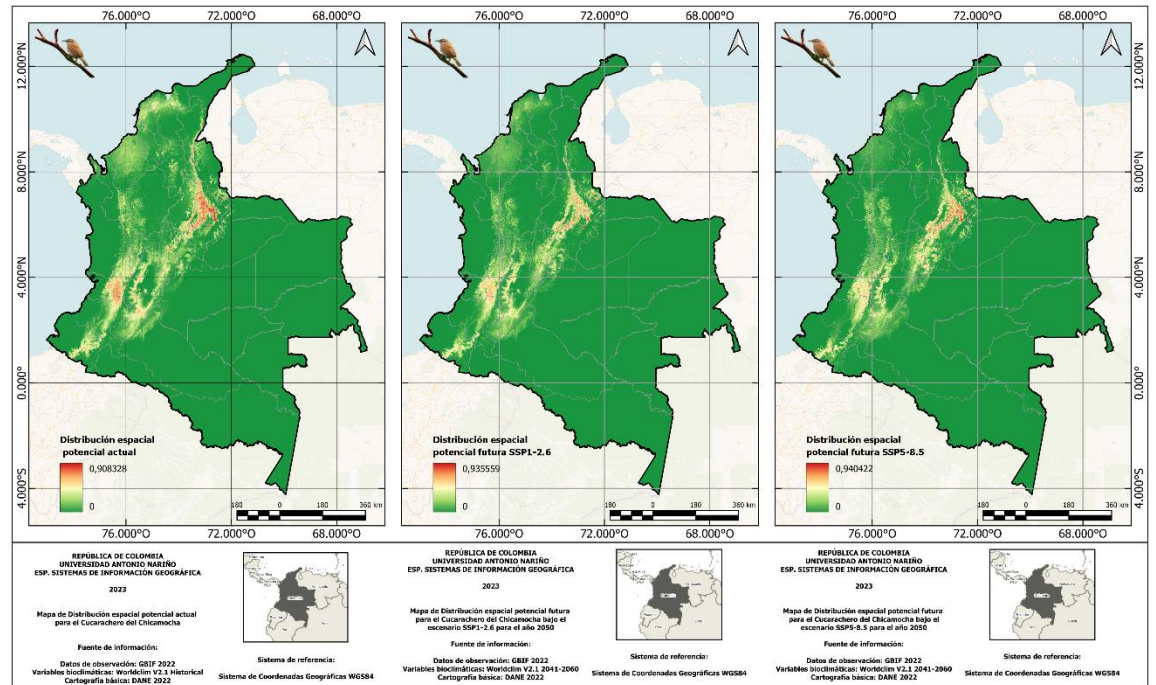
<i>Departamento</i>	<i>Cantidad de registros de observación</i>	<i>% de Área Modelo actual</i>	<i>% de Área Modelo SSP1-2.6</i>	<i>% de Área Modelo SSP5-8.5</i>
<i>Antioquia</i>	59	36,36%	38,75%	38,66%
<i>Magdalena</i>	25	9,05%	6,13%	7,84%
<i>Boyacá</i>	21	1,57%	1,01%	0,83%
<i>Santander</i>	18	18,69%	8,85%	6,70%
<i>Bolívar</i>	10	10,05%	13,17%	12,01%
<i>Cesar</i>	7	0,03%	0,08%	0,24%
<i>Córdoba</i>	6	5,33%	7,01%	4,10%
<i>Sucre</i>	1	0,25%	1,05%	0,31%
<i>La Guajira</i>	1	0,00%	0,00%	0,00%
<b><i>Total</i></b>	<b>148</b>	<b>81.32%</b>	<b>76.05%</b>	<b>70.68%</b>

## 5.2 Cucarachero del Chicamocha (*Thryophilus nicefori*)

El modelo de distribución potencial generado para el *T. nicefori* establece un área de idoneidad de hábitat de 2245,83 m<sup>2</sup>, en un 86,66% sobre los departamentos de Santander y Boyacá, un 11,03% en los departamentos de Valle del Cauca, Norte de Santander, Cesar y Cauca; y finalizando con el 2,31% en Cundinamarca, Tolima, Bolívar y Huila (Figura 14). La distribución potencial actual modelada muestra que la especie se



encontrará en los rangos altitudinales desde los 84 hasta los 2980 metros sobre el nivel del mar, con precipitaciones entre 1202 y 2355 mm, y temperaturas entre 11,30 – 2817 °C (Tabla 8).



**Figura 14.** Mapas de distribución potencial actual (izquierda) y futura bajo los escenarios de cambio climático SSP1-2.6 (medio) y SSP5-8.5 (derecha) para el año 2050 del Cucarachero del Chicamocha (*Thryophilus nicefori*). Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 8.** Rangos de altitud, precipitación y temperatura para el *T. nicefori* según los modelos de distribución actuales y futuros. Fuente: Elaboración propia.

<i>Modelo</i>	<i>Altitud (m)</i>	<i>Precipitación (mm)</i>	<i>Temperatura (°C)</i>
<i>Actual</i>	84 - 2980	1202 - 2355	11,30 - 28,17
<i>Futuro SSP1-2.6</i>	476 - 3150	1233 - 2227	11,50 - 26,60
<i>Futuro SSP5-8.5</i>	760 - 3178	1190 - 2389	11,70 - 23,70

La anterior tabla también da un indicio de la adaptabilidad de la especie frente a los efectos dados por el cambio climático, puesto que para ambos escenarios la especie buscará claramente altitudes mucho mayores, pero con rangos de precipitación y temperatura semejantes al actual, lo que permite evidenciar que es una especie que es muy dependiente de las condiciones de precipitación y temperatura de su hábitat, y que, en vez de expandirse a nuevas zonas, prioriza su hábitat cercano.

Los resultados del modelamiento de los escenarios futuros de cambio climático muestran un área de 704,47 km<sup>2</sup> para el escenario SSP1-2.6 y 1366,21 km<sup>2</sup> para el escenario SSP5-8.5, siendo en ambos casos una reducción considerable al área de distribución potencial de la especie, de 1541,35 km<sup>2</sup> para el primero y de 879,62 km<sup>2</sup> para el segundo (Figura 15).

En cuanto a las áreas obtenidas por departamentos, en ambos escenarios el modelo arrojó que en el departamento donde había un mayor porcentaje de área de idoneidad en el modelo actual, Santander, el área se reducirá pasando de ser un 63,28% en el modelo actual, a un 53,29% en el escenario SSP1-2.6 y un 54,03% en el escenario SSP5-8.5; pero que se ampliará en los demás departamentos donde hay posibilidad de distribución: Boyacá, Valle del Cauca, Norte de Santander, Cundinamarca, Tolima; dentro de la (Tabla 9) se resume los resultados discriminados por departamentos y porcentaje sobre el área de idoneidad obtenida por modelo.



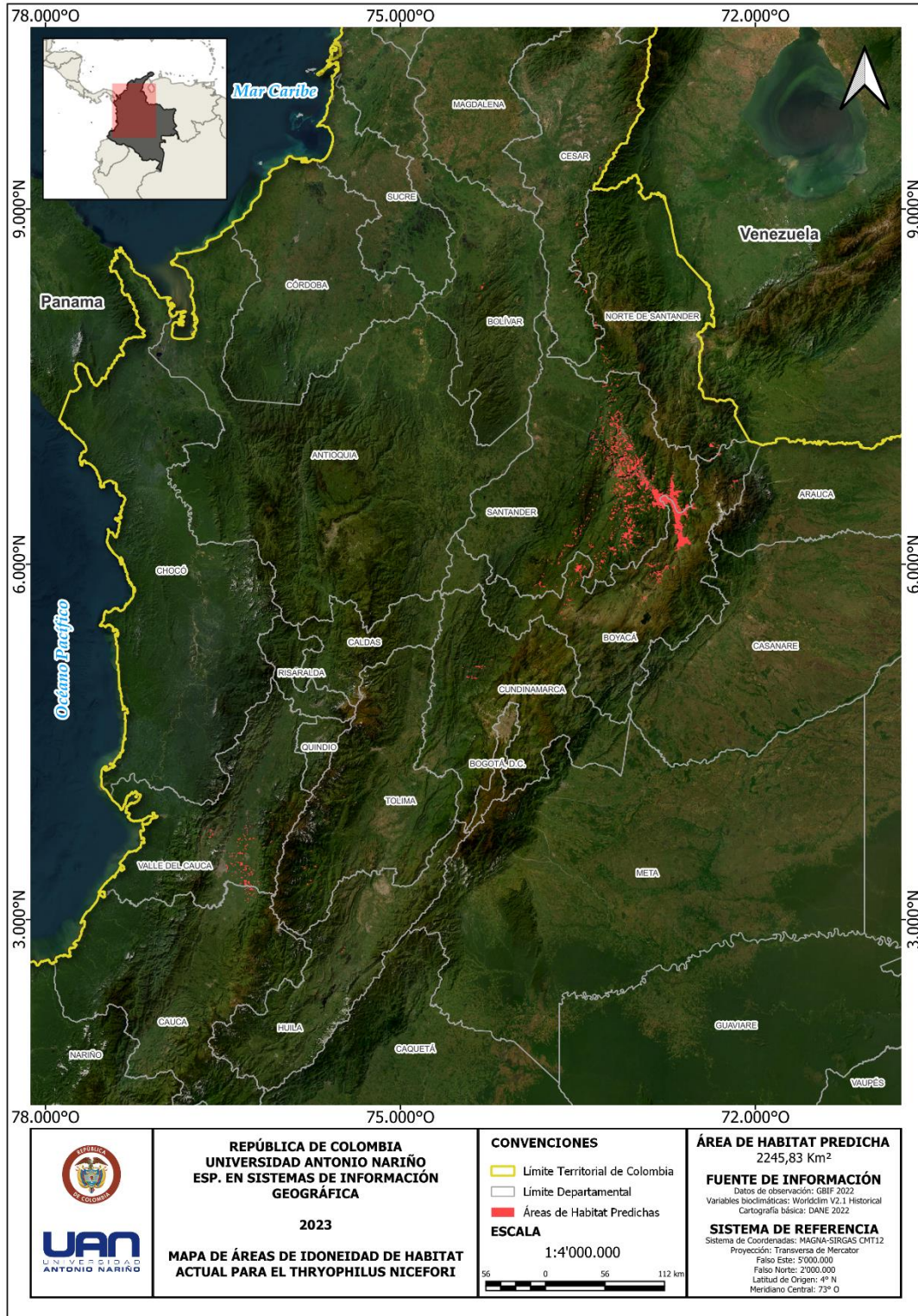


Figura 15. Mapa de áreas de idoneidad de hábitat actual para el *Thryophilus nicefori*.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 9.** Área de distribución potencial actual y futura por departamento para el *T. nicefori*. Fuente: Elaboración propia.

<i>Departamento</i>	<i>Modelo Actual</i>		<i>Modelo Futuro SSP1-2.6</i>		<i>Modelo Futuro SSP5-8.5</i>	
	Área (km <sup>2</sup> )	%	Área (km <sup>2</sup> )	%	Área (km <sup>2</sup> )	%
<i>Santander</i>	1421.24	63.28%	(↓) 374.68	53.19%	(↓) 738.18	54.03%
<i>Boyacá</i>	525.01	23.38%	(↓) 207.06	29.39%	(↓) 488.31	35.74%
<i>Valle Del Cauca</i>	128.86	5.74%	(↓) 55.55	7.89%	(↓) 35.03	2.56%
<i>Norte De Santander</i>	67.54	3.01%	(↓) 40.74	5.78%	(↓) 64.68	4.73%
<i>Cesar</i>	27.98	1.25%	(↓) 4.28	0.61%	0	
<i>Cauca</i>	23.29	1.04%	(↓) 4.27	0.61%	(↓) 1.71	0.13%
<i>Cundinamarca</i>	21.27	0.95%	(↓) 11.06	1.57%	(↑) 27.22	1.99%
<i>Tolima</i>	17.08	0.76%	(↓) 5.12	0.73%	(↓) 7.68	0.56%
<i>Bolívar</i>	9.30	0.41%	0		0	
<i>Huila</i>	4.27	0.19%	0		0	
<i>Caldas</i>	0		(↑) 0.85	0.12%	(↑) 1.70	0.12%
<i>Antioquia</i>	0		(↑) 0.85	0.12%	(↑) 1.70	0.12%
<b>Total</b>	<b>2245.83</b>	<b>100%</b>	<b>(↓) 704.48</b>	<b>100%</b>	<b>(↓) 1366.21</b>	<b>100%</b>

Ahora bien, si se analizan los resultados desde el punto de vista de los registros de observación de la especie, estos están solamente en los departamentos de Santander con 76 registros y Boyacá con 18, y que según los resultados obtenidos en el modelo actual como en los modelos futuros, se mantienen como los dos departamentos con mayor porcentaje de área de hábitat de la especie, como se mencionó anteriormente el 86,66% para el modelo actual, y que pasará a un 82,58% para el escenario SSP1-2.6 y 89,77% para el escenario SSP5-8.5, mostrando entonces que para unas condiciones “optimistas” frente al cambio climático, la especie buscará nuevas áreas de adaptabilidad pero que conforme a la distribución arrojada en el modelo, tenderá a ser en los alrededores de estos departamentos, y que por el contrario, en las peores condiciones climáticas futuras, la

distribución de la especie se verá altamente afectada, pues hará que la especie busque concentrarse aún más en la zona donde se distribuye actualmente.

### 5.3 Tordo Montañero (*Macroagelaius subalaris*)

Para el *M. subalaris*, se estimó un área de idoneidad de hábitat de 1597,45 km<sup>2</sup> según los datos del modelo de distribución potencial actual (Figura 16), el cuál decrecerá para el escenario SSP1-2.6 en 373,60 km<sup>2</sup> y aumentará 1151,02 km<sup>2</sup> para el escenario SSP5-8.5. Es interesante el cómo para el escenario SSP5-8.5 la especie se establece en un área mayor que la presente actualmente, evidenciando cierto tipo de ventaja aún frente al modelo generado para el escenario SSP1-2.6, pero que pueden corresponder y como se evidencia a la adaptabilidad a terrenos nuevos, que presentan los niveles más altos de altitud, superando los 3400 m.s.n.m y por ende las menores temperaturas 9,8 °C. Aún así se encuentran valores semejantes de temperatura y precipitación, en el modelo actual como en el modelo futuro del escenario SSP1-2.6, y que distan en los rangos altitudinales que se pueden presentar entre estos, ya que para el escenario “optimista” la especie tenderá a ampliar su valor mínimo de altitud, casi al promedio de altitud del modelo actual. Estos resultados se pueden apreciar en la siguiente tabla:

**Tabla 10.** Rangos de altitud, precipitación y temperatura para el *M. subalaris* según los modelos de distribución actuales y futuros. Fuente: Elaboración propia.

<i>Modelo</i>	<i>Altitud (m)</i>	<i>Precipitación (mm)</i>	<i>Temperatura (°C)</i>
<i>Actual</i>	1606 - 3164	875 - 1652	10,04 - 18,32
<i>Futuro SSP1-2.6</i>	2250 - 3266	897 - 1457	10,90 - 17,70
<i>Futuro SSP5-8.5</i>	2185 - 3495	877 - 1539	9,8 - 18,5

El departamento con mayor cantidad de área idónea de hábitat para la especie, es el departamento de Santander, que además cuenta con la mayor cantidad de registros de observación, y que para el modelo actual arrojó un área de 808,76 km<sup>2</sup> (50,63% del área total), pero que presentará una reducción para el escenario SSP1-2.6, estimando entonces 516,65 km<sup>2</sup> (42,22% del área total) y que para el escenario SSP5-8.5 tendrá un área de 938,41 km<sup>2</sup> (34,14% del área total); a mencionarse que para el modelo actual así como en el modelo del escenario SSP1-2.6 solo se presentará distribución sobre seis departamentos y son: Santander, Boyacá, Norte de Santander, Cundinamarca, Nariño y Bogotá D.C., donde en orden de porcentaje del área total, los departamentos de Boyacá y Norte de Santander intercambiarán de posición entre un modelo y otro, haciendo que para el modelo SSP1-2.6, el departamento de Norte de Santander tenga mayor participación (24,15%) que Boyacá (23,06%), pero que, para el modelo del escenario SSP5-8.5, la distribución se ampliará a ocho departamentos, encontrando una equiparación en los porcentajes de participación de los departamentos y no siendo un solo departamento, para el caso Santander, con aproximadamente la mitad de la participación, indicando la migración de la especie a nuevas zonas del país, las cuales en porcentaje de área no tienen un valor representativo puesto que no superan el 1%, o un asentamiento más concentrado en las mismas zonas de existencia como Santander y Boyacá, donde los porcentajes de participación aumentaron (Figura 17).



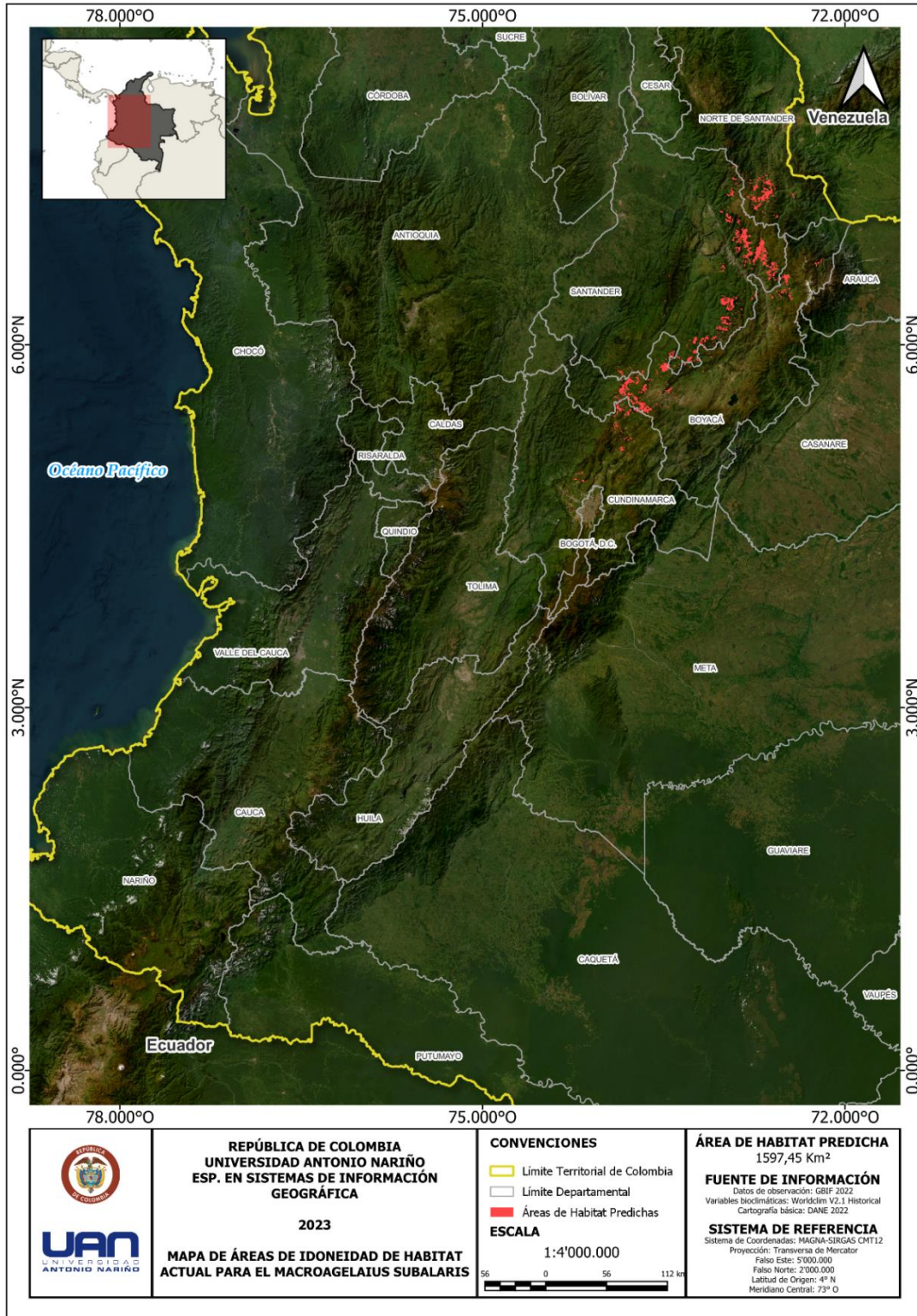
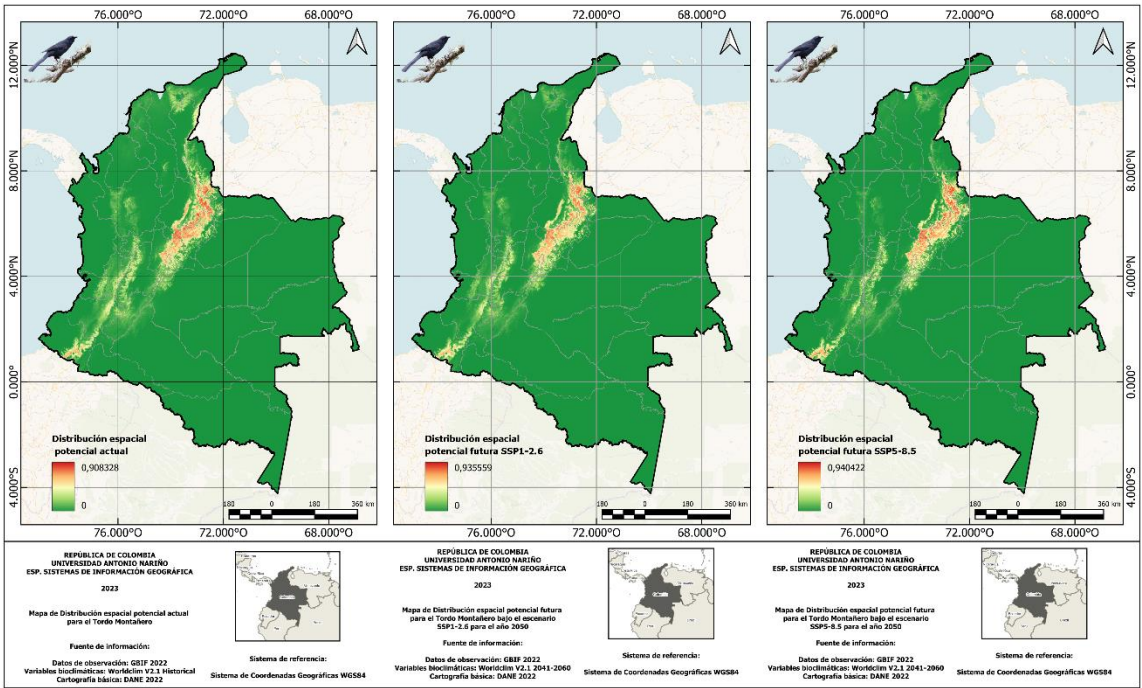


Figura 16. Mapa de áreas de idoneidad de hábitat actual para el *Macroagelaius subalaris*.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 17.** Mapas de distribución potencial actual (izquierda) y futura bajo los escenarios de cambio climático SSP1-2.6 (medio) y SSP5-8.5 (derecha) para el año 2050 del Tordo Montañero (*Macroagelaius subalaris*). Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos que para el potencial actual agrupan el 99,47% del área, hace referencia a los departamentos donde existen registros de la especie, que son Santander, Boyacá, Cundinamarca y Norte de Santander, y que para el escenario SSP1-2.6 pasan a ocupar el 99,45% donde se podría entender como una adaptación normal y sobre zonas aledañas, pero que para el escenario SSP5-8.5 es de 97,31% representando una adaptabilidad mucho más complicada, pues representa una disminución sobre estas áreas cercanas y una expansión a nuevos posibles territorios de distribución, pero que debido a las características de las especie, tenderá a ser complicado, limitado su existencia y

reproducción; dentro de la Tabla 11 se resumen los valores de áreas encontrados por cada modelo y los registros de observación de la especie categorizado por departamentos.

**Tabla 11.** Áreas de distribución potencial actual y futura, y cantidad de observaciones para el *M. subalaris* por departamento. Fuente: Elaboración propia.

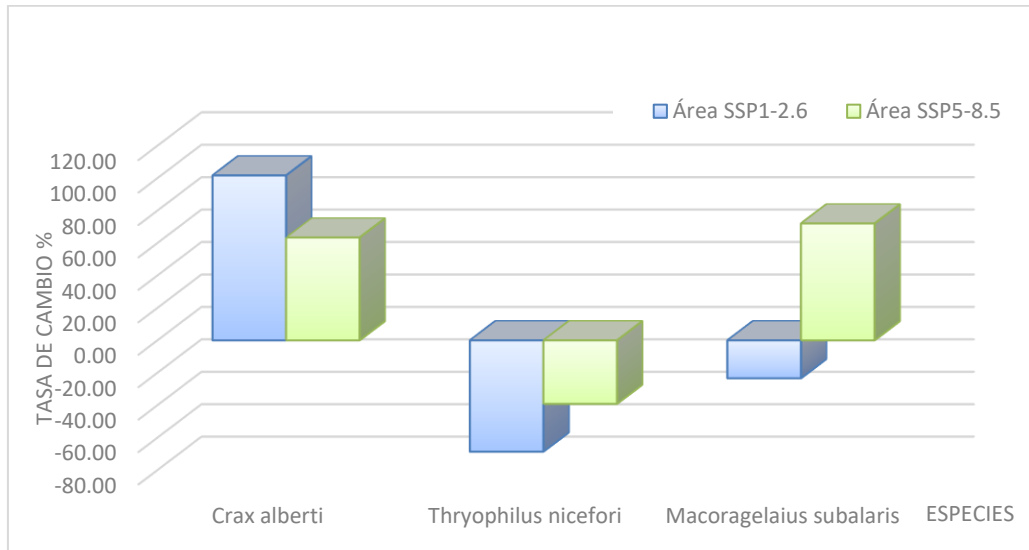
<i>Dpto</i>	<i>Obs</i>	<i>Modelo actual</i>		<i>Modelo Futuro SSP1-2.6</i>		<i>Modelo Futuro SSP5-8.5</i>	
		Área (km <sup>2</sup> )	%	Área (km <sup>2</sup> )	%	Área (km <sup>2</sup> )	%
<i>Santander</i>	70	808.76	50.63%	(↓) 516.65	42.22%	(↑) 938.41	34.14%
<i>Boyacá</i>	33	465.67	29.15%	(↓) 282.18	23.06%	(↑) 860.54	31.31%
<i>Norte De Santander</i>	5	199.81	12.51%	(↑) 295.52	24.15%	(↑) 484.25	17.62%
<i>Cundinamarca</i>	7	114.76	7.18%	(↑) 122.77	10.03%	(↑) 391.44	14.24%
<i>Tolima</i>	0	0	0.00%	0	0.00%	(↑) 0.85	0.03%
<i>Arauca</i>	0	0	0.00%	0	0.00%	(↑) 1.07	0.04%
<i>Nariño</i>	0	6.76	0.42%	(↓) 4.18	0.34%	(↑) 55.54	2.02%
<i>Bogotá D.C.</i>	0	1.7	0.11%	(↑) 2.55	0.21%	(↑) 16.38	0.60%
<b><i>Total</i></b>	<b>115</b>	<b>1597.45</b>	<b>100%</b>	<b>(↓) 1223.85</b>	<b>100%</b>	<b>(↑) 2748.48</b>	<b>100%</b>

#### 5.4 Resultados generales

Además de analizar los resultados de manera específica para cada especie, durante este apartado se agregarán otras discusiones frente a las tres especies, cómo lo fue la tasa de cambio del modelo de distribución potencial frente a los dos escenarios de cambio climático, así como las áreas de estabilidad, pérdida y ganancia que fueron calculadas a partir de una intersección entre las capas de áreas de idoneidad de cada modelo, con ayuda del software GIS.

En la Figura 18, se aprecian y detallan las tasas de cambio porcentual de área total por escenario de cambio climático. Donde resalta que la especie *M. subalaris* se comporta

de manera distinta a las dos especies, pues se obtienen resultados distintos para los dos escenarios de cambio climático, disminución de área para uno y aumento de área para el otro.



**Figura 18.** Tasas de cambio porcentual de cada especie frente a los escenarios de cambio climático.

Según los modelos obtenidos, se identifican pérdidas de áreas entre los 580,59 hasta los 2466 km<sup>2</sup> para el escenario SSP1-2.6, y entre los 237,67 hasta los 3848,06 km<sup>2</sup> para el escenario SSP5-8.5. Identificando además ganancias de área considerables, desde los 76,55 hasta los 11329,05 km<sup>2</sup>, y entre los 556,86 hasta los 9372,73 km<sup>2</sup>, para los escenarios SSP1-2.6 y SSP5-8.5 respectivamente; lo que podría mostrar el efecto que produce el cambio climático sobre las especies, indudablemente a sus procesos de adaptación y migración a nuevas áreas ya sea por pérdida o ganancia de áreas. Además se logra predecir las áreas de estabilidad que representan las áreas que se mantienen entre el modelo actual para cada especie ante los escenarios de cambio climático, identificando valores entre los 627,93 hasta los 6247,33 km<sup>2</sup> en el escenario SSP1-2.6 y en el intervalo

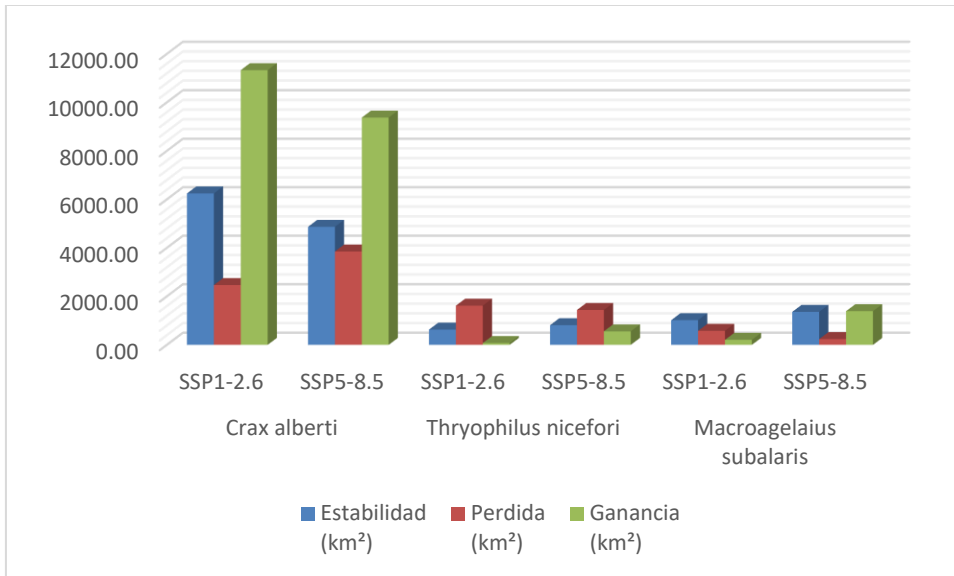


de 809,35 hasta los 4865,70 para el escenario SSP5-8.5, áreas que se pueden entender como de importancia ecosistémica para cada especie y de relevancia para la conservación, así como de procesos de investigación y de educación ambiental (Tabla 12).

**Tabla 12.** Áreas de estabilidad, pérdida y ganancia por especie según los escenarios de cambio climático.

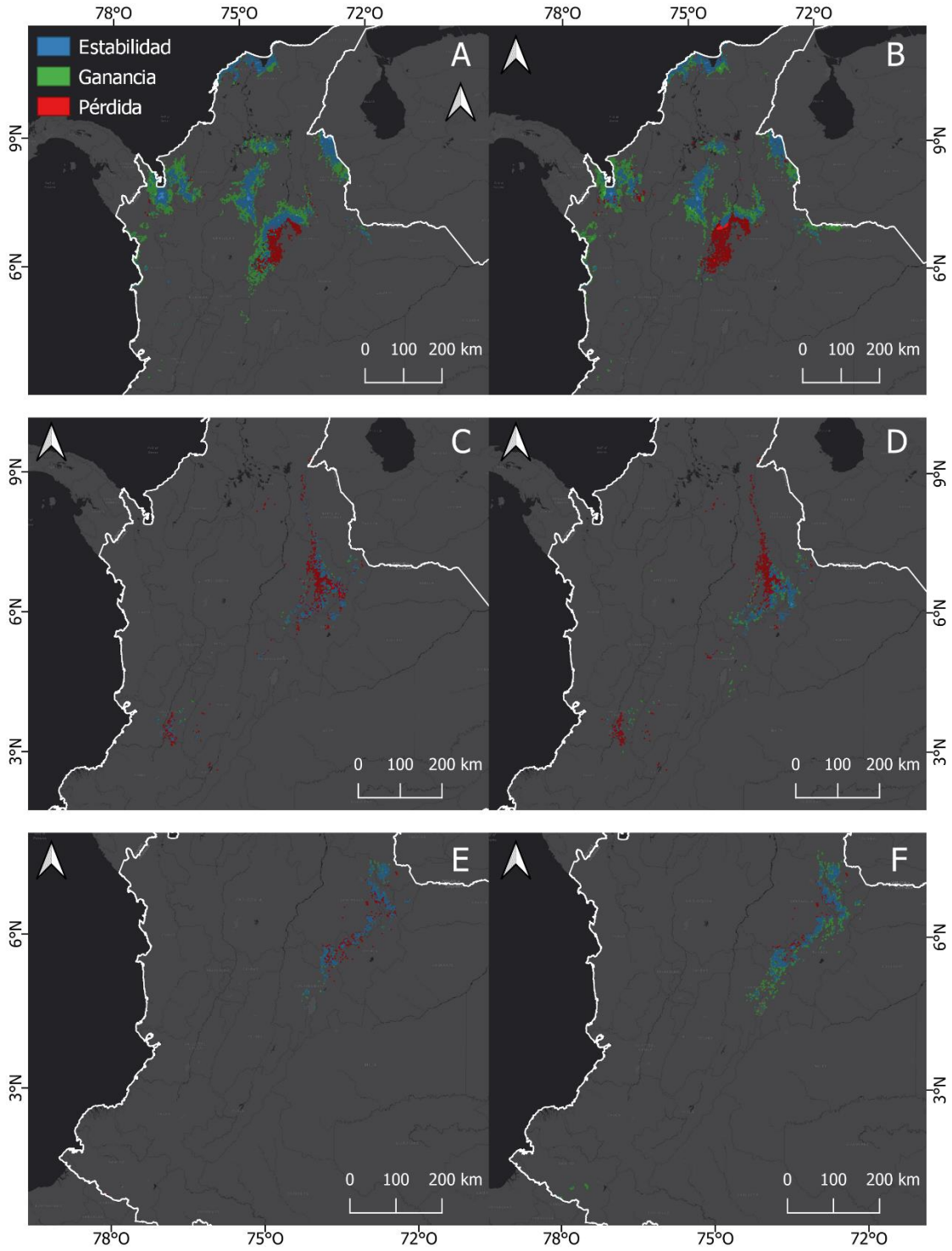
<i>Especie</i>	<i>Escenario</i>	<i>Estabilidad (km<sup>2</sup>)</i>	<i>Perdida (km<sup>2</sup>)</i>	<i>Ganancia (km<sup>2</sup>)</i>
<i>Crax alberti</i>	SSP1-2.6	6247.33	2466.42	11329.05
	SSP5-8.5	4865.70	3848.06	9372.73
<i>Thryophilus nicefori</i>	SSP1-2.6	627.93	1617.90	76.55
	SSP5-8.5	809.35	1436.48	556.86
<i>Macroagelaius subalaris</i>	SSP1-2.6	1016.87	580.59	206.99
	SSP5-8.5	1359.78	237.67	1388.69

Se logra establecer, que la especie como mayor grado de susceptibilidad ante los efectos de cambio climático es el *T. nicefori*, pues, las áreas de estabilidad son muy pequeñas en comparación a las áreas de pérdida o ganancia, además la cantidad de área que puede ganar en el escenario SSP1-2.6 es realmente bajo frente a lo que puede perder, caso que es semejante para el escenario SSP5-8.5, aunque en menor medida. Es interesante, el comportamiento que puede sufrir el *M. subalaris*, pues en un escenario sufrirá más pérdida que ganancia de área, pero en el otro será, al contrario, áreas de estabilidad y ganancia que serán comparables, esto indicaría procesos de adaptabilidad a espacios semejantes o sobre los alrededores de sus áreas de estabilidad. El *C. alberti*, por el contrario, se vería beneficiado por ambos escenarios, ganando comparativamente más área de la que podría llegar a perder, efectivamente mucha más en el escenario SSP1-2.6 (Figura 19).



**Figura 19.** Gráfico de áreas de estabilidad, pérdida y ganancia por especie. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 20, se pueden apreciar los resultados antes mencionados, espacializando los datos obtenidos, generando mapas donde se aprecia como las áreas de pérdida en su mayoría resaltan para el *C. alberti* [A y B] y *T. nicefori* [C y D], pero como en el escenario SSP5-8.5 el *M. subalaris* se aprecia claramente la ganancia de área sobre la cordillera oriental [F].



**Figura 20.** Cambios predichos por los modelos de distribución potencial actual y futura para el *C. alberti*, *T. nicefori* y *M. subalaris*. A-) Áreas de estabilidad, ganancia y

perdida en el escenario SSP1-2.6 para el *C. alberti*; B-) Áreas de estabilidad, ganancia y pérdida en el escenario SSP5-8.5 para el *C. alberti*; C-) Áreas de estabilidad, ganancia y pérdida en el escenario SSP1-2.6 para el *T. nicefori*; D-) Áreas de estabilidad, ganancia y pérdida en el escenario SSP5-8.5 para el *T. nicefori*; E-) Áreas de estabilidad, ganancia y pérdida en el escenario SSP1-2.6 para el *M. subalaris* y F-) Áreas de estabilidad, ganancia y pérdida en el escenario SSP5-8.5 para el *M. subalaris*. Fuente: Elaboración propia.

## 6. Conclusiones

A lo largo del desarrollo del presente trabajo se encontró que las especies seleccionadas para el estudio, presentan la siguiente distribución: 1. Para el *C. alberti*, se estima un área de 8713,75 km<sup>2</sup> en el modelo actual, y que para el 2050, en el modelo del escenario SSP1-2.6 tendrá un área de 17576,37 km<sup>2</sup> y para el escenario SSP5-8.5 será de 14238,43 km<sup>2</sup>; 2. Que el *T. nicefori* se establece con un área de 2245,83 m<sup>2</sup> en el modelo actual, y áreas estimadas futuras de 704,47 km<sup>2</sup> para el escenario SSP1-2.6 y 1366,21 km<sup>2</sup> para el escenario SSP5-8.5; 3. Y por último, el *M. subalaris*, para quien se estima un área de 1597,45 km<sup>2</sup> y que presentará una disminución en área para el escenario SSP1-2.6, estimándose 1223,85 km<sup>2</sup>, pero que se estima para el año 2050, bajo el escenario SSP5-8.5, un área de 2748,47 km<sup>2</sup>. A partir, de los anteriores resultados, se llega a la conclusión de lo propensas que están las diferentes especies a los efectos de cambio climático, en algunos casos más favorables que otros, y esto, dependiente a la especie y su ecología, pero que es signo de alerta, en pro de la conservación y adaptación de las mismas a nuevas áreas, climas, altitudes y en general, a las amenazas ambientales a las que se puedan enfrentar.

El *C. alberti*, se establece como la especie con mayor favorabilidad ante los efectos del cambio climático, pues para ambos escenarios, encontrará una ganancia de área, pero con los índices de pérdida de área más elevados; por el contrario, el *T. nicefori*, se verá altamente afectado, pues, en ninguno de los casos llega a establecer una ganancia de área significativa, en cambio, la pérdida de área y en las zonas actualmente habitables es mucho mayor; y sorprendentemente, el *M. subalaris*, llega a mostrar patrones de afectación muy alternos, pues puede llegar a ser preocupante los niveles de pérdida de área en un

escenario, pero en el otro, las áreas de ganancia son totalmente equiparables con las zonas de estabilidad actual. Parte de estos resultados tan distintos, se deben a las características tan únicas de cada especie, y por lo cual eran tan significativas a la hora de la selección de las mismas, pues permitirían comprobar cómo se podrían ver afectadas distintos tipos de especies ante los distintos escenarios de cambio climático.

Los modelos de distribución actuales desarrollados para cada especie fueron comparados con la plataforma BioModelos<sup>11</sup> del Instituto Alexander Von Humbolt, en la cual se han desarrollado múltiples modelos de distribución de distintas especies en el país para contribuir en el desarrollo del Atlas de la Biodiversidad de Colombia, y que cuentan con la validación de más de 500 expertos, esto con el fin de poder evidenciar su grado de “fidelidad” a lo presentado por la comunidad científica, sin embargo, los modelos existentes para cada una de las especies aparecen en la clasificación de “pendientes por validar”; para el caso del *C. alberti*, se encontró que el modelo dispuesto en la plataforma y que fue desarrollado por (Badillo-Mojica, Martínez-Castaño, et al., 2022), presenta una similitud del 41% con el modelo desarrollado para esta investigación. Con respecto al *T. nicefori* se determinó que existe una correspondencia del 36%, entre el modelo propio y el modelo desarrollado por (Badillo-Mojica, Cediél, Peñuela-Díaz, et al., 2022); por último, para el *M. subalaris*, el porcentaje de semejanza entre los dos modelos, el propio y el de (Badillo-Mojica, Cediél, Ruiz-Ovalle, et al., 2022), es del 55%. Cabe resaltar que los modelos de la plataforma BioModelos cuentan con una metodología híbrida, pues utilizaron MaxEnt y la opinión de expertos para su construcción, lo cual, decanta en otra

---

<sup>11</sup> <http://biomodelos.humboldt.org.co/>

conclusión, y es que resulta necesario el conocimiento de expertos en biología para verificar la validez del modelado y realizar ajustes al mismo.

A raíz de los polígonos de áreas determinados en los modelos, se encontraron parches de idoneidad de hábitat que debido a la resolución de la información bioclimática utilizada, que fue de aproximadamente  $1 \text{ km}^2$ , podrían considerarse como parches no funcionales (ecológicamente hablando), pues no llegarían a cumplir con los requerimientos ecológicos de las especies, esto llevaría a una depuración de los modelos en una siguiente etapa, y que podrían ayudar a determinar con mayor veracidad las áreas presentes y futuras para la distribución de las especies.

## **7. Recomendaciones**

Será necesario con el fin de mejorar las modelaciones de la distribución actual y futura de las especies seleccionadas en este estudio, depurar las áreas obtenidas no solo a partir de un margen estadístico sino también de un concepto más técnico y de expertos en Ornitología; sin embargo, se proyectan los resultados de este estudio como una herramienta base para las demás investigaciones y/o proyectos de conservación que se desarrollen en pro de la preservación de las especies trabajadas y sus áreas de distribución, invitación que se extiende a las corporaciones, organizaciones sin ánimo de lucro y a la comunidad académica y científica. Las áreas que pudiesen representar un mayor grado de impacto hacia la conservación podrían ser aquellas determinadas por la intersección entre las áreas de estabilidad resultantes del presente estudio con los modelos desarrollados para la plataforma de BioModelos del Instituto Humbolt, pues en un solo proceso se establecerían cortes tanto actuales como futuros, así como la opinión de expertos en la validación del modelo. Es así como este estudio puede ser visto como información adicional que puede ser usada para el aumento de la investigación sobre las diferentes especies de aves seleccionadas, y que sirva como herramienta en la toma de decisiones, de impulso para proyectos de educación ambiental, estrategias de conservación y políticas publicas para la protección y mitigación del cambio climático.

Sería interesante llegar a comparar los modelos desarrollados con otros métodos estadísticos como los mencionados en la investigación, así como otras plataformas o



softwares destinados para este proceso, como pueden ser el actual Wallace EcoMod v2.0<sup>12</sup>, el complemento Habitat and Biodiversity Modeler para el software TerrSet2020<sup>13</sup>, y los múltiples métodos estadísticos que se pueden emplear en el software RStudio, con el fin de establecer relación de validación y verificación de resultados.

El uso de la información disponible limita la calidad de los resultados, pues de poseer una información bioclimática con una mayor resolución espacial, se ampliaría el detalle de los resultados, así como modelos de proyección climática más ajustados al nivel continental por lo menos y no al margen global. La validación de los datos de observación de las distintas especies más allá de ser del tipo espacial también tendrá que verse ampliada, pues sería recomendable en próximos estudios, depurar los datos por la veracidad misma de la observación, así como de la temporalidad y del usuario que realice el avistamiento.

Un paso siguiente a este estudio, sería la evaluación de la fragmentación del hábitat y del efecto de borde, para cada una de las especies, que se vería como un indicador de calidad y viabilidad del hábitat predicho.

Por último, se recomienda tener en cuenta que los modelos futuros desarrollados son netamente con base a variables bioclimáticas proyectadas, y que disciernen de las amenazas antrópicas que pueden sufrir las especies, como la mencionada fragmentación de

---

<sup>12</sup> <https://wallaceecomod.github.io/wallace/articles/tutorial-v2.html>

<sup>13</sup> <https://clarklabs.org/terrset/habitat-biodiversity->

[modeler/#:~:text=The%20Habitat%20and%20Biodiversity%20Modeler,distributio%20modeling%20and%20reserve%20planning.](https://clarklabs.org/terrset/habitat-biodiversity-modeler/#:~:text=The%20Habitat%20and%20Biodiversity%20Modeler,distributio%20modeling%20and%20reserve%20planning.)

ecosistemas, caza ilegal, deforestación, entre otras, que pueden ampliar el grado de adaptabilidad y preservación que pudiesen tener las especies de cara al futuro. Es por ello, que se ve necesario el uso de las capas de coberturas de la tierra, de cuencas hidrográficas, y de usos del suelo en el modelo actual, y que se pudiesen proyectar a partir de procesos de interpolación o análisis multitemporal a un futuro, con el fin de realizar predicciones futuras más precisas y completas.

## 8. Referencias

- Alberdi Nieves, V. (2021). Modelado de distribución de especies en los bosques de los andes meridionales. *Papeles de Geografía*, 66.  
<https://doi.org/10.6018/geografia.409051>
- Andrade C., M. G. (2011). ESTADO DEL CONOCIMIENTO DE LA BIODIVERSIDAD EN COLOMBIA Y SUS AMENAZAS. CONSIDERACIONES PARA FORTALECER LA INTERACCIÓN CIENCIA-POLÍTICA. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 35(137), 491-507.
- Arango, S. C. (2018). *Modelos de distribución de especies proyectados al periodo 2010-2040 en la cuenca del Río Chinchiná*. 112.
- Arias, P. A., Ortega, G., Villegas, L. D., & Martínez, J. A. (2021). Colombian climatology in CMIP5/CMIP6 models: Persistent biases and improvements. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*.  
<https://doi.org/10.17533/udea.redin.20210525>
- Arribas, P., Abellán, P., Velasco, J., Bilton, D. T., Lobo, J. M., Millán, A., & Sánchez-Fernández, D. (2012). La vulnerabilidad de las especies frente al cambio climático, un reto urgente para la conservación de la biodiversidad. *Ecosistemas*, 21(3), 79-84. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2012.21-3.10>
- Asociación Colombiana de Ornitología. (2020). *Lista de referencia de especies de aves de Colombia—2020*.  
[https://ipt.biodiversidad.co/sib/resource?r=aco\\_listaavescolombia2017#anchor-citation](https://ipt.biodiversidad.co/sib/resource?r=aco_listaavescolombia2017#anchor-citation)

- Badillo-Mojica, D., Cediél, F., Peñuela-Díaz, G., Ruiz-Ovalle, J. M., Gómez, J. P., Collazos-González, S. A., Chaparro-Herrera, S., & Equipo BioModelos. (2022). *Modelo de distribución de Thryophilus nicefori ID AVE-2927*. Instituto Alexander von Humboldt. [http://biomodelos.humboldt.org.co/species/visor?species\\_id=6995](http://biomodelos.humboldt.org.co/species/visor?species_id=6995)
- Badillo-Mojica, D., Cediél, F., Ruiz-Ovalle, J. M., Collazos-González, S. A., Benjumea-Ochoa, H. A., & Equipo BioModelos. (2022). *Modelo de distribución de Macroagelaius subalaris ID AVE-2893*. Instituto Alexander von Humboldt. [http://biomodelos.humboldt.org.co/species/visor?species\\_id=2692](http://biomodelos.humboldt.org.co/species/visor?species_id=2692)
- Badillo-Mojica, D., Martínez-Castaño, D., Prieto-Torres, D. A., Cediél, F., Peñuela-Díaz, G., Vides, H., Gómez, J. P., Caro, L. M., Moreno, M., Caycedo, P., Ruiz-Correa, R. D., & Equipo BioModelos. (2022). *Modelo de distribución de Crax alberti ID AVE-2872*. Instituto Alexander von Humboldt. [http://biomodelos.humboldt.org.co/species/visor?species\\_id=7098](http://biomodelos.humboldt.org.co/species/visor?species_id=7098)
- Baradevanal, G., Shukla, P. K., & Rajan, S. (2021). Predicting the potential distribution of geographically-limited species, *Apsylla cistellata* Buckton (Psyllidae: Hemiptera) on mango (*Mangifera indica*) under different climate change scenarios. *International Journal of Tropical Insect Science*, *41*(1), 231-239. <https://doi.org/10.1007/s42690-020-00198-5>
- BirdLife International. (2017, octubre 1). *IUCN Red List of Threatened Species: Macroagelaius subalaris*. IUCN Red List of Threatened Species. <https://www.iucnredlist.org/en>
- BirdLife International. (2021). IUCN Red List of Threatened Species: *Thryophilus nicefori*. *IUCN Red List of Threatened Species*. <https://www.iucnredlist.org/en>

- Boissonneau. (1840). *Macroagelaius subalaris*.
- Brambilla, M., & Ficetola, G. F. (2012). Species distribution models as a tool to estimate reproductive parameters: A case study with a passerine bird species. *Journal of Animal Ecology*, *81*(4), 781-787. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2012.01970.x>
- Bravo Cadena, J., Sánchez Rojas, G., & Gelviz-Gelvez, S. M. (2011). Estudio de la distribución de las especies frente al cambio climático. *Cuadernos de biodiversidad*, *35*, 12-18. <https://doi.org/10.14198/cdbio.2011.35.03>
- Briones Salas, M., Lavariega, M. C., & Lira-Torres, I. (2012). Distribución actual y potencial del jaguar (*Panthera onca*) en Oaxaca, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, *83*(1), 246-257.
- Costa Posada, C. (2007). La adaptación al cambio climático en Colombia. *Revista de Ingeniería*, *26*, 74-80. <https://doi.org/10.16924/revinge.26.9>
- Ecosistemas—IDEAM*. (s. f.). Recuperado 2 de enero de 2023, de <http://www.ideam.gov.co/web/siac/ecosistemas>
- Ehrlén, J., & Morris, W. F. (2015). Predicting changes in the distribution and abundance of species under environmental change. *Ecology Letters*, *18*(3), 303-314. <https://doi.org/10.1111/ele.12410>
- Ferrier, S., & Guisan, A. (2006). Spatial modelling of biodiversity at the community level. *Journal of Applied Ecology*, *43*(3), 393-404. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01149.x>
- 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>

Fraser. (1852). *Crax alberti*.

GBIF.Org User. (2023a). *Occurrence Download Crax alberti*. The Global Biodiversity Information Facility. <https://doi.org/10.15468/DL.SK8KUS>

GBIF.Org User. (2023b). *Occurrence Download Macroagelaius subalaris*. The Global Biodiversity Information Facility. <https://doi.org/10.15468/DL.55EQP2>

GBIF.Org User. (2023c). *Occurrence Download Thryophilus nicefori*. The Global Biodiversity Information Facility. <https://doi.org/10.15468/DL.P339NT>

Gil, A., Guzmán, L., Machado, E., Moreno, H., Castro, E., Ussa, Z., Moreno-Palacios, M., Rodríguez, E., Carrascal, D., Martínez, P., Melo, I., Franco, H., Ochoa-Quintero, J., Salaman, P., Donegan, T., Avendaño, J., & González, J. (2008). Proyecto Salvando al Paujil Piquiazul. Saving the Blue-billed Curassow. *Conservacion Colombiana*, 4, 7-15.

Glad, A., & Mallard, F. (2022). Alpine marmot (*Marmota marmota*) distribution evolution under climate change: The use of species distribution models at a local scale in the western Pyrenees massif (France). *Ecological Informatics*, 69, 101646. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101646>

Guitérrez, E., & Trejo, I. (2014). *Efecto del cambio climático en la distribución potencial de cinco especies arbóreas de bosque templado en México* / Elsevier Enhanced Reader. <https://doi.org/10.7550/rmb.37737>

harrison, thomas. (2018, abril 19). *Explainer: How 'Shared Socioeconomic Pathways' explore future climate change*. Carbon Brief. <https://www.carbonbrief.org/explainer-how-shared-socioeconomic-pathways-explore-future-climate-change/>

- Hernández, D. O., & Caceres, J. F. O. (2020). *Modelado de distribución geográfica del oso andino bajo escenarios de cambio climático en Colombia*. 53.
- Herrera Feijoo, R. J., de Decker, M., Chicaiza-Ortiz, C., Peñafiel Arcos, P., & Garzón Ortega, C. (2021). Posibles cambios en el rango de distribución de *Tapirus pinchaque* bajo escenarios de cambio climático. *Green World Journal*, 4(2), 004. <https://doi.org/10.53313/gwj42004>
- Hilty, S. L., Brown, W. L., & López, H. Á. (2001). *Guía de las aves de Colombia*. Asociación Colombiana de Ornitología.
- Hoyo, J. del, & Collar, N. J. (2016). *HBW and BirdLife International illustrated checklist of the birds of the world*. Lynx edicions.
- Huertas, W. J., & Rey, K. G. (2018). *DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE *Atractus crassicaudatus* (Duméril, Bibron y Duméril, 1854), ANTE EVENTOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA SABANA DE BOGOTÁ, ANÁLISIS DE UNA POSIBLE VARIACIÓN INTRAPOBLACIONAL*. 62.
- IPCC. (2000). *Escenario de emisiones: Resumen para responsables de políticas*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- IUCN. (2016). *Crax alberti: BirdLife International: The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T22678525A127590617* [Data set]. International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22678525A127590617.en>
- Jaynes, E. T. (1957). Information Theory and Statistical Mechanics. *Physical Review*, 106(4), 620-630. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.106.620>
- Largo, S. B. V. (2019). *Memoria del Trabajo de Fin de Máster*. 55.

- Liu, D., Lei, X., Gao, W., Guo, H., Xie, Y., Fu, L., Lei, Y., Li, Y., Zhang, Z., & Tang, S. (2022). Mapping the potential distribution suitability of 16 tree species under climate change in northeastern China using Maxent modelling. *Journal of Forestry Research*. <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01459-4>
- Liu, X., Han, X., & Han, Z. (2022). Effects of climate change on the potential habitat distribution of swimming crab *Portunus trituberculatus* under the species distribution model. *Journal of Oceanology and Limnology*, *40*(4), 1556-1565. <https://doi.org/10.1007/s00343-021-1082-1>
- Marini, M. Â., Barbet-Massin, M., Lopes, L. E., & Jiguet, F. (2010). Predicting the occurrence of rare Brazilian birds with species distribution models. *Journal of Ornithology*, *151*(4), 857-866. <https://doi.org/10.1007/s10336-010-0523-y>
- Martínez Quintero, B. G., Echeverri-Rubio, A., & Gaviria-Ortiz, F. G. (2017). *DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE Oxysternon conspicillatum*. 17.
- Merow, C., Smith, M. J., & Silander Jr, J. A. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: What it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, *36*(10), 1058-1069. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x>
- Meyer de Schauensee. (1946). *Thryothorus nicefori*.
- Mkala, E. M., Mutinda, E. S., Wanga, V. O., Oulo, M. A., Oluoch, W. A., nzei, J., Waswa, E. N., Odago, W., Nanjala, C., Mwachala, G., Hu, G.-W., & Wang, Q.-F. (2022). Modeling impacts of climate change on the potential distribution of three endemic Aloe species critically endangered in East Africa. *Ecological Informatics*, *71*, 101765. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101765>



- Molina, C., Castillo, A., & Samaniego, H. (2018). Evaluación del nicho ambiental de *Lycalopex fulvipes* (zorro de Darwin) y la incidencia del cambio climático sobre su distribución geográfica. *Gayana (Concepción)*, 82(1), 65-78.  
<https://doi.org/10.4067/S0717-65382018000100065>
- O'Neill, B. C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K. L., Hallegatte, S., Carter, T. R., Mathur, R., & van Vuuren, D. P. (2014). A new scenario framework for climate change research: The concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, 122(3), 387-400. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0905-2>
- Ortiz Yusty, C., Restrepo, A., & Páez, V. P. (2014). Potential Distribution of *Podocnemis lewyana* (Reptilia:Podocnemididae) and Its Possible Fluctuation Under Different Global Climate Change Scenarios. *Acta Biológica Colombiana*, 19(3), 471.  
<https://doi.org/10.15446/abc.v19n3.40909>
- Papeş, M., Peterson, A. T., & Powell, G. V. N. (2012). Vegetation dynamics and avian seasonal migration: Clues from remotely sensed vegetation indices and ecological niche modelling. *Journal of Biogeography*, 39(4), 652-664.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02632.x>
- Phillips, S. J., Dudík, M., & Schapire, R. E. (2022). *Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1)*. (3.4.1) [Java].  
[http://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/) (Original work published 2016)
- 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*, 48, 61-79.

<https://doi.org/10.4067/S0718-34022011000100005>

Quesada Quirós, M., Acosta-Vargas, L. G., Arias-Aguilar, D., & Rodríguez-González, A.

(2016). Modelación de nichos ecológicos basado en tres escenarios de cambio climático para cinco especies de plantas en zonas altas de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 14(34), 01.

<https://doi.org/10.18845/rfmk.v14i34.2991>

Raghunathan, N., François, L., Huynen, M.-C., Oliveira, L. C., & Hambuckers, A. (2015).

Modelling the distribution of key tree species used by lion tamarins in the Brazilian Atlantic forest under a scenario of future climate change. *Regional Environmental Change*, 15(4), 683-693. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0625-9>

Renjifo, L. M., Amaya-Villarreal, Á. M., Burbano-Girón, J., & Velásquez-Tibatá, J.

(2017). *Libro Rojo de Aves de Colombia. Volumen II*. Pontificia Universidad Javeriana. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/34285>

Renjifo, L. M., Gómez, M., Velásquez-Tibatá, J., Amaya-Villarreal, Á. M., Kattan, G.,

Amaya-Espinel, J., & Burbano-Girón, J. (2014). *Libro rojo de las aves de Colombia, Volumen I: Bosques húmedos de los Andes y la costa pacífica*.

Riahi, K., van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S.,

Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J. C.,

Kc, S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., ... Tavoni, M.

(2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42, 153-168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>

- Roa, A. O. R. (2012). *EVALUACIÓN DE LAS SIMULACIONES DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA DE LOS MODELOS CLIMÁTICOS GLOBALES DEL PROYECTO CMIP5 CON EL CLIMA PRESENTE EN COLOMBIA*. 31.
- Rodriguez, G. A. H. (2015). *AREAS DE ALTO GRADO DE ENDEMISMO DE PECES EN LA ORINOQUIA ANDINA COLOMBIANA A PARTIR DE MODELOS DE DISTRIBUCION DE ESPECIES*. 71.
- Rodríguez Pérez, J. R., & Beltrán Vargas, J. E. (2014). Análisis de escenarios de cambio climático A1B, A2 y B1 para la reserva forestal protectora bosque oriental de Bogotá años 2040, 2070 y 2095 utilizando MarksimGCM-Analysis of climate change scenarios A1B, A2 and B1 for protective forest reserve Bosque oriental de Bogotá, years 2040, 2070 & 2095 with MarksimGCM. *Revista científica*, 1(18), 166. <https://doi.org/10.14483/23448350.5595>
- Sevillano Ríos, S., & Morales, L. V. (2021). *La temperatura y radiación solar explican diferencias en la distribución de dos árboles altoandinos (Polylepis spp.) localmente simpátricos en la Cordillera Blanca, Perú*. <https://www.tandfonline.com/doi/epub/10.1080/23766808.2021.1938887?needAccess=true&cookieSet=1>
- Wayne, G. (2013). *The Beginner's Guide to Representative Concentration Pathways*. 24.
- Ye, X., Wu, Q., Li, X., & Zhao, X. (2022). Incorporating interspecific relationships into species distribution models can better assess the response of species to climate change, a case study of two Chinese primates. *Ecological Indicators*, 142, 109255. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109255>