



**Modelo de Distribución Geográfica de la Especie *Leopardus tigrinus* (VU) Bajo Escenarios de Cambio Climático en Colombia.**

Jairo Enrique Torres Guasca

Código 11792226483

**Universidad Antonio Nariño**

Facultad de Ingeniería Ambiental e Ingeniería Civil

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Bogotá, D.C Colombia

Mayo de 2023

**Modelo de Distribución Geográfica de la Especie *Leopardus tigrinus* (VU) Bajo Escenarios de  
Cambio Climático en Colombia**

**Jairo Enrique Torres Guasca**

Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Director (a):

Msc., Luis Raúl Echeverri B.

Línea de Investigación:

Análisis de Procesos de Cambio Global.

**Universidad Antonio Nariño**

Facultad de Ingeniería Ambiental e Ingeniería Civil

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Bogotá, D.C Colombia

Junio de 2023

## Contenido

Introducción .....	7
Marco Teórico y Estado del Conocimiento .....	10
Estado del arte .....	10
Leopardus tigrinus, estado de conservación.....	12
Ecología del Leopardus tigrinus.....	13
Distribución actual del Leopardus tigrinus en Colombia.....	14
Cambio Climático .....	16
Escenarios climáticos futuros trayectorias socioeconómicas ssp.....	18
Impacto del cambio climático sobre la Leopardus tigrinus.....	19
Uso de modelos Maxent en planes de conservación y monitoreo de las especies .....	20
Objetivos.....	21
Objetivo General .....	21
Objetivos Específicos.....	21
Metodología .....	22
Área de estudio.....	24
Recursos e insumos requeridos .....	25
Obtención datos de ocurrencia con herramienta SIG.....	26
Preprocesamiento de datos y coordenadas .....	27
Variables abióticas bioclimáticas .....	28
Condiciones de las variables futuras .....	29
Preproceso .....	30
Procesamiento .....	34
Resultados y Discusión.....	37
Resultados a nivel de Colombia.....	38
Escenario actual.....	43
Escenario futuro ssp1-2.6.....	46
Escenario futuro ssp2-4.5.....	49
Escenario futuro ssp3-7.0.....	51
Escenario futuro ssp5-8.5.....	53
Localización de los registros de ocurrencia .....	55

Conclusiones .....	57
Recomendaciones .....	59
Referencias Bibliográficas .....	60
Anexos .....	66

### Índice de Tablas

Tabla 1 Resumen de recursos e insumos requeridos	24
Tabla 2 Forma de datos de ocurrencia	26
Tabla 3 Variables bioclimáticas actuales	27
Tabla 4 Escenarios a mediano plazo 2041-2060	28
Tabla 5 Porcentajes y área estimada para cada uno de los escenarios.	39
Tabla 6 Porcentaje de contribución modelo actual	44
Tabla 7 Datos de Ocurrencia por departamento	53

### Índice de Figuras

Figura 1 Distribución de los registros totales obtenidos para <i>Leopardus tigrinus</i> sobre la distribución potencial (SDM) en Colombia y los núcleos de hábitat restantes.	14
Figura 2 Metodología empleada	22
Figura 3 Área de estudio modelo de distribución bajo escenarios de cambio climático	23
Figura 4 Descarga datos de ocurrencia	25

Figura 5 Resultado distribución potencial actual	30
En la siguiente Figura 6 se muestra las curvas en relación de cómo cada variable ambiental afecta las predicciones de Maxent 3.4.4. La curva muestra cómo cambia la probabilidad esperada de participación a medida que cambia cada variable ambiental.	31
Figura 6 Resultado curvas de las variables análisis exploratorio	31
Figura 7 Correlación de variables	32
Figura 8 Selección de Variables modelo actual potencial	32
Figura 9 Configuración Manxent 3.4.4	33
Figura 10 Validación curva de características operativas del receptor (ROC) Tendencia valores área bajo la curva	35
Figura 11 Localización datos de validación	35
Figura 12 Área actual y resultante bajo escenario ssp5-8.5	38
Figura 13 Resultado de porcentajes de área en comparación al área actual modelada.	40
Figura 14 Distribución de % por Departamentos	41
Figura 15 Porcentajes de áreas para cada departamento	42
Figura 16 Resultado Modelo Actual	43
Figura 17 Curva de respuesta variable temperatura	45
Figura 18 Modelo distribución escenario ssp1-2.6	46
Figura 19 Porcentajes por departamento escenario ssp2-4.5	47
Figura 20 Mapa de Distribución Potencial Escenario ssp2-4.5	48
Figura 21 Porcentajes para el escenario ssp3.7.0 por departamento	49
Figura 22 <i>Mapa escenario ssp3-7.0</i>	50
Figura 23 Porcentajes para el escenario ssp5-8.5	51

Figura 24 *Mapa escenario ssp5-8.5*

52

Figura 26 Localización de Todos los Registros

54

## Introducción

Entre las especies de mamíferos en peligro de extinción y clasificadas en estado vulnerable (VU), tanto por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), así como por la resolución 1912 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) se encuentra el *Leopardus tigrinus* (MADS, 2017), o comúnmente conocido como “Ocilla” o “Tigrillo Lanudo”, el estado actual de la especie ha sido afectado por diversos factores, entre ellos, la presión ejercida por las actividades humanas como la deforestación, la pérdida de hábitat y la caza, en Colombia la especie se encuentra principalmente en la Cordillera de los Andes y tiene el récord de ser el felino más pequeño que habita el país, su distribución es largo de todo el continente americano, desde el norte de Argentina hasta Costa Rica (Arias, 2016). Una de las funciones importantes de los félidos en el equilibrio de los ecosistemas es por su hábito carnívoro especializado lo cual lo ubican en la cima de la red trófica, sirviendo como controladores demográficos de presas, permitiendo coexistencia de otros organismos. Como consecuencia de la presencia en los ecosistemas de estas especies se evidencia el aumento de la biodiversidad en una región (Castillo, 2016).

En vista de la importancia de preservar y gestionar la biodiversidad mediante la conservación de especies, resulta fundamental desarrollar métodos de modelado que permitan conocer su distribución y analizarla en escenarios de cambio climático. Esto puede proporcionar información útil para la generación de estrategias de conservación a largo plazo. Es por esto que Modelos de Distribución de Especies (SDM, por sus siglas en inglés) son una técnica que no solo permite representar la distribución de las especies, sino que también supera las limitaciones derivadas de la falta de datos de ocurrencia, entre otras (Gil, 2017).

Por lo tanto, el modelado de distribución de especies (SDM), ayuda a predecir cambios en la distribución bajo escenarios de cambio climático con impactos en la biodiversidad, tales como la distribución, el tamaño, la estructura y el impacto en la riqueza de la población, cambios en los ciclos hidrológicos y de nutrientes que podrían alterar la estructura y distribución de los ecosistemas en los que viven estas especies (IPCC, 2007).

En relación con lo anterior este trabajo tiene como objetivo tratar la distribución de la especie *Leopardus tigrinus* en diferentes escenarios de cambio climático dadas las posibles consecuencias como la degradación del bosque, lo que alteraría la distribución geográfica de la especie, así como cambios en las precipitaciones que podrían afectar las poblaciones de especies florísticas y alterar así los ecosistemas (IPCC, 2007). Según un estudio reciente de González y otros (2022), esta especie habita en ecosistemas alpinos como los páramos y bosques andinos, los cuales se ven especialmente afectados por los cambios en la hidrodinámica que se señalan en el informe del Cambio Climático del Grupo de Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (2007).

Así es como para ejecutar el modelo de distribución de *Leopardus tigrinus*, se descargaron en primer lugar las variables ambientales y los datos correspondientes a los escenarios de cambio climático, con el fin de desarrollar la metodología necesaria. Los datos que evidencian la presencia de la especie se obtuvieron del Sistema de Información de Biodiversidad (SiB) de Colombia, asimismo se utilizó la Base de Datos Global de Biodiversidad (GBIF), posteriormente se realizó el procesamiento de los datos y sus coordenadas para luego realizar la matriz de correlación y estandarización de las variables a emplear, luego se desarrolló, el modelo mediante el software Maxent 3.4.4, para finalmente obtener los resultados y así realizar los análisis de los posibles cambios en su distribución.

El procesamiento de datos de ocurrencia se eligió en función de los diferentes tipos presentados, filtrando sobre los datos y organizándolos de acuerdo con el Estándar Darwin Core, (DwC).

En este sentido, en definitiva, se desarrolló el presente objetivo común denominado Modelado de distribución geográfica y análisis de la especie de *Leopardus tigrinus* en escenarios de cambio climático. Para lograrlo el presente trabajo se divide en varios títulos como lo es; la introducción en el cual se describe cada una de las características principales del trabajo, para llegar a dar sustento a al mismo se estructura el marco teórico el cual contiene bases teóricas de los temas tratados en el trabajo como lo es *Leopardus tigrinus* y su estado de conservación, la ecología de la especie, la distribución actual en Colombia, efectos del cambio climático sobre las especies, patrones de distribución y finalmente precedentes con diferentes fuentes y autores, así también se presentan los objetivos específicos, la metodología empleada desde la descarga de los datos de ocurrencia hasta el procesamiento y modelamiento de las variables utilizadas, por último se presenta un título de resultados y discusión que sirvió para plantear algunas conclusiones y recomendaciones.

## Marco Teórico y Estado del Conocimiento

En esta investigación fue necesario consultar el estado del arte sobre la posible propagación de la especie *Leopardus tigrinus*, presentando una serie de estudios previos que soportan la investigación realizada, debido a que en las consultas realizadas no se encuentre un modelo de distribución previo bajo escenario de cambio climático de *Leopardus tigrinus*, se da así aún más relevancia a este trabajo, por otro lado se presentan los acotamientos y bases teóricas de los títulos abordados para cumplir con el objetivo del trabajo, como lo es, el estado de conservación, la ecología, distribución geográfica actual *Leopardus tigrinus*, así como el impacto del cambio climático en la biodiversidad, finalmente se presenta revisión teórica del uso de modelos mediante el software Maxent en planes de conservación y monitoreo de especies amenazadas.

### Estado del arte

En Colombia, aparte de las diversas publicaciones sobre modelos de distribución publicadas para diferentes especies, existe una herramienta desarrollada por El Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH) la cual permite conocer donde se encuentra la biodiversidad a partir de modelos de nicho y evaluación de expertos en cada uno de los grupos, estas hipótesis de distribución se elaboran mediante procesos estadísticos e informáticos que relacionan los datos recolectados con variables ambientales, generando como resultado mapas de las probables distribuciones para las diferentes especies. Consultada la plataforma de BIoModelos (<http://biomodelos.humboldt.org.co/>) del Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH) donde no se encontró una suposición de distribución para la el *Leopardus tigrinus* en Colombia.

Sin embargo, varios trabajos se han venido publicando como lo es “La Distribución Geográfica e Implicaciones Para la Conservación del Leopardo Colombiano (*Leopardus tigrinus*)”, este artículo presenta un segundo mapa de distribución de la especie colombiana. (Payan, 2011).

El trabajo más reciente que muestra una presciencia potencial del *Leopardus tigrinus* es el “Spotting what's important: Priority areas, connectivity, and conservation of the Northern Tiger Cat (*Leopardus tigrinus*) in Colombia” como resultado de este artículo no solo se muestra una distribución potencial, sino que además se obtienen mapas de potencial de red de conectividad para el *Leopardus tigrinus* en Colombia, así como mapa de prioridades de conservación y acciones de conservación de *Leopardus tigrinus* en Colombia (González et al., 2022).

Otro de los trabajos realizados que incluyen mapas de presencia potencial para esta especie, se presentan incluido dentro del “Plan de Manejo y Conservación de la “Oncilla” (*leopardus tigrinus*) para la Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) (Corporación Autónoma Regional, 2019), y en el “Plan de Conservación de Felinos Silvestres del Territorio CAR” muestra un modelo de nicho ecológico para *leopardus tigrinus* y otras especies (Castillo et al, 2016).

Un caso de consulta del modelamiento de la distribución bajo escenarios de cambio climático con la herramienta Maxent se publicó en el trabajo de grado “Modelado de Distribución Geográfica del Oso Andino Bajo Escenarios de Cambio Climático en Colombia” con base en variables bioclimáticas, y como resultado se analizó el impacto del cambio climático en la distribución espacial de los hábitats del oso de anteojos en Colombia hasta 2050. (Ortiz D. y Ortiz J., 2020).

Frente al uso para la conservación con la ayuda de modelos, se presenta un modelo de distribución y su aplicación a la conservación de mamíferos terrestres en Sudamérica, siendo uno de los objetivos la identificación de áreas prioritarias para la conservación del zorro vinagre (*Speothos venaticus*) (Gil, 2017). Así mismo en otro artículo se ve la aplicación de los modelamientos de distribución con Maxent para *Bradypus variegatus* (oso perezoso), para la conservación del nicho ecológico, basándose en este modelo, se identificó a Maxent como el modelo más preciso (0,96). (Lobo et al., 2015).

También se consultó el artículo “Modelling potential impacts of climate change on the bioclimatic envelope and conservation of the Maned Wolf (*Chrysocyon brachyurus*), en el cual se exploran las características ambientales representando la mejor distribución actual de especie, se modela la distribución pasada y presente, y se proyecta el modelado de nicho hacia el futuro identificando así las áreas adecuadas para la conservación (Torres et al., 2013).

Es así como se concluye la necesidad de aportar y de generar más información de la posible presencia de la especie *Leopardus tigrinus* bajo escenarios de cambio climático en los habitats. Con lo cual se podría integrar con los estudios de la especie anteriormente mencionados, además de realizar el modelamiento con las demás especies amenazadas dada la prioridad para su conservación y el escenario actual y futuro del efecto del cambio climático y sus implicaciones a la biodiversidad y ecosistemas del mundo.

### ***Leopardus tigrinus*, estado de conservación**

El *Leopardus tigrinus* (Schreber, 1774) o comúnmente llamado: Ocilla, tigrillo lanudo o gallinero, se describe de acuerdo con los siguientes autores Payan & Oliveira, (2016): Un pequeño

felino moteado neotropical que se encuentra desde el norte de Argentina y el sur de Brasil hasta Costa Rica, esta especie se encuentra sólo en América.

Es el gato más pequeño de Colombia, aproximadamente del tamaño de un gato doméstico normal, Los machos adultos pesan entre 1,8 y 3,5 kg y las hembras adultas entre 1,5 y 3,2 kg, la medida va de 43-60 cm desde la punta de la nariz hasta la base de la cola, el tamaño de la cola es de 20-40 cm, considerado largo para el tamaño corporal y comparado con los ocelotes, la altura del dorso es de unos 20 a 25 cm y con un hocico estrecho. (Castillo et al, 2016).

Su estado de conservación a nivel mundial según Payan & Oliveira (2016), se categoriza como Vulnerable (VU), en Colombia y conforme con la resolución 1912 de 2017, del Ministerio de Ambiente su estado es Vulnerable (VU).

### **Ecología del *Leopardus tigrinus***

La "oncilla" es solitaria y de actividad nocturna, aunque esto no es seguro, se cree que existen poblaciones de oncilla afectadas negativamente por la presencia de ocelotes (Oliveira, 2017). Las hembras abarcan de 0,9 a 25 km<sup>2</sup> y los machos de 4,8 a 17 km<sup>2</sup>., según Castillo et al (2016), las vocalizaciones de Oncilla, como las de otros margay y gatos domésticos, consisten en ronroneos, maullidos y olfateo.

Frente a la ecología y comportamiento de esta especie según Castillo et al. (2016), los felidae están en la cima de la cadena alimenticia porque son los mamíferos carnívoros más especializados. En este sentido, esta familia son organismos clave en el ecosistema, controlando demográficamente a las presas más abundantes y competitivas, permitiendo la coexistencia de otros organismos y ayudando a eliminar individuos débiles, viejos o enfermos, mejorando así la biodiversidad de la zona. (p.52)

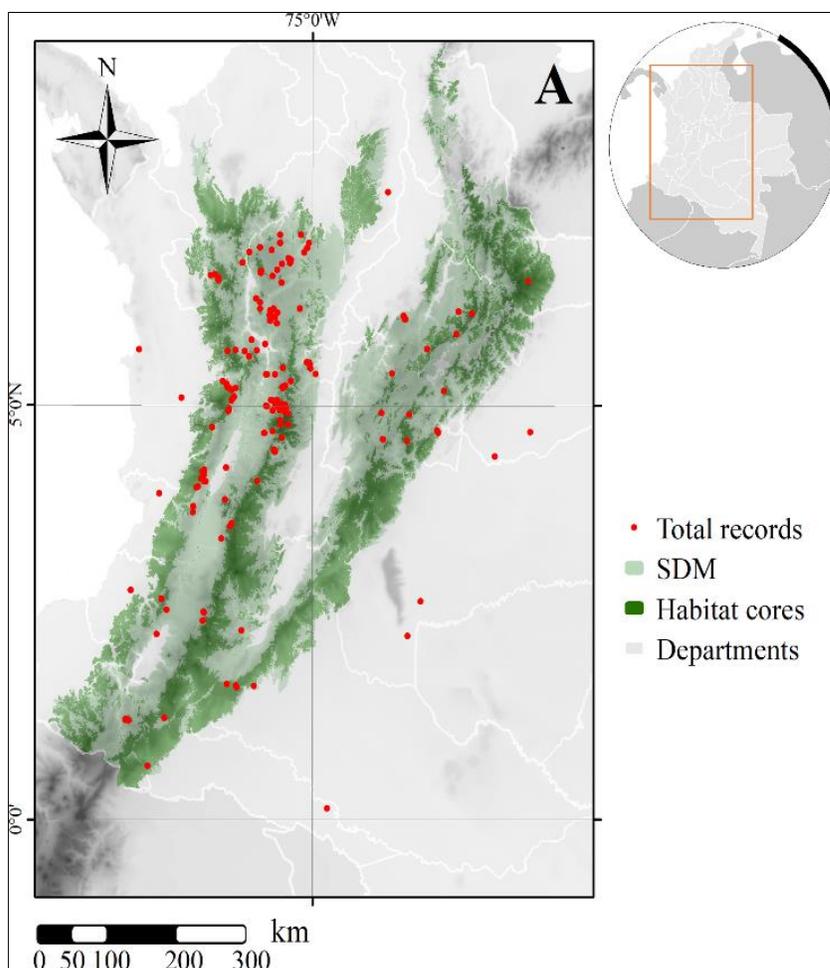
Como lo indica Payán y Soto (2012), considerando la importancia ecológica esta especie se puede decir que: La presencia de esta familia en un área indica una relación simbiótica compleja con la salud de las poblaciones de organismos que dependen de ellos. Resumiendo, al autor, la salud de los ecosistemas nos muestra como un indicador la presencia de esta especie.

### **Distribución actual del *Leopardus tigrinus* en Colombia**

Siendo la representante de la familia el más pequeño de los 6 que habitan Colombia y de acuerdo con la distribución física presentada por Payán y Soto (2012) “en donde tradicionalmente, se ha considerado que la distribución de esta especie se restringe a los páramos y bosques altoandinos o de niebla. Sin embargo, se han registrado algunos avistamientos en regiones como la Amazonía y las sábanas.

Para González et al, (2022) en el artículo “Spotting what’s important: Priority areas, connectivity, and conservation of the Northern Tiger Cat (*Leopardus tigrinus*) in Colombia, el cual presenta la modelación de distribución potencial del *Leopardus tigrinus* con registros hasta el año 2019, y que presentamos en la Figura 1.

Figura 1 Distribución de los registros totales obtenidos para *Leopardus tigrinus* sobre la distribución potencial (SDM) en Colombia y los núcleos de hábitat restantes.



Nota: El fondo muestra la topografía, el gris claro representa a Colombia y las líneas blancas definen las divisiones políticas y administrativas de Colombia (departamentos). los registros totales obtenidos para *Leopardus tigrinus* sobre la distribución potencial (SDM) en Colombia en color rojo y los núcleos de hábitat restantes, en color verde. Mapa creado con ArcGIS Fuente: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0273750.g001>

## **Cambio Climático**

Para poder comprender de manera más eficiente el concepto de cambio climático es pertinente remitirse a la definición dada por el IPCC (2018).

El cambio climático se refiere a los cambios en las condiciones climáticas que se pueden determinar a partir de los cambios medios o la variabilidad (p. ej., mediante pruebas estadísticas).

Propiedades que persisten durante largos períodos de tiempo, generalmente décadas o período más largos, el cambio climático puede ser causado por procesos internos naturales, modulación del ciclo solar, o fuerzas externas como erupciones volcánicas, así como cambios antropogénicos permanentes en la composición atmosférica y uso del suelo. El artículo 1 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) (1992) define el cambio climático como "el resultado de afectaciones directas o indirectamente por actividades humanas que modifican la composición de la atmósfera adicionando a la variabilidad climática natural observada durante este período a nivel mundial y tiempos similares. Por lo tanto, la CMNUCC distingue entre cambios climáticos asociados a las actividades humanas que modifican la composición y variabilidad de la atmósfera o por causas naturales.

Así como existe el IPCC como grupo científico reconocido a nivel mundial el cual estudia el cambio climático también existen organizaciones que niegan su existencia, como si las consecuencias de alteración del clima no fueran indiscutibles en todos los países. Incluso en Colombia, como lo ha señalado Barrera et al (2015), se ha demostrado que sí existen impactos que están afectando las sociedades y economías colombianas entre otras áreas. Por ejemplo, para el área de biodiversidad somos conscientes del papel crucial e importante que tiene la diversidad de especies que regulan los ecosistemas, donde hay especies como la rana dorada y la rana arlequín

de Monteverde (Costa Rica) han desaparecido desde mediados de la década pasada y han sido declaradas "las primeras víctimas del clima", a pesar de que su hábitat ha sido declarado área protegida (Barrera et al, 2015, pg. 32). Es en estas situaciones de extinción es donde lamentablemente comprendemos las consecuencias que tiene el cambio climático sobre las especies como consecuencia de la deforestación, migración de especies a nuevas zonas donde antes no se habían visto o donde no se tenían registros de ellas en esos territorios.

Para Colombia y otros países tropicales, se observa que cualquier alteración climática puede ser más grave y arrasadora que en otras regiones del planeta ya que sus ecosistemas están acondicionados a unas circunstancias controladas y sin grandes variaciones (Barrera et al, 2015). Es así como el Banco Mundial, presenta que Colombia es uno de los países que muestran niveles más altos de América Latina de desastres naturales reiterados inducidos por cambios. Lo anterior tiene mucho sentido para Rozo (2020) quien afirma que Colombia es “un país altamente vulnerable al cambio climático”, comprendiendo la palabra “vulnerabilidad” como la categoría de incapacidad o susceptibilidad de “un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático, y en particular, la variabilidad del clima y los fenómenos naturales” (pg. 4). Adicionalmente, Rozo (2020) resalta que es relevante tener claro los tres elementos que comprenden la vulnerabilidad al cambio climático:

- La exposición: El tipo y el grado en que un sistema está expuesto a variaciones climáticas importantes.
- La sensibilidad o susceptibilidad al daño: grado en el cual un sistema o especie es afectada (positiva o negativamente) por estímulos relacionados con el clima (cambio o variabilidad climática), donde sus efectos pueden ser directos o indirectos.

- Capacidad adaptativa: es la habilidad biológica o social de un sistema o individuo de ajustarse a un daño potencial moderado, sacar ventaja de las oportunidades o responder ante las consecuencias (pg. 5).

Es así como Colombia, según Rozo (2020), tiene un alto grado de sensibilidad y exposición a los efectos del cambio climático, así como una baja capacidad adaptativa a los efectos de este fenómeno. Para la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2020) citado por Rozo (2020), resalta varios impactos considerables, entre ellos, expone que para diversidad biológica y las áreas naturales o bosques habría ausencia de estos, blanqueamientos de arrecifes coralinos, y pérdida de diversidad biológica, así como los servicios ecosistémicos.

### **Escenarios climáticos futuros trayectorias socioeconómicas ssp**

De acuerdo con (Ebi et al., 2014) los ssp describen situación de la sociedad a medida que cambia durante el siglo XXI, incluidas las políticas climáticas, las cuales definen el estado de los sistemas ecológicos y las sociedades humanas a escala macro.

Desarrollado por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), Shared Socioeconomic Pathways (SSP) explora diferentes escenarios socioeconómicos y de emisión de gases de efecto invernadero. Estos escenarios se dividen en cinco presentando un futuro alternativo.

#### ***Ssp1-2.6***

Un futuro con desarrollo sostenible y justo proyecta una población mundial máxima en 2050, mientras que la urbanización y educación aumentan, la economía crece de forma moderada y sostenible por la transición hacia fuentes de energía más limpias y renovables (O'Neill et al., 2017).

**Ssp2-4.5**

Un Futuro con un crecimiento económico moderado y progreso tecnológico continuo, los desafíos sociales y ambientales se cumplen moderadamente, frente a la población continuaría con la tendencia actual (O'Neill et al., 2017).

**Ssp3-7.0**

Denominado “competencia regional” explora un futuro con un crecimiento económico lento y progreso tecnológico limitado, los problemas sociales y ambientales no son abordados efectivamente, en este escenario no habría inversión para el desarrollo sostenible y se presentaría aumento en la desigualdad social (O'Neill et al., 2017).

**Ssp5-8.5**

Un futuro desarrollado de acuerdo con O'Neill et al. (2017), por combustibles fósiles, con crecimiento económico y tecnológico rápido, enfrentando desafíos sociales ambientales con inversión tecnológica basada en el mercado, este escenario es uno de los más difíciles desde la perspectiva de sostenibilidad por su dependencia a los combustibles tradicionales.

**Impacto del cambio climático sobre la *Leopardus tigrinus***

Concordando con el informe del CEPAL (Uribe, 2015) los efectos del clima y su alteración sobre la diversidad biológica, pueden perjudicar la distribución, tamaño, estructura y abundancia de las poblaciones de algunas especies, adicionalmente de acuerdo con Uribe, (2015) el clima cambiante tendría tendencia a incrementar la desaparición de biodiversidad y los recursos asociados; y que sus secuelas serían especialmente duros en aquellos ecosistemas que ya se encuentran significativamente alterados producto de la huella humana.

Otra de las amenazas y que según la CAR (2019), depende directa o indirectamente de muchos factores, y en las cuales principalmente se evidencian por causas, como la reducción de la

distribución debido al tráfico ilegal de especies, la dinámica de depredación con otras especies, así como la falta de datos y estudios de la especie.

### **Uso de modelos Maxent en planes de conservación y monitoreo de las especies**

Para iniciar el abordaje de las temáticas es primordial examinar que esta especie se distribuye en gran variedad de hábitats, parece ser que las poblaciones de Colombia ocupan bosque andinos y nublados sobre los 1.600 m de altura (Arias, 2014).

Estos modelos de distribución potencial no solamente se utilizan para grupos de fauna, sino que también son utilizados en plantas como el modelo máxima entropía (Cruz-Cárdenas et al., 2016) en el cual se modela con el software la distribución de 12 especies de Pinacas bajo las condiciones actuales y futuros escenarios de cambio climático utilizando modelos de nicho ecológico. El clima actual, los escenarios futuros, las propiedades del suelo y los datos del modelo de elevación digital se utilizaron como predictores ambientales.

## Objetivos

### Objetivo General

Modelar y analizar la distribución geográfica de la especie *Leopardus tigrinus* bajo escenarios de cambio climático en Colombia.

### Objetivos Específicos

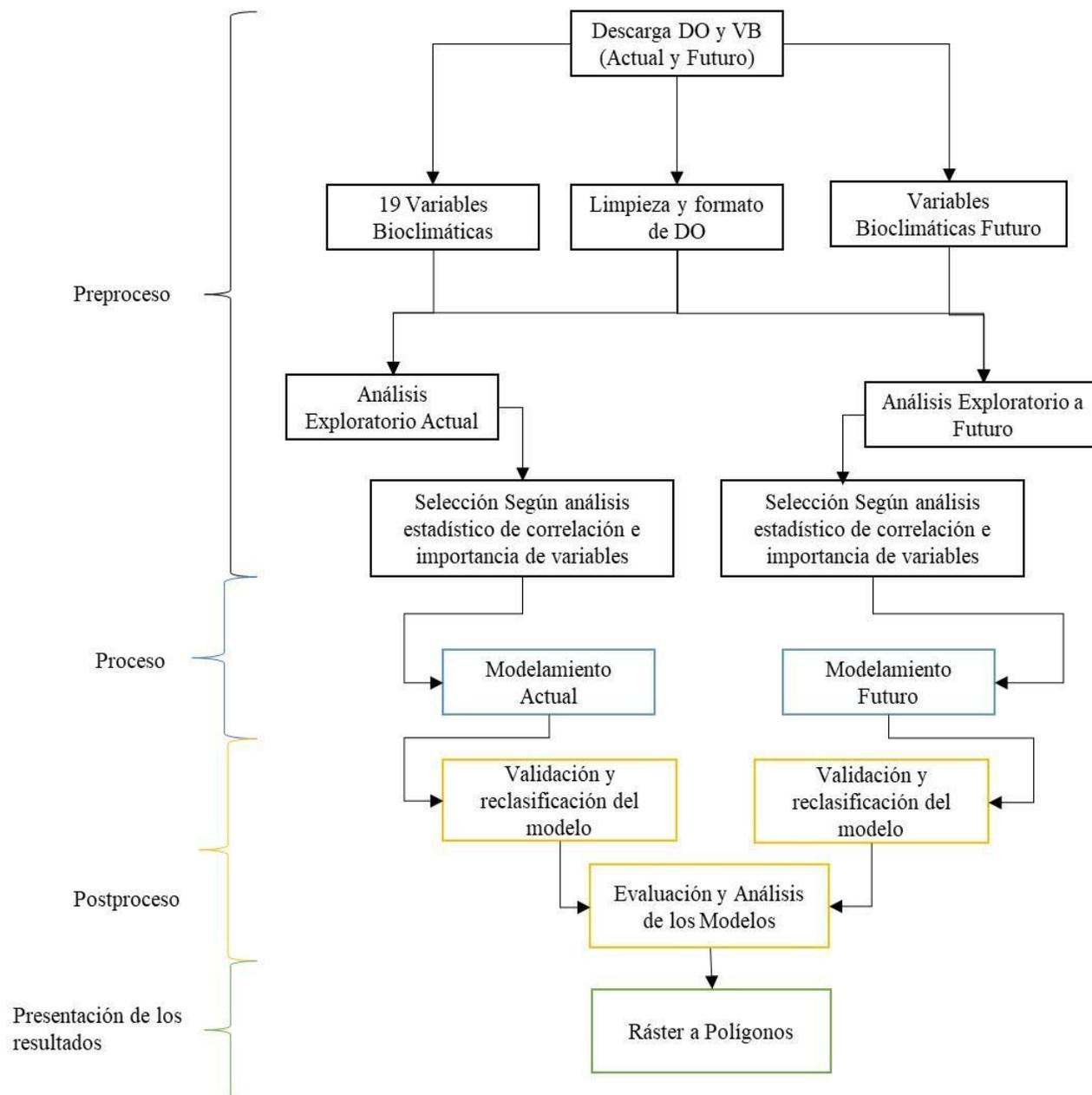
- Modelar la distribución potencial actual del *Leopardus tigrinus*.
- Modelar la distribución de *Leopardus tigrinus* bajo escenarios de cambio climático.
- Analizar la distribución *Leopardus tigrinus* bajo escenarios de cambio climático para los departamentos de Colombia.

## **Metodología**

Para poder conocer la distribución potencial actual y en escenario futuros de cambio climático de la especie modelada, y así poder cumplir con los objetivos del trabajo, se adoptó una metodología básica y general donde se tiene datos de entrada como los datos de ocurrencia y las variables climáticas actuales y futuras, luego se seleccionan y limpian los datos en un pre proceso, para después procesar estas variables en condiciones actuales y futuras simultáneamente con una configuración del Software Maxent 3.4.4. Desde los resultados del proceso anterior se inicia la etapa del postproceso donde se valida y reclasifica el modelo, así como el análisis y evaluación de este. Finalmente, se realizan salidas gráficas y geo procesos para obtener los resultados finales, a continuación, se presenta la Figura 2 con la metodología propuesta para el objeto.

En títulos siguientes dentro de la metodología se presenta de manera más detallada el área de estudio, recursos e insumos requeridos, obtención de datos de ocurrencia y variables bioclimáticas, preprocesamientos de los datos, proceso y postproceso de estos.

Figura 2 Metodología empleada



Nota: DO: Datos de Ocurrencia, VB: Variables Bioclimáticas

Fuente: Elaboración propia.

## Área de estudio

El área de estudio para el modelo de distribución actual y bajo escenarios de cambio climático para el *Leopardus tigrinus* se limita únicamente para territorio continental del área de la república de Colombia, tal como se muestra en la siguiente Figura 3.

Figura 3 Área de estudio modelo de distribución bajo escenarios de cambio climático



Fuente: Elaboración propia, datos DANE, 2023

## Recursos e insumos requeridos

Los recursos e insumos utilizados y la fuente de estos para la modelación potencial de distribución actual y futura bajo escenarios de cambio climático se presentan en la siguiente Tabla 1 resumen.

*Tabla 1 Resumen de recursos e insumos requeridos*

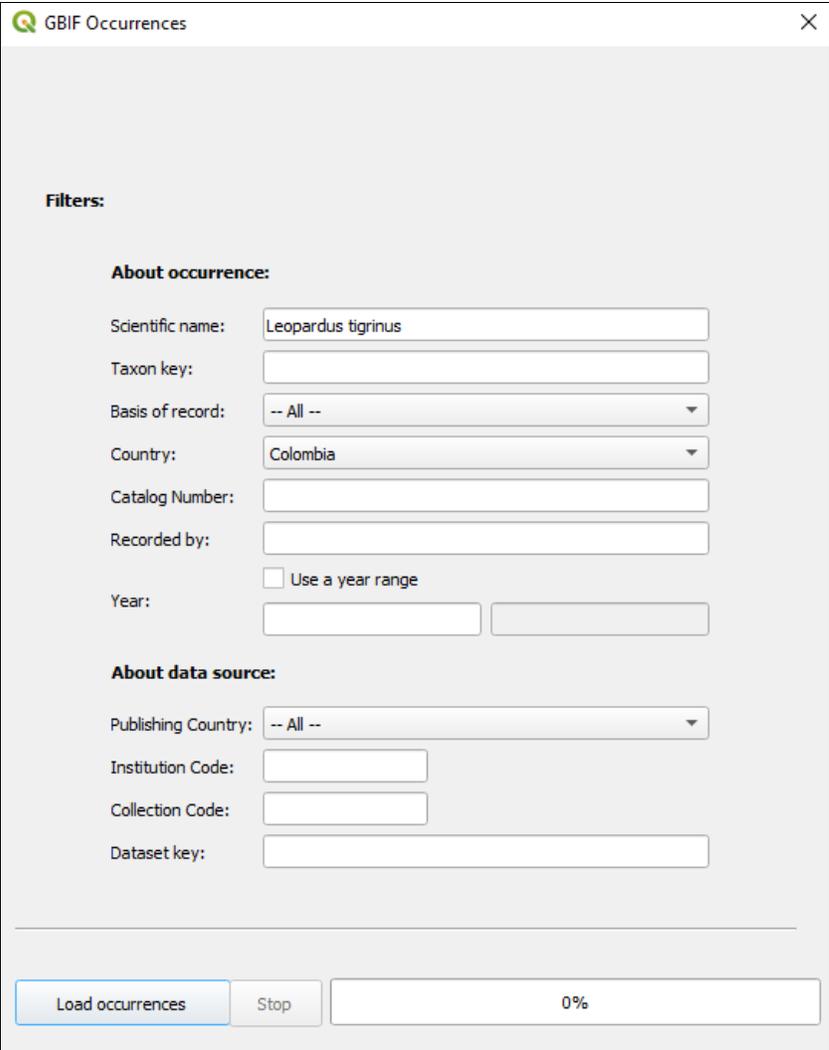
Recursos e Insumos	Descripción	Distribución potencial actual	Distribución Futura	Fuente de Datos
Software Maxent 3.4.4	Modelamiento	X	X	<a href="https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent">https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent</a>
QGIS 3.28	Visualización y descarga datos de Ocurrencia	X	X	
ArcGIS Pro-3.0	Generación de Salidas gráficas	X	X	
SIB - Sistema de información sobre Biodiversidad de Colombia	Datos de Ocurrencia	X	X	<a href="https://biodiversidad.co/">https://biodiversidad.co/</a>
Sistema Global de Información sobre Biodiversidad-GBIF	Datos de Ocurrencia	X	X	<a href="https://www.gbif.org/es/">https://www.gbif.org/es/</a>
WorldClim	(19) variables bioclimáticas resolución espacial 30 segundos	X		<a href="https://www.worldclim.org/">https://www.worldclim.org/</a>
WorldClim	Proyecciones climáticas futuras reducidas de la CMIP6 2041-2060		X	<a href="https://www.worldclim.org/">https://www.worldclim.org/</a>

Fuente: Elaboración propia, 2023

## Obtención datos de ocurrencia con herramienta SIG

Para la obtención de datos de ocurrencia se instaló en el Software QGIS 3.28 el plugin de Global Biodiversity Information Facility (GBIF), una vez descargado se configuró para poder obtener datos de la especie *Leopardus tigrinus* solamente para Colombia, como se muestra a continuación.

Figura 4 Descarga datos de ocurrencia



**GBIF Occurrences**

**Filters:**

**About occurrence:**

Scientific name:

Taxon key:

Basis of record:

Country:

Catalog Number:

Recorded by:

Year:  Use a year range

**About data source:**

Publishing Country:

Institution Code:

Collection Code:

Dataset key:

Fuente: QGIS 3.28, GBIF 2023

La cantidad de datos de ocurrencia inicialmente descargados fueron 515 registros. Una vez descargados los datos se procedió a guardarlos en formato *Comma Separated Value* (CSV), para posteriormente procesarlos, así mismo se descargó de la página del SiB Colombia los registros biológicos para la misma especie, esto con el ánimo de poder comparar y complementar los datos descargados del plugin de GBIF.

### **Preprocesamiento de datos y coordenadas**

Dadas las características de la herramienta Maxent 3.4.4 respecto a extensión y lectura de los archivos, se debe guardar en extensión CSV de Excel. Así mismo, y teniendo en cuenta que estos registros descargados vienen con un estándar Darwin Core (DwC) o (EML) se procedió a realizar filtro y limpieza, dejando únicamente columnas denominadas “scientificName” y coordenadas de las columnas “decimalLongitude” y “decimalLatitude”, en Datum WGS 84.

Es importante anotar que los datos anteriormente fueron filtrados para verificar que los registros tuvieran la información suficiente del estándar que garantizara una calidad aceptable de los mismos, en la siguiente tabla se presenta la estructura de columnas y filas de estos datos de entrada para el cargue.

*Tabla 2 Forma de datos de ocurrencia*

SCIENTIFICNAME	DECIMALLONGITUDE	DECIMALLATITUDE
<i>Leopardus tigrinus</i>	-75.766662	5.520686
<i>Leopardus tigrinus</i>	-76.219	1.6765
<i>Leopardus tigrinus</i>	-76.18813	1.69008

Nota: En la anterior tabla se presenta una muestra de la forma de tabulación de los datos de ocurrencia, fuente: elaboración propia.

Los datos de ocurrencia resultantes del ejercicio de limpieza y selección fueron 246 datos para todo el país con los cuales se realizó el modelo.

### **Variables abióticas bioclimáticas**

En la Tabla 3 presentan las variables bioclimáticas descargadas de la página WorldClim, (2022) para la versión 2, las cuales se usan en el modelado de distribución de especies de manera común, estas variables presentan tendencias anuales. La resolución espacial es de 30 segundos (1 Km<sup>2</sup>), la temporalidad es del año 1970 al año 2000 para el modelo actual.

*Tabla 3 Variables bioclimáticas actuales*

<b>ID</b>	<b>Variabes</b>
BIO1	Temperatura Media Anual
BIO2	Intervalo medio diurno (media mensual (temperatura máxima - temperatura mínima))
BIO3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) (×100)
BIO4	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar ×100)
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO7	Rango Anual de Temperatura (BIO5-BIO6)
BIO8	Temperatura media del trimestre más húmedo
BIO9	Temperatura Media del Cuarto Más Seco
BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido
BIO11	Temperatura media del trimestre más frío
BIO12	Precipitación Anual

<b>ID</b>	<b>Variables</b>
BIO13	Precipitación del mes más lluvioso
BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO15	Estacionalidad de la Precipitación (Coeficiente de Variación)
BIO16	Precipitación del trimestre más húmedo
BIO17	Precipitación del Trimestre Más Seco
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido
BIO19	Precipitación del trimestre más frío

*Fuente: WorldClim, (2022).*

### **Condiciones de las variables futuras**

En cuanto a las variables seleccionadas con temporalidad de 2041 a 2060 de las capas bajo escenarios de cambio climático, se obtuvieron los datos del portal WorldClim, (2022), y el modelo seleccionado de clima Global (MCG), con una resolución espacial de 30 segundos, es el modelo IPSL-CM6A-LR del conjunto de datos de la Fase 6 del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP6) del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas, estos modelos incluyen nuevas y mejores representaciones de los procesos físicos, químicos y biológicos, así como la mayor resolución, en comparación con los modelos climáticos considerados en anteriores informes de evaluación del (IPCC, 2021), frente a los escenarios (Shared Socioeconomic Pathways) SSP con los cuales se realizó el modelo se presentan en la siguiente tabla con la descripción de cada uno de ellos, en estas se evalúa la respuesta climática a cuatro escenarios ilustrativos que abarcan el abanico de posibles evoluciones futuras de las fuerzas impulsoras antropogénicas del cambio climático que se mencionan en las publicaciones científicas, comienzan en 2015 e incluyen escenarios (IPCC, 2021).

*Tabla 4 Escenarios a mediano plazo 2041-2060*

	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Emisiones GEI	Muy bajas	Intermedias	Altas	Muy Altas
Emisiones de CO2	Niveles variables de emisiones netas negativas de CO	Se mantienen en torno a los niveles actuales hasta mediados de siglo	Se duplican con respecto a los niveles actuales para 2100 y 2050	

Fuente: Adaptado de (IPCC, 2021)

## **Preproceso**

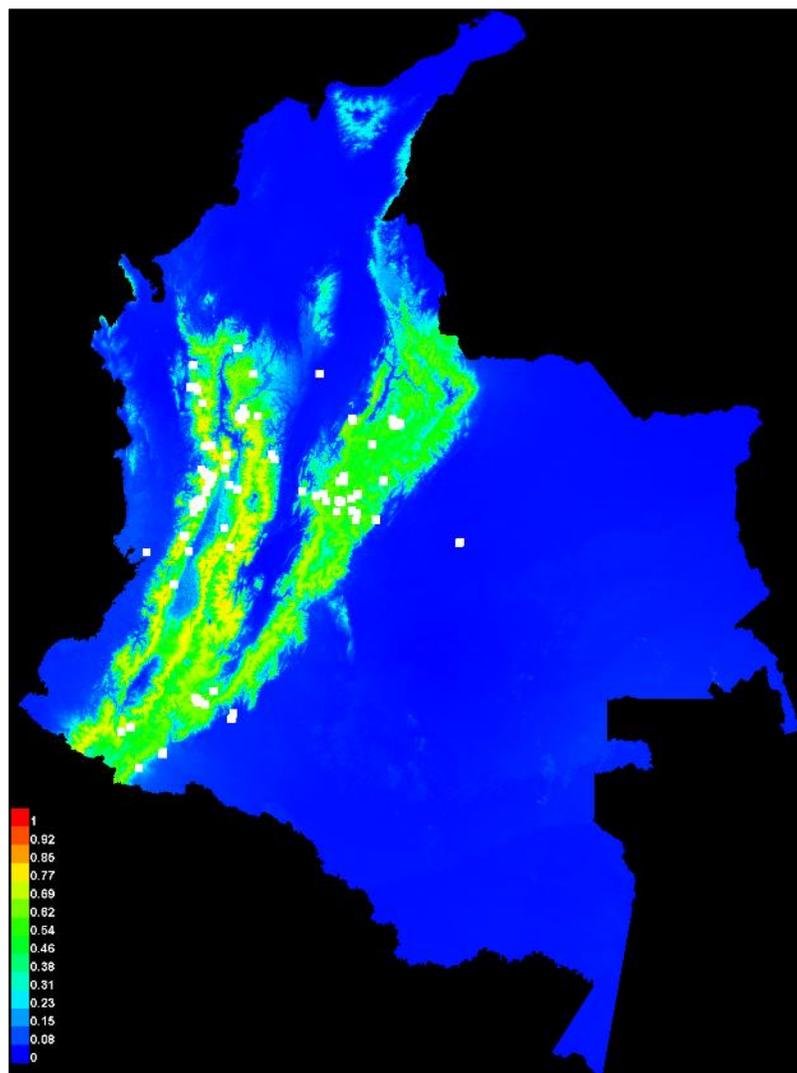
### ***Georreferenciación de los ráster de la zona de estudio.***

Dado que los ráster anteriormente descargados no cuentan con información de referencia espacial, es necesario georreferenciarlos en un sistema de coordenadas de mapa conocidas y proyectadas ESRI 2022. Se realiza el recorte de cada una de las variables bioclimáticas con el Shapefile del área de estudio descargado de la página del DANE 2022, con los límites territoriales continentales, luego se exporta en formato ASCII el cual es el formato que acopla en software Manxent 3.4.4, así mismos se realiza la proyección de cada una de ella en WGS 84.

### ***Análisis exploratorio en condiciones actuales***

Se realizó un primer análisis inicial exploratorio para poder ver cuáles de las 19 variables influían más en la distribución de la especie, para esto se realizó una primera corrida con 10 réplicas que nos permitiera ajustar el modelo y con una configuración que muestre como resultado el porcentaje de participación de cada una de estas variables, así como el uso de estadística descriptiva y un análisis de correlación en el software R estudio que nos permitiera ver cuáles de las variables tenían mayor correlación entre ellas. En la siguiente figura 5 se muestra el resultado del mapa de distribución actual en un Análisis Exploratorio.

*Figura 5 Resultado distribución potencial actual*

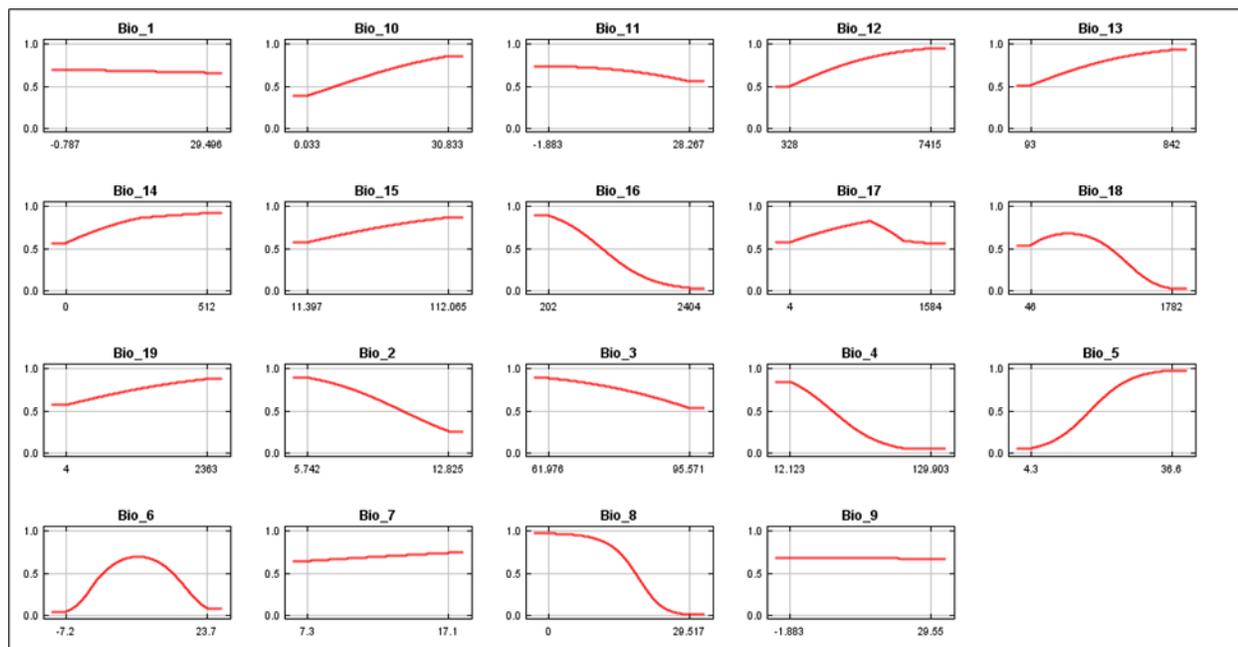


Nota: En la Figura 5, se muestra la distribución potencial actual con valores de 0 probabilidad a 1, que indica la mayor probabilidad cuando tiende a 1, esto con todas las variables.

Fuente: Resultados de la modelación, 2023.

En la Figura 6 se muestra las curvas en relación de cómo cada variable ambiental afecta las predicciones de Maxent 3.4.4. La curva muestra cómo cambia la probabilidad esperada de participación a medida que cambia cada variable ambiental.

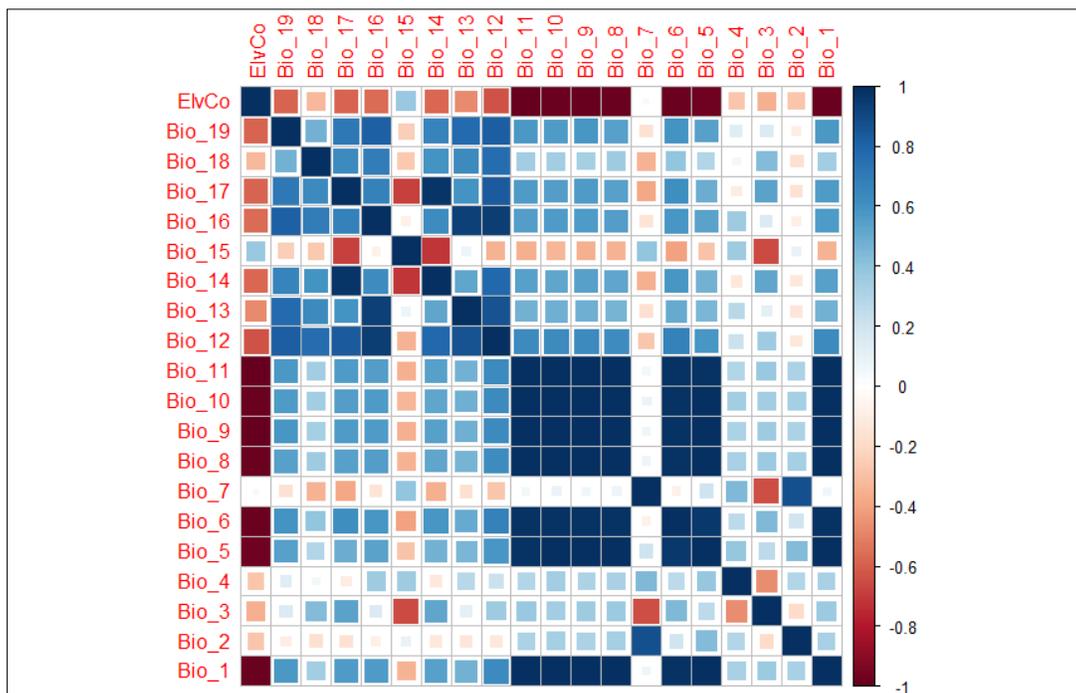
Figura 6 Resultado curvas de las variables análisis exploratorio



Fuente: Resultado modelo análisis exploratorio, 2023.

En la Figura 7 se puede observar el resultado de la correlación de las variables aportando con la selección para este modelo, así como el porcentaje de participación de cada una de ellas, producto del análisis inicial exploratorio.

Figura 7 Correlación de variables



Nota: En la figura 7 se muestran las correlaciones de las variables, las cuales tienden a un color azul y en escala de 0 a 1, lo cual indica su correlación, en escala de 0 a -1 una correlación negativa.

Fuente: elaboración propia, 2023

Producto del análisis exploratorio inicial y la tabla de participación de cada variable en el modelo, se presenta el resultado de la selección de las variables ambientales para este modelo.

Figura 8 Selección de variables modelo actual potencial

Variable Bioclimática		Percent contribution	Permutation importance
Temperatura Media Anual	BIO 1	5.7	0.4
Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar $\times 100$ )	BIO 4	3.7	12.2
Temperatura máxima del mes más cálido	BIO 5	4.7	0.1
Rango Anual de Temperatura (BIO5-BIO6)	BIO 7	0.5	0.5

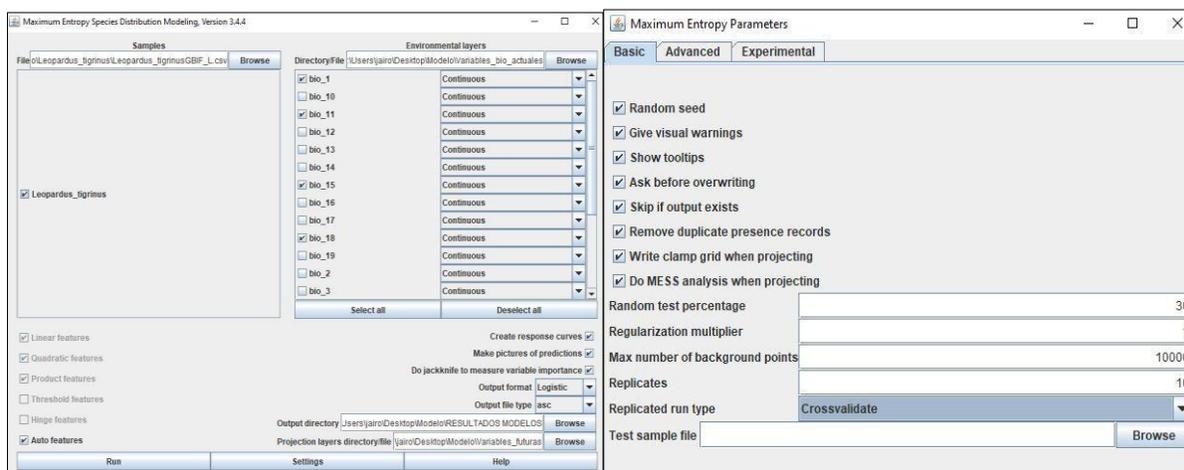
Variable Bioclimática		Percent contribution	Permutation importance
Temperatura Media del Cuarto Más Seco	BIO 9	4.9	2.3
Temperatura media del trimestre más frío	BIO 11	30.8	1
Estacionalidad de la Precipitación (Coeficiente de Variación)	BIO 15	1.5	4.9
Precipitación del trimestre más cálido	BIO 18	1.1	4.7

Fuente: elaboración propia, 2023.

## Procesamiento

El procesamiento consiste en la modelación con las variables seleccionadas, la limpieza y filtrado de los datos de ocurrencia, en la configuración del modelo se determinaron para los datos de entrenamiento un 70% del total de los datos y un 30% de validación, esto con 10 repeticiones al modelo, eligiendo el resultado del AUC con mejor valor por encima del 0.90

Figura 9 Configuración Maxent 3.4.4



Fuente: Maxent 3.4.4, 2023

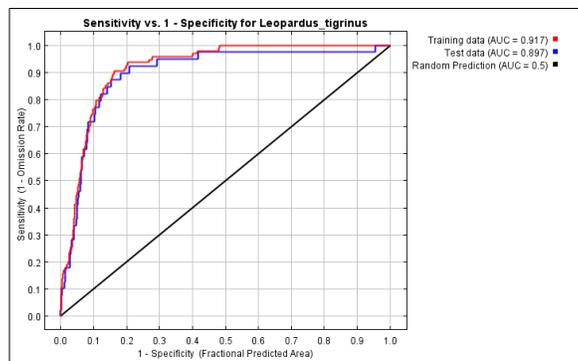
En la Figura 9 se muestra el formato de salida del modelo seleccionado (Logistic), el cual se refiere a la probabilidad de ocurrencia que el modelo asigna a cada celda de la cuadrícula en la que se realiza la predicción. Es decir, para cada celda en la cuadrícula, se calcula la probabilidad

de que la especie esté presente en esa ubicación, y esta probabilidad se presenta en una escala de 0 a 1, donde 0 indica una probabilidad muy baja y 1 indica una probabilidad muy alta.

Otra de las configuraciones importantes del modelo es el método de validación el cual es crossvalidate o validación cruzada. Este método implica ejecutar varias iteraciones del proceso, donde cada iteración implica dividir los datos en conjuntos de entrenamiento y prueba, ajustar el modelo a los datos de entrenamiento y evaluar la precisión del modelo con los datos de prueba. En cada iteración de la validación cruzada, se realiza una replicación del proceso de modelado y se obtienen estadísticas de precisión para cada replicación. Luego, se promedian las estadísticas de precisión de todas las replicaciones para obtener una medida general de la precisión del modelo.

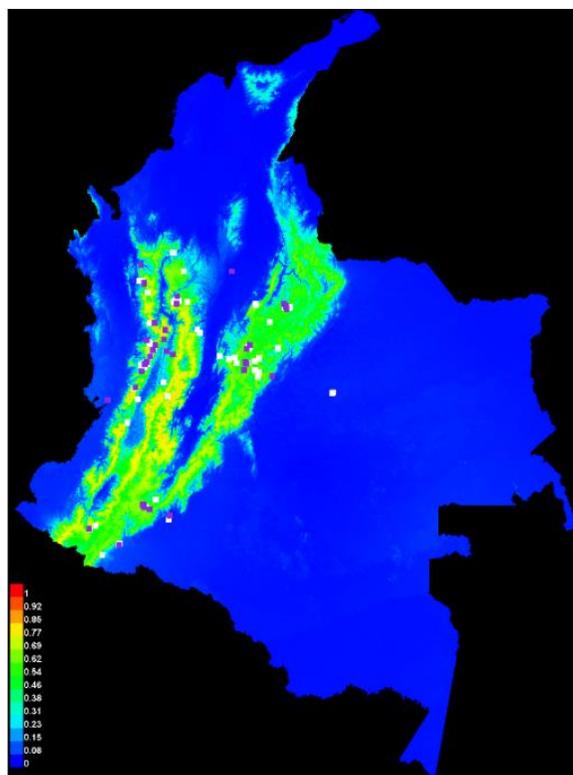
La Figura 10 muestra la curva de características operativas del receptor (ROC) o área bajo la curva de la prueba, en color azul se muestran los datos de validación del 30% del total, en el cual se hicieron 10 réplicas a fin de normalizar el modelo, en color rojo los datos de entrenamiento 70% del total, y en la siguiente figura se muestra la localización de los datos de validación con un (AUC) aceptables.

Figura 10 Validación curva de características operativas del receptor (ROC) Tendencia valores área bajo la curva



En la siguiente figura 11 se muestran la localización de los datos de validación utilizados por el modelo, estos se muestran en color morado y de geometría punto.

Figura 11 Localización datos de validación



Fuente: Resultado del modelo, 2023

## Resultados y Discusión

El presente trabajo busca generar una hipótesis de distribución de la especie en condiciones actuales y futuras, periodo 2041-2060 modelando los escenarios (ssp1-2.6, ssp2-5.4, ssp3-7.0 y ssp5-.85) para Colombia del *Leopardos triginus* o comúnmente conocido como “Tigrillo Lanudo”, especie que actualmente se encuentra en estado vulnerable (VU) para Colombia de acuerdo con la resolución 1712 del (MADS). Con esto se busca contribuir al entendimiento, la conservación y la divulgación de esta especie, la cual es muy importante para el equilibrio de los ecosistemas, como lo son páramos y bosques altoandinos, sin embargo, para Colombia y debido la falta de información de su distribución se hacen importantes para su gestión estos modelos, pensando en los potenciales cambios futuros resultado del cambio climático.

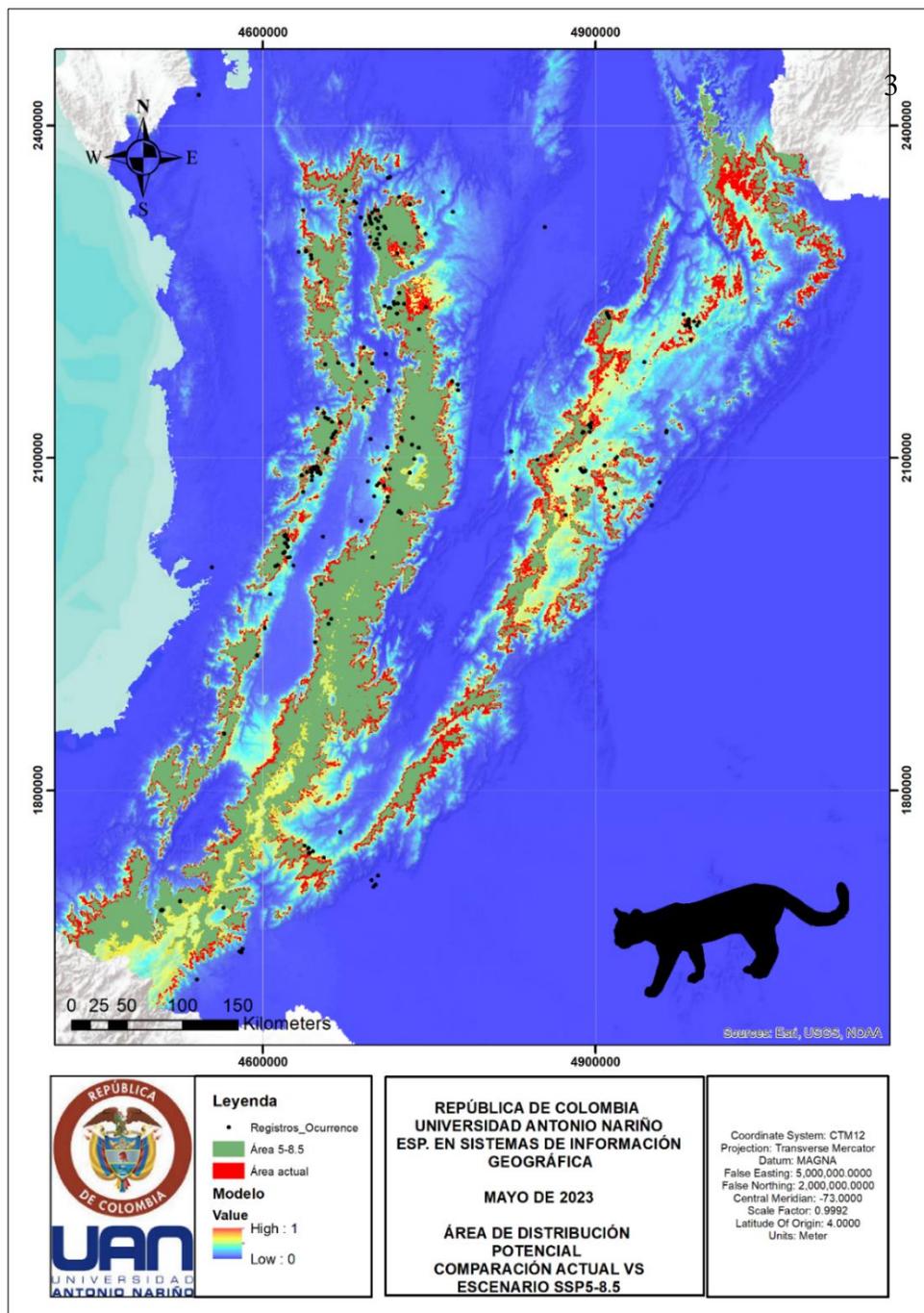
Para este modelo se tomaron datos de registros de presencia filtrados solamente para los últimos 20 años, aumentando así la confiabilidad de estos que en su mayoría son producto de foto trapeó, así mismo la mayoría de los datos cumplen con los mínimos para el estándar (DwC), se eliminaron los registros duplicados, y finalmente se configuro el software para que los datos de esta muestra sean divididos en datos de entrenamiento en 70% y los datos de validación en un 30%. Frente a las variables ambientales se seleccionaron a partir de un análisis estadístico de correlación y de importancia de cada una en relación con los datos de ocurrencia, en un análisis exploratorio inicial, así mismo se realizaron 10 réplicas seleccionando el modelo con el mejor (AUC), para la reclasificación de las salidas se tomaron valores de probabilidad de ocurrencia igual o mayores al 0.7 asignando a cada celda una predicción en escala de 0 a 1, donde 0 indica una probabilidad muy baja y 1 indica una probabilidad muy alta, dicha esta introducción a continuación se presentan los resultados del modelamiento en condiciones actuales y futuras.

## **Resultados a nivel de Colombia**

A partir de los resultados del modelo frente a la hipótesis de distribución y de acuerdo con la configuración y reclasificación de la probabilidad superior o igual al 0.7, se realizó el postproceso con herramientas SIG para la generación de salidas gráficas, así como de tablas de porcentajes de áreas estimadas para cada uno de los escenarios futuros en el periodo de 2041-2060, así mismo un análisis comparativo y de tendencia en términos de área y porcentaje.

En la siguiente figura 12 se presenta el resumen de las salidas gráficas actuales y futuras, así como la Figura 13 en donde se presentan los porcentajes y áreas resultantes. En numerales posteriores se muestran cada uno de los resultados específicamente para cada escenario.

Figura 12 Área actual y resultante bajo escenario ssp5-8.5



Nota. En color rojo se presenta el área de distribución actual versus el área de distribución futura en el escenario más difícil, y la localización de los registros. Fuente: Elaboración propia, 2023.

Este resultado de pérdida de cobertura de distribución principalmente en la cordillera oriental nos podría indicar que en el escenario más difícil de acuerdo con lo expuesto por O'Neill et al. (2017), frente a un futuro altamente dependiente de los combustibles fósiles, así como con desigualdades ambientales y sociales, en este escenario de un futuro posible la energías renovables se desarrollan de manera limitada, tal como lo indica Rodríguez et al. (2013), existe una alta probabilidad que los andes colombianos sufran alguna presión dada su variabilidad interregional, así como su contexto sociopolítico para abordar estrategias de gestión, (González-Maya & Payán, 2011) el *Leopardos tigrinus* se distribuye principalmente en lo alto de los Andes en tres regiones montañosas del país. Colombia contiene el 23% (287.720 km<sup>2</sup>) de los ecosistemas andinos, lo que la convierte en un área de conservación crítica para las especies dentro de su territorio.

Dado que el *Leopardus tigrinus* es una especie con categoría de amenaza vulnerable de acuerdo con al UICN (Thomas et al., 2004) en el artículo Extinction risk from climate change indica una probabilidad que estas especies categorizadas puedan extinguirse en escenarios de cambio climático con un máximo esperado.

A continuación, se presenta un cuadro síntesis con las áreas y su representación en porcentaje para cada escenario.

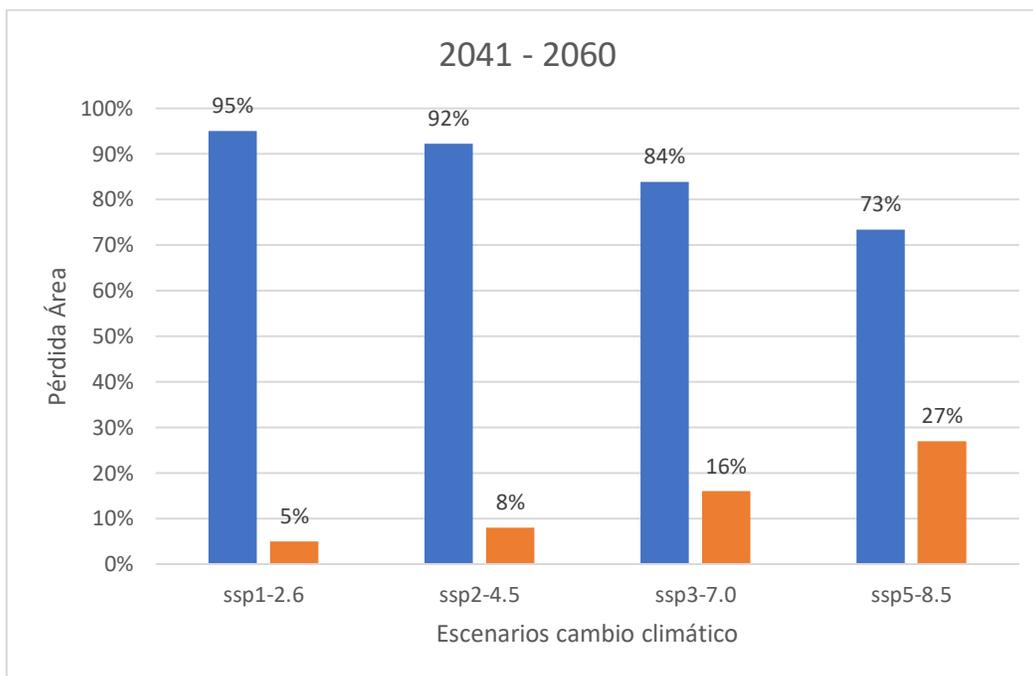
*Tabla 5 Porcentajes y área estimada para cada uno de los escenarios.*

Escenario	Actual	ssp1-2.6	ssp2-4.5	ssp3-7.0	ssp5-8.5
Área (Ha)	6'117.725.26	5'811.868.95	5'642.953.144	5'130.919.70	4'493.432.71
%	100	95	92	84	73

Nota: El área estimada se encuentra en hectáreas (Ha). Fuente: Elaboración propia

En la siguiente Figura 13 se muestra un gráfico de barras de las áreas frente a cada uno de los escenarios.

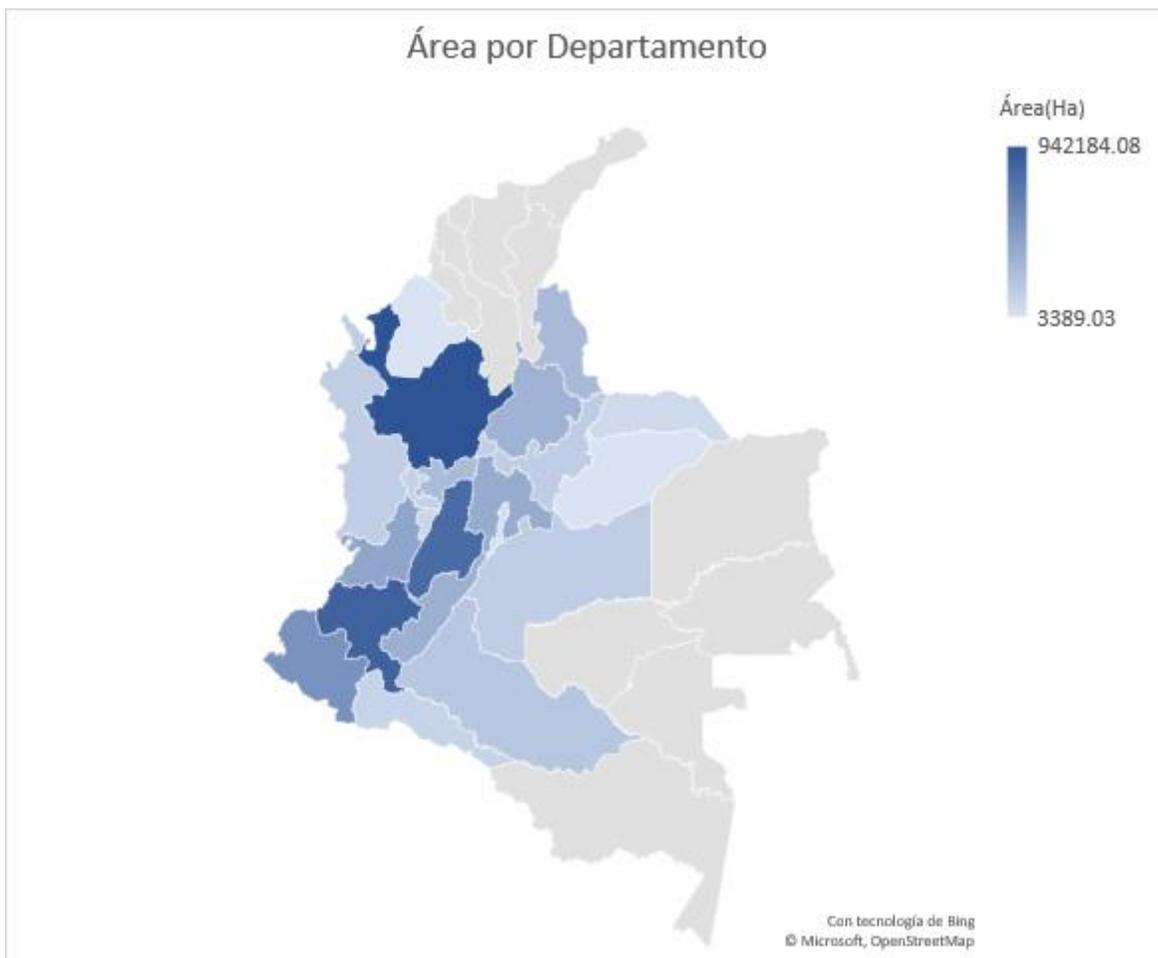
*Figura 13 Resultado de porcentajes de área en comparación al área actual modelada.*



Nota: En color azul se muestra el resultado del área estimada para cada escenario y en color naranja la pérdida de área en cada uno de ellos. Fuente: elaboración propia, 2023.

Otro de los resultados importantes se presenta en la siguiente gráfica y sirve para poder entender en cuales de los departamentos presenta mayor o menor porcentaje de área versus el área actual modelada.

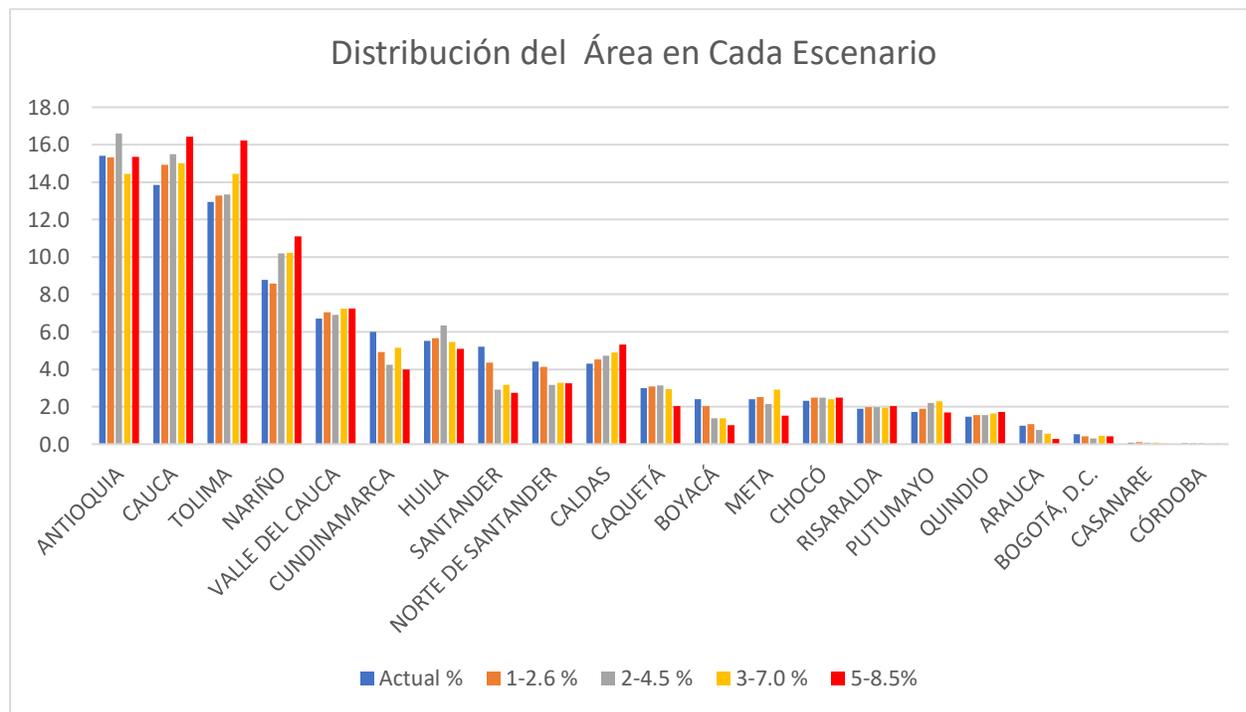
Figura 14 Distribución de % por Departamentos



Nota: los departamentos con algún contraste de color azul son aquellos que presentan área de distribución potencial actual, aumentando en área el color más oscuro. Fuente: elaboración propia, 2023

En la siguiente figura se muestra los porcentajes para cada uno de los escenarios

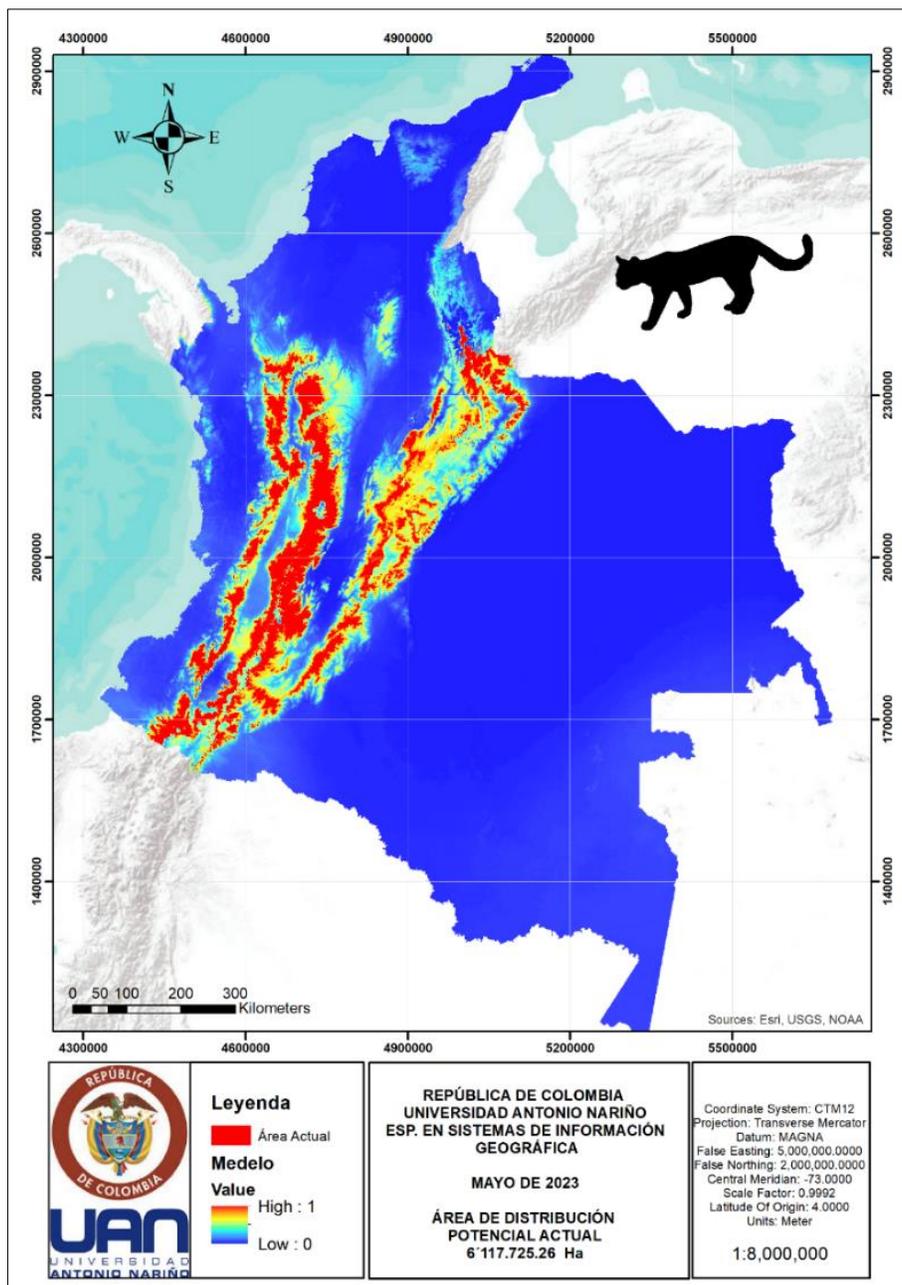
Figura 15 Porcentajes de áreas para cada departamento



### Escenario actual

De acuerdo con el resultado del modelo potencial de distribución en condiciones actuales, se obtiene un área estimada de 6'117.725.26 hectáreas distribuidas en los departamentos presentados en La Figura 15, en la siguiente Figura 16 se muestra una probabilidad mayor o igual al 0.7 de ocurrencia en escala de 0 a 1 en donde se ve una distribución en las tres cordilleras andinas.

Figura 16 Resultado Modelo Actual



Nota: En color rojo se sobrepone el resultado de la modelación con probabilidad de 0.7 o mayor, así mismo se muestra el resultado del modelo con la probabilidad de 0 a 1 en colores que van desde el azul al rojo. Fuente elaboración propia, 2023.

En la siguiente Tabla 6 las variables que más influyeron en el modelo en condiciones actuales son:

*Tabla 6 Porcentaje de contribución modelo actual*

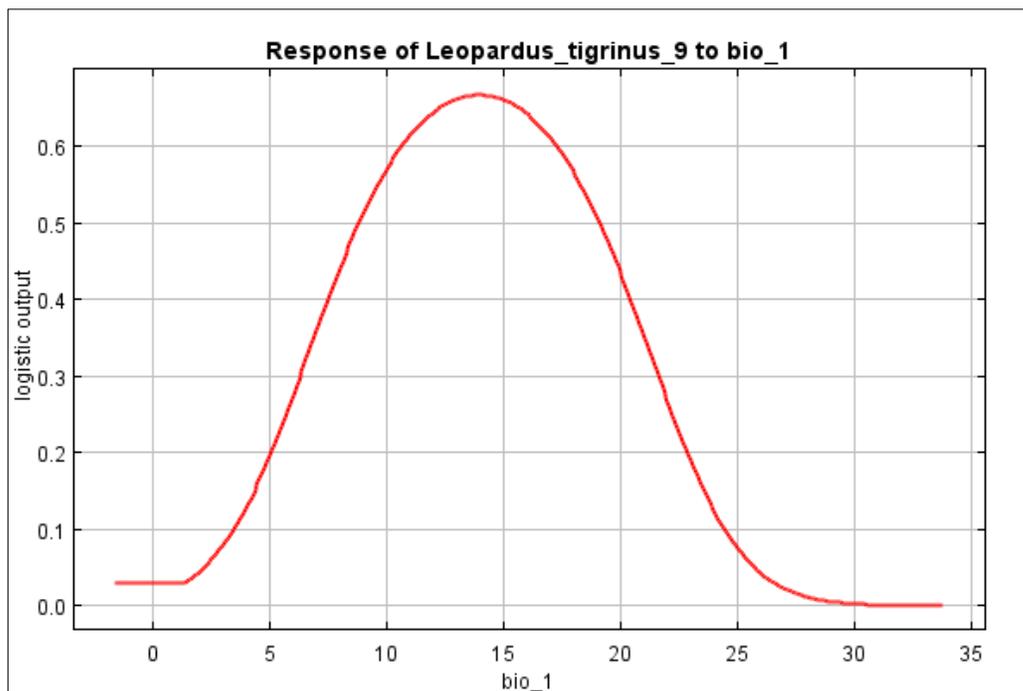
<b>Variable</b>	<b>Porcentaje de contribución</b>
BIO9 - Precipitación estacionalidad	30
BIO1 - Temperatura media anual	26.3
BIO11 - Temp. media del trimestre más frío	13.3
BIO4 - Temp. estacionalidad trimestral	11.2
BIO5 - Precipitación media anual	9.2
BIO7 - Precipitación más húmeda del trimestre más húmedo	3.7
BIO15 - Precipitación estacionalidad	3.2
BIO18 - Precipitación del trimestre más seco	3

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Las variables que presentan mayor porcentaje de distribución potencial actual son, la precipitación estacional (Bio9) la cual presenta la relación entre la desviación estándar de las precipitaciones mensuales promedio y la precipitación anual promedio, otra de las variables es la variable (Bio1) temperatura anual promedio representada en grados Celsius. Es importante decir que estas variables no son las únicas y más importantes, pero para este análisis se toman como las de mayor relevancia en el aparente efecto de la distribución.

En la Figura 17 se muestra la curva de respuesta de la temperatura, que nos indica la preferencia en la distribución de la especie frente a esta variable.

Figura 17 Curva de respuesta variable temperatura



En la Figura 17 se muestra que la variable temperatura media presenta probabilidad mayor por encima del 14°C. y empieza a disminuir en temperaturas media superiores a 19°C, esto puede indicar una variable condicional directa para su potencial distribución, y en un escenario de cambio de cambio climático puede ser una limitante para la misma. Fuente, Resultado modelo, 2023.

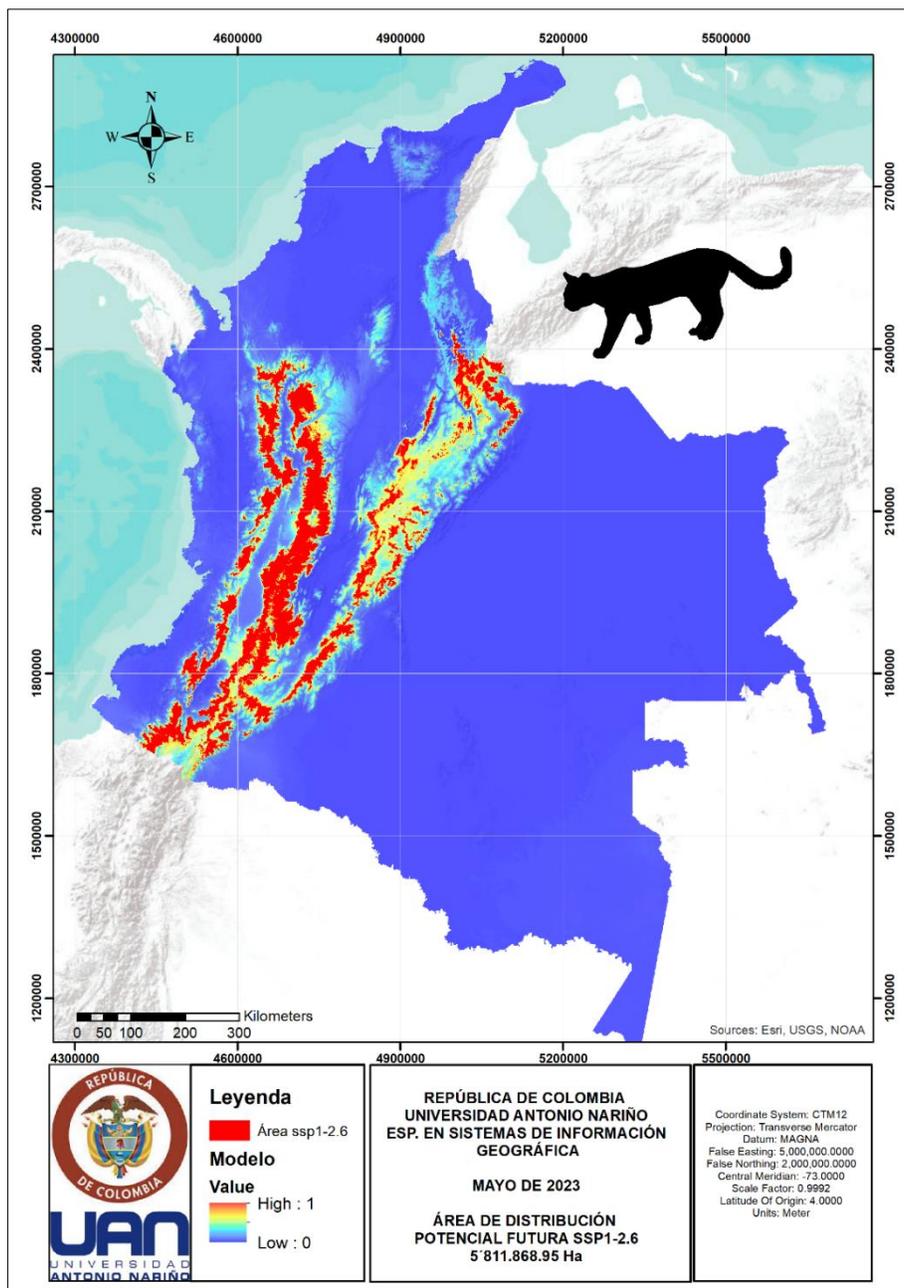
### Escenario futuro ssp1-2.6

Para este escenario se obtiene una pérdida de 5% de su hábitat en comparación con el área actual y los departamentos en donde se obtiene una mayor pérdida es Santander con un área 64.807.21 Ha, Cundinamarca 80.929.37 Ha. Mientras los departamentos que tienen una aparente ganancia son el Cauca con un 1.08 % que representa un área estimada de 20.659 Ha, esta ganancia puede ser debida a una aparente resiliencia en comparación a departamentos como Cundinamarca la cual

tiene mayor huella humana, en general ese 5% representa un área estimada de pérdida de 304.745.31 Ha.

En la Figura 18 se muestra el mapa de distribución potencial bajo este escenario ssp 1-2.6 con una probabilidad igual o mayor de 0.7 de presencia, en él se muestra una disminución mínima en la cordillera occidental y central en comparación al ssp 5-8.5.

Figura 18 Modelo distribución escenario ssp1-2.6



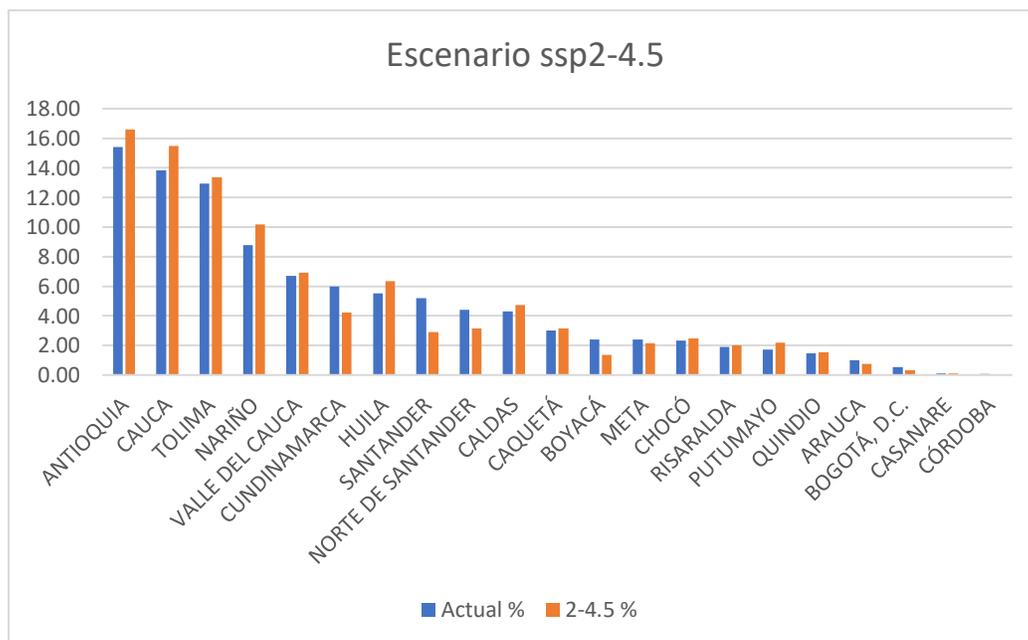
Nota: En color rojo se presenta la reclasificación y selección de probabilidad igual o mayor al 0.7 para el escenario ssp1-2.6, traslapada sobre el modelo completo. Fuente: Elaboración propia, 2023.

### Escenario futuro ssp2-4.5

En este escenario se presenta una disminución del área de un 8% como se muestra en la Figura 13, y los departamentos en los cuales se tiene una mayor pérdida son los departamentos de Santander con un área de 154.666.83 Ha, que representa una pérdida del 2.3% del 5.2% total que representa el departamento a nivel Colombia, Cundinamarca con una pérdida significativa 366.804.89 Ha, Norte de Santander con una pérdida de 90.585.11 Ha, Boyacá con 69.965.68 Ha.

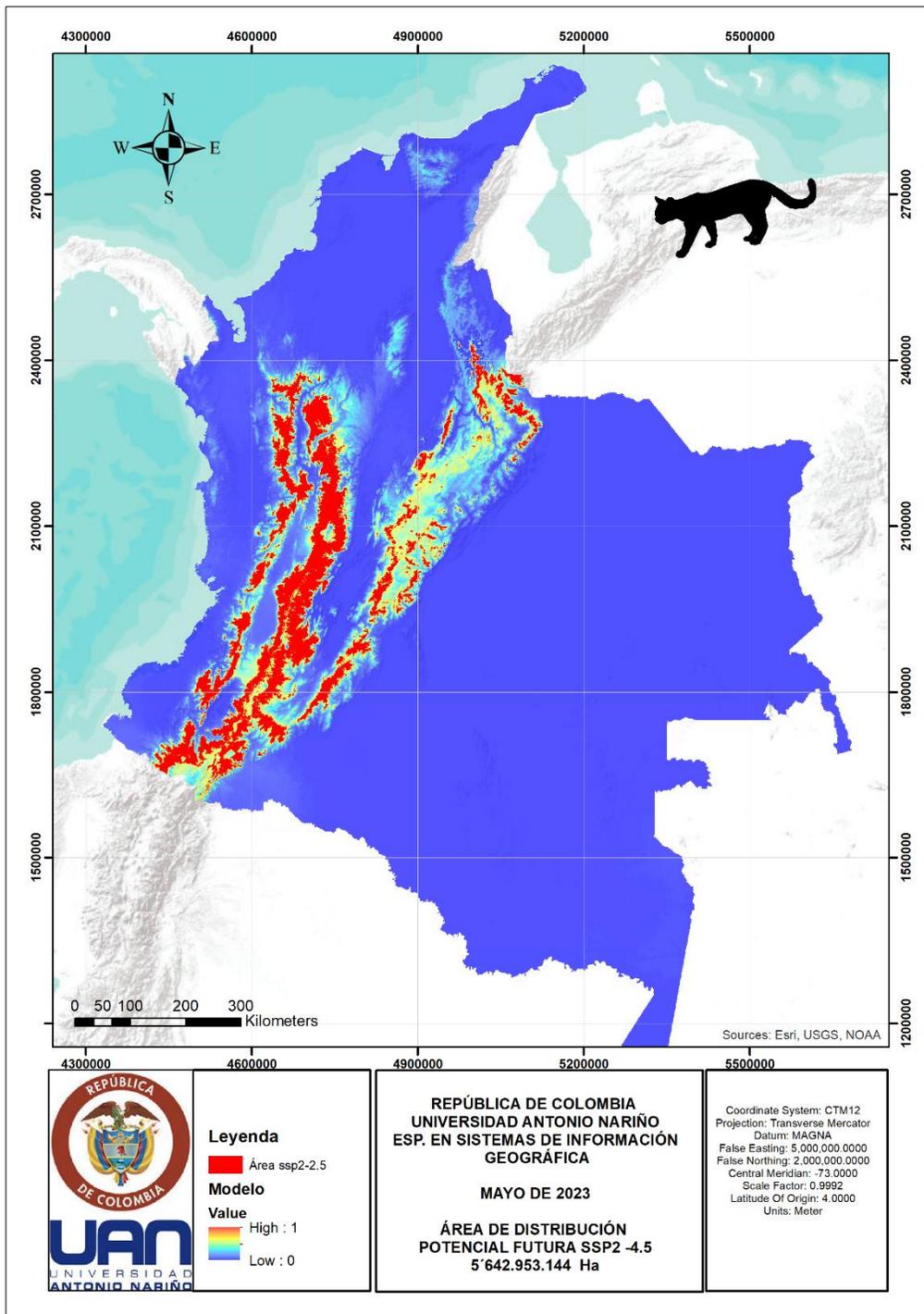
Por otra parte, hay departamentos que aparentemente para este escenario ganan área como los son los departamentos de Antioquia, Cauca, Nariño y Huila. En general ese 8% de pérdida de área de distribución para este escenario representa un área estimada de 474.772.12 Ha, en la Figura 19 se muestra el comportamiento de ganancia y pérdida en porcentaje para cada departamento, y en la Figura 20 la salida gráfica con el área resultante.

Figura 19 Porcentajes por departamento escenario ssp2-4.5



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura 20 Mapa de distribución potencial escenario ssp2-4.5



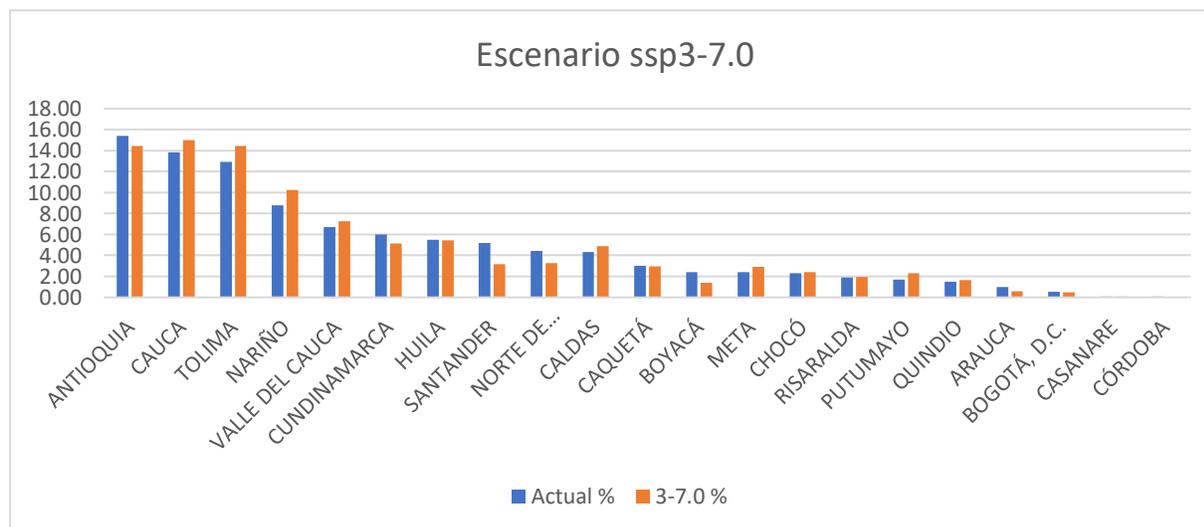
Fuente: Elaboración propia, 2023.

### Escenario futuro ssp3-7.0

En este escenario se presenta una disminución del 16% en comparación con el escenario actual como se muestra en la Figura 13, los departamentos que más presentan pérdida para este escenario son Antioquia 201.821.25 Ha, Santander 155.084.15 Ha, Cundinamarca 102.316.87 Ha, Boyacá 75.816.95 Ha, para Casanare y Córdoba estos 2 últimos perderían 3.605 Ha, de las 9.180.84 que tiene en el modelo actual, quedando con una distribución muy baja para la probabilidad de área modelada, lo cual indicaría pérdida de presencia potencial para estos departamentos de manera significativa. Por otra parte, los departamentos que ganarían área aparentemente bajo este escenario son los de Cauca, Tolima, Nariño, Valle del Cauca y Caldas.

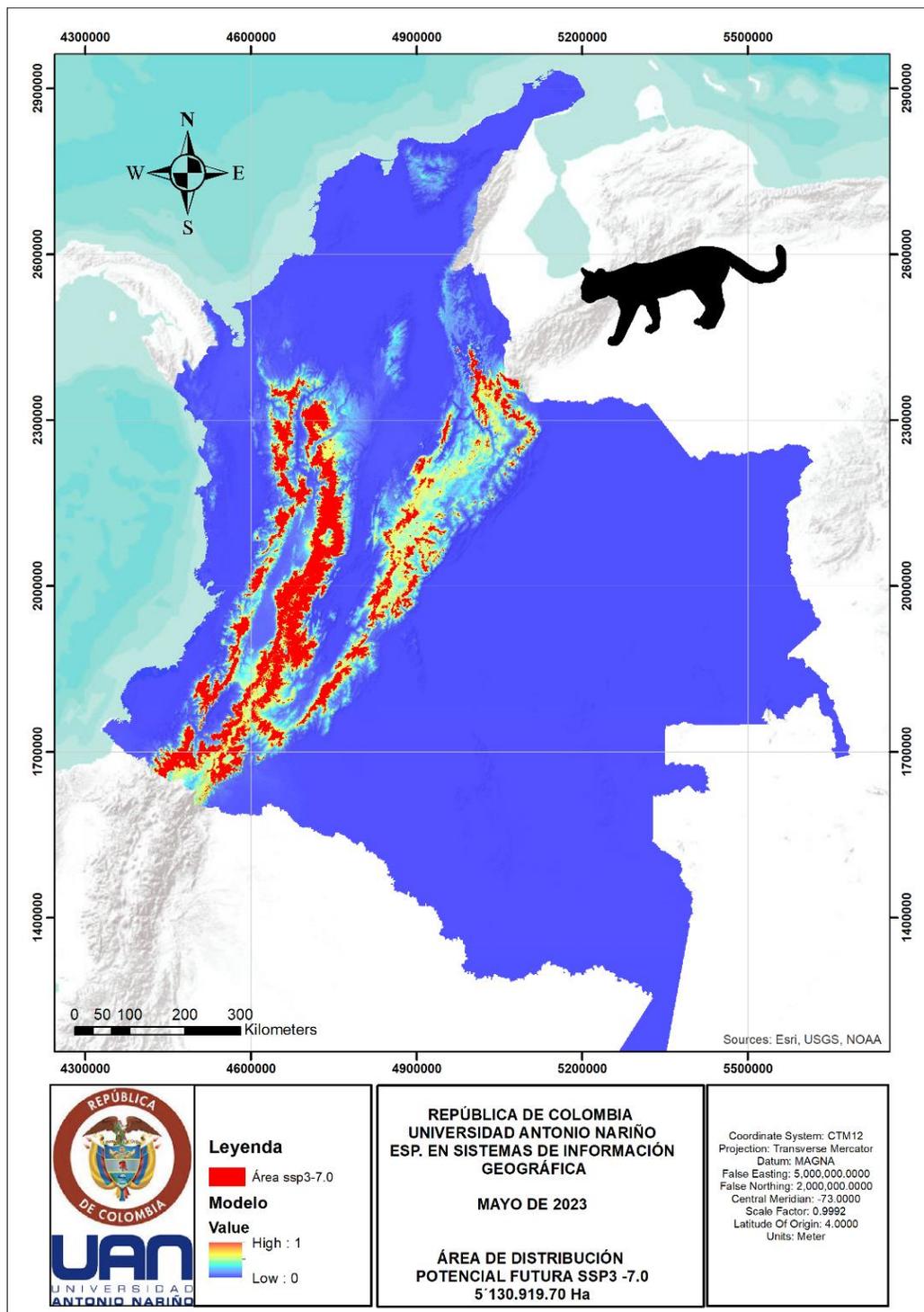
En la Figura 21 se puede observar el comportamiento en porcentajes para los departamentos, en la figura siguiente se muestra el mapa de distribución bajo este escenario.

Figura 21 Porcentajes para el escenario ssp3.7.0 por departamento



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura 22 Mapa escenario ssp3-7.0



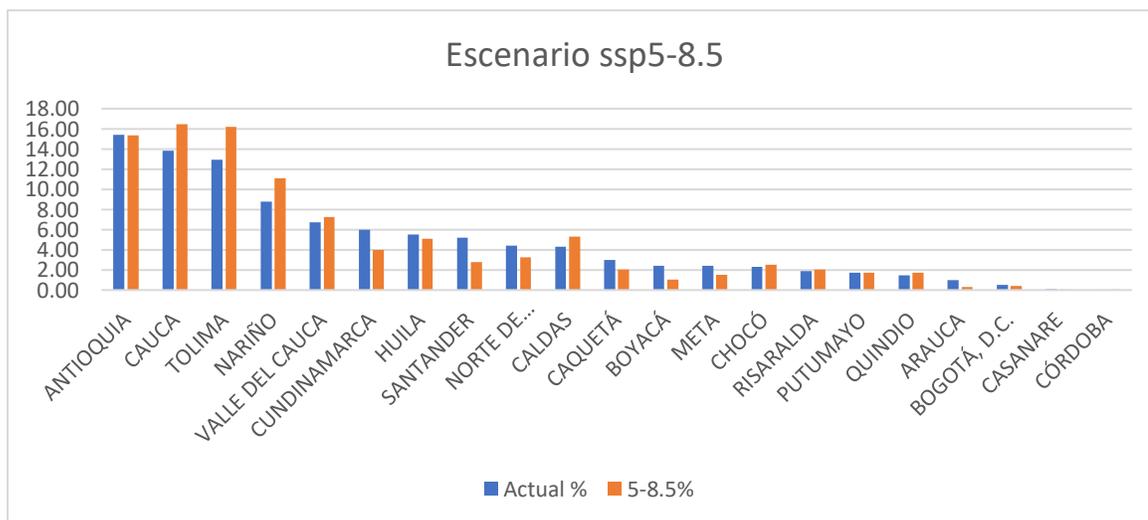
Fuente: Elaboración propia, 2023.

### Escenario futuro ssp5-8.5

Este es el escenario que más tiene pérdida de área con un porcentaje del 27% que representa una pérdida aproximada de 1'624.292.56 Ha, de las 6'117.725.26 Ha que actualmente presenta según el modelo con áreas solo para probabilidades mayores o iguales 0.7, siendo este el peor de los escenarios. Los departamentos que más perderían área para este escenario son los departamentos de Cundinamarca 187.062.85 Ha, Santander 194.576.51 Ha, Norte de Santander 122.932.47 Ha, Boyacá 101.477.72 Ha, Meta 78.728.63 Ha, Bogotá 13.738.40 Ha, Casanare 5.410.28 Ha, y Córdoba 3.002.73 Ha. Los departamentos que según el modelo ganarían área son Cauca, Tolima, Nariño y Valle del Cauca.

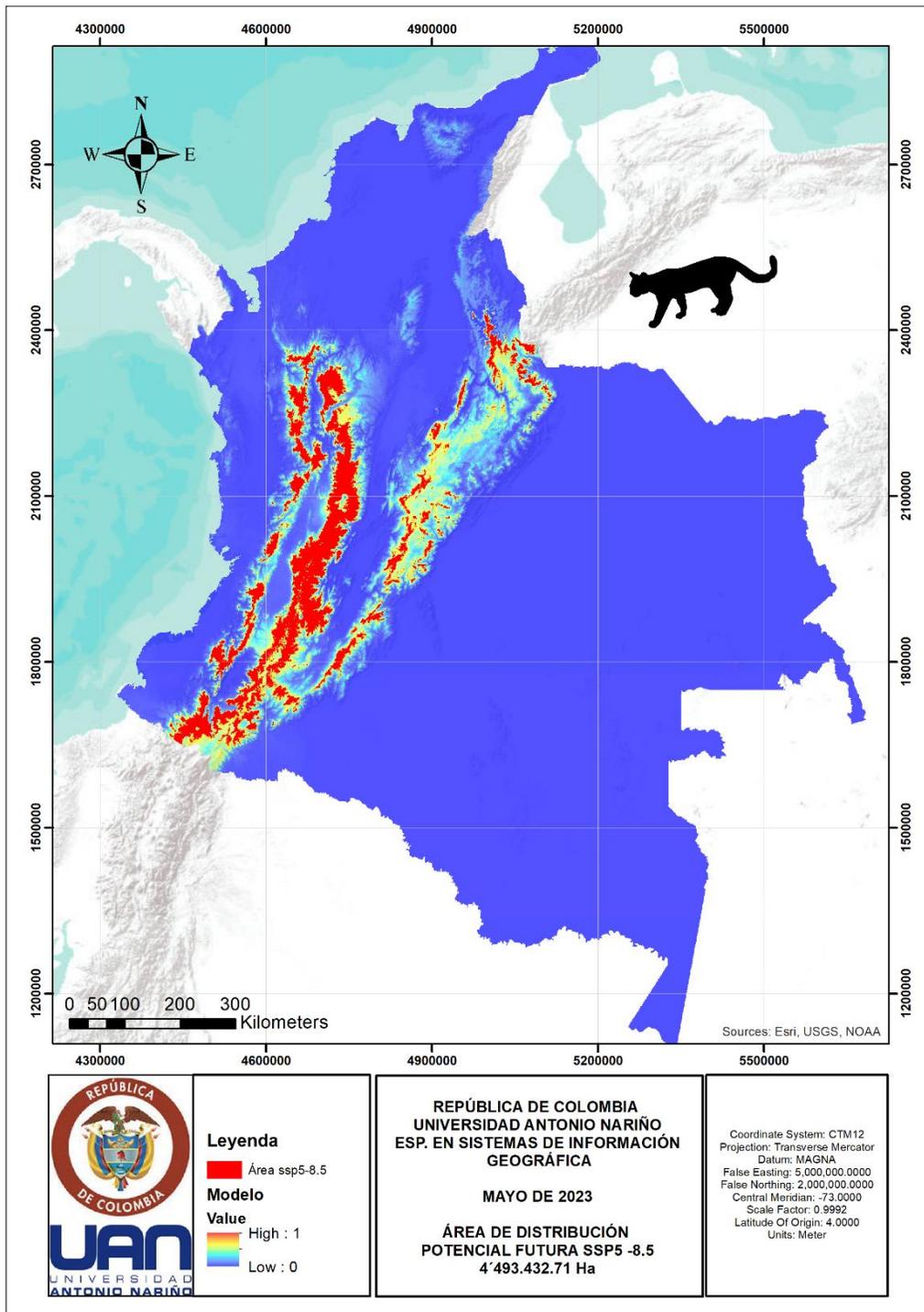
En la siguiente Figura 23 se muestra el comparativo en porcentaje para todos los departamentos, y en la Figura 24 se muestra el resultado del modelamiento para este escenario.

Figura 23 Porcentajes para el escenario ssp5-8.5



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura 24 Mapa escenario ssp5-8.5



Fuente: Elaboración propia, 2023

### Localización de los registros de ocurrencia

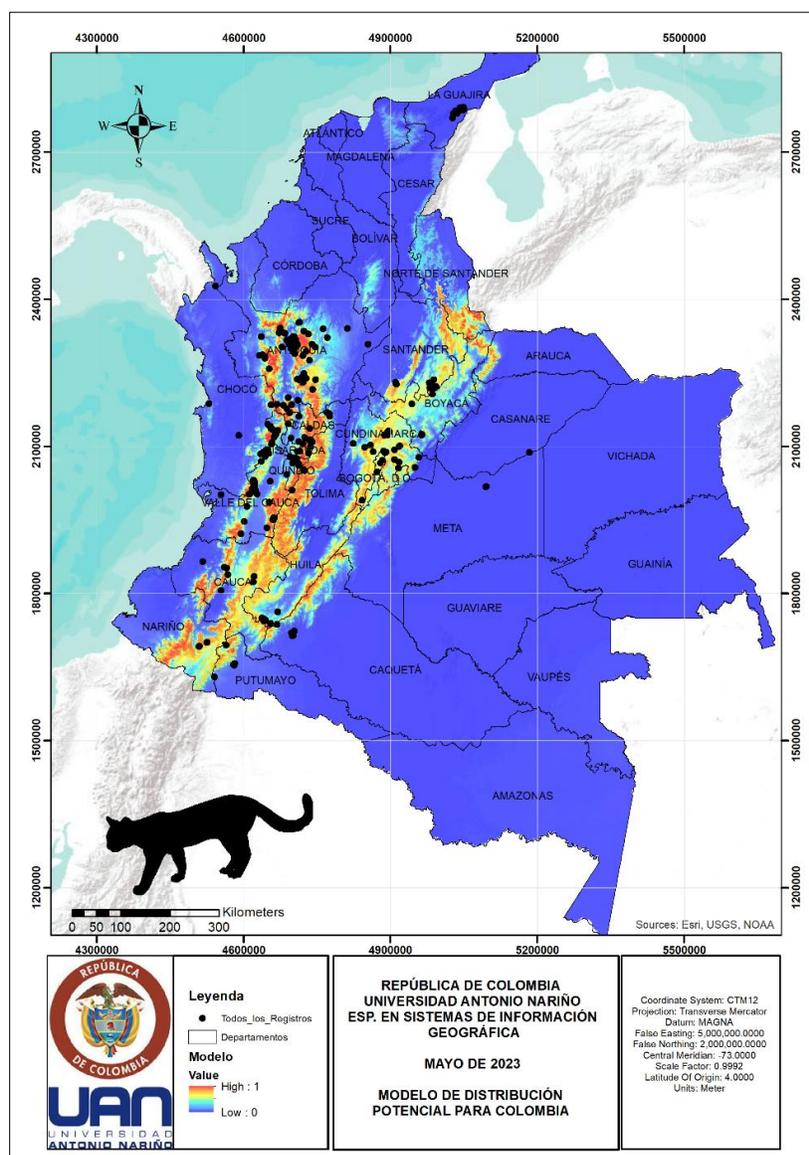
Este último mapa de la Figura 25 pretende mostrar la ubicación de todos los registros que se encuentran en las bases de datos de GBIF, así como en el Sistema de Biodiversidad de Colombia (SiB), muestra el modelo completo de probabilidad de 0 a 1, es importante anotar que muchos de los registros se encuentran en los límites o por fuera de la mayor probabilidad de ocurrencia, por esta razón y de acuerdo con la reclasificación con probabilidades de 0.7 o mayor planteada en este trabajo. Se ve necesidad de realizar mayores esfuerzos en la recolección de datos de presencia de esta especie, ya que como muestra. La Tabla 7 la cantidad de datos de ocurrencia para los últimos 20 años para cada departamento, y con los que el modelo trabajo, se puede ver que no hubo una homogeneidad espacial en cuanto a los datos para este caso de cámaras trampa.

*Tabla 7 Datos de ocurrencia por departamento*

Número de Registros	Departamento
64	Antioquia
53	Valle del cauca
38	Cundinamarca
15	Caldas
13	Risaralda
13	Santander
12	Huila
7	Nariño
6	Quindío
5	Boyacá
5	Putumayo
4	Bogotá, D.C

Número de Registros	Departamento
4	Caquetá
4	Tolima
2	Chocó
1	Cauca

Figura 26 Localización de Todos los Registros



Fuente: Elaboración propia, 2023.

## Conclusiones

- El área actual de distribución potencial con probabilidad mayor o igual al 0.7 es de 6'117.725.3 hectáreas y se distribuye en las 3 cordilleras, mostrando una mayor área de presencia potencial en la central y occidental respectivamente.
- Se realizó el modelamiento actual y futuro para el periodo 2041 a 2060, este último escenario ssp5-8.5 muestra un cambio significativo en el futuro, de tendencia decreciente para la presencia del *Leopardus tigrinus*, por ende, para su supervivencia y reproducción se podrá ver afectada en departamentos especialmente de la cordillera oriental, llegando incluso a desaparecer su distribución en alguno de ellos . Con las condiciones modeladas para el escenario ssp1-2.6, resulta una pérdida de área potencial del 5%, para el ssp2-4.5 pérdida de 8%, para el escenario ssp3-7.0 un 16% y finalmente reiterando el peor escenario ssp5-8.5 un 27% lo que equivale a una pérdida aproximada de 1'624.292.56 Ha, de las 6'117.725.26 Ha que actualmente presenta.
- Los departamentos que presenta pérdida común y continua en los 4 escenarios son Cundinamarca, Bogotá, Santander, Norte de Santander, Boyacá, estos en la región andina, Meta, Casanare y Arauca para la región Orinoquia, y Córdoba para la región caribe.
- Los departamentos que se mantienen en cuanto a las áreas de acuerdo con las variables bioclimáticas modeladas para las especies son Antioquia, Huila, Caquetá, Chocó y Risaralda, mientras que los departamentos que aparentemente ganarían área para los 4 escenarios son Cauca, Tolima, Nariño, Valle del Cauca, Putumayo y Quindío.

- El resultado del modelo muestra una disminución considerable en el escenario más fuerte y en un periodo de menos de 20 años del área de distribución potencial, aumentando así la vulnerabilidad de la especie frente al cambio climático y demás actores y/o presiones que afectan su distribución en términos de hábitat.
- El resultado de este modelo para los departamentos de Cundinamarca, Santander, Boyacá y Norte de Santander muestran datos preocupantes dada la falta de corredores y conectividad que pueden ser importantes para la supervivencia y persistencia de la especie, especialmente bajo escenarios de cambio climático, así como en la tendencia actual de pérdidas por deforestación y alteración de ecosistemas como páramos y bosques andinos para la cordillera oriental especialmente.
- El resultado de las modelaciones del presente trabajo puede servir para la integración con los diferentes modelos y estudios alrededor de la conservación y conocimiento *del Leopardos tigrinus* para Colombia.

## **Recomendaciones**

Se recomienda realizar más modelamientos alrededor de las condiciones del hábitat y distribución de la especie, así como de sus potenciales presas, coberturas naturales donde habita y demás que puedan mostrar patrones de distribución más detalladas.

Se recomienda la búsqueda e integración de más datos de ocurrencia en estudios de impacto ambiental en los diferentes proyectos que requieren licenciamiento en el país ya que aún no se han integrado al sistema de biodiversidad de Colombia en su totalidad.

Se recomienda realizar estudios más detallados del estado de presencia de la especie para los departamentos de Santander, Norte de Santander, Cundinamarca y Boyacá, dado que en estos es donde existe un mayor potencial de afectación en escenarios de cambio climático.

Se recomienda realizar el modelamiento con variables tales como distribución de presas, cercanía a carreteras, centros poblados, áreas del sistema de áreas protegidas, etc... con el fin de analizar las áreas más idóneas para propuestas de áreas de conservación como bancos de hábitat.

## Referencias Bibliográficas

- Arias A., Botero S. & Sánchez J., (2014). *Leopardus tigrinus*. En *Mamíferos silvestres del Valle de Aburrá. Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Corantioquia*. Universidad de Antioquia, Medellín. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4451.1769>
- Castillo L., (2016). *Plan de conservación de los felinos silvestres del territorio CAR*. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, Bogotá, Colombia. <https://sie.car.gov.co/bitstream/handle/20.500.11786/35787/CAR%201294.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ceballos, N., Valejo, A., & Hernández-Camacho, J., (2017). *An evaluation of the potential distribution and habitat preferences of the oncilla Leopardus tigrinus (Carnivora: Felidae) in Colombia*. *Revista de Biología Tropical*, 65(2), 716-727.
- Corporación Regional de Cundinamarca (2019). *Plan de Manejo Y Conservación de La Oncilla (Leopardus tigrinus) para la Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca CAR*. 49 p. Bogotá, Colombia.
- Departamento Nacional de Estadísticas (DANE), (05-2023). *División administrativa\_shapefile*. <https://www.dane.gov.co/files/geoportal-provisional/index.html>
- Ebi, K. L., Hallegatte, S., Kram, T., Arnell, N. W., Carter, T. R., Edmonds, J., Kriegler, E., Mathur, R., O'Neill, B. C., Riahi, K., Winkler, H., van Vuuren, D. P., & Zwickel, T. (2014). *A new scenario framework for climate change research: Background, process, and future directions*. *Climatic Change*, 122(3), 363–372. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0912-3>
- GBIF.org (05-2023) *Descarga de Registros de GBIF* <https://doi.org/10.15468/dl.example-donotcite>

Gil, G., (2017). *Modelos de distribución y su aplicación en la conservación de mamíferos terrestres sudamericanos* [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Madrid] Biblos-e Archivo. <https://repositorio.uam.es/handle/10486/681434>

González et al., (2022). Spotting what's important: Priority areas, connectivity, and conservation of the Northern Tiger Cat (*Leopardus tigrinus*) in Colombia. *PloS One*, 17(9), e0273750. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0273750>

González-Maya, J. F., Zárrate-Charry, D. A., Arias-Alzate, A., Lemus-Mejía, L., Hurtado-Moreno, A. P., Vargas-Gómez, M. G., Cárdenas, T. A., Mallarino, V., & Schipper, J. (2022). Spotting what's important: Priority areas, connectivity, and conservation of the Northern Tiger Cat (*Leopardus tigrinus*) in Colombia. *PloS One*, 17(9), e0273750. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0273750>

González-Maya, J., & Payán, E., (2011). *Distribución geográfica de la oncilla (leopardus tigrinus) en Colombia e implicaciones para su conservación*. *Revista Latinoamericana de Conservación*, 2(1), 51–59. [https://www.researchgate.net/publication/233399304\\_Distribucion\\_geografica\\_de\\_la\\_Oncilla\\_leopardus\\_tigrinus\\_en\\_Colombia\\_e\\_implicaciones\\_para\\_su\\_conservacion](https://www.researchgate.net/publication/233399304_Distribucion_geografica_de_la_Oncilla_leopardus_tigrinus_en_Colombia_e_implicaciones_para_su_conservacion)

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), (2007). *Cambio climático 2007, Informe de síntesis*. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), (2018). *IPCC, 2018:*

Anexo I: Glosario [Matthews. 21(1), 1–9. <http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203>

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), (2021). *Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: Una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles*. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2011(48), 61–79. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022011000100005>

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH), (05-2023). *Plataforma de BioModelos*. <http://biomodelos.humboldt.org.co/>

Lobo, D., Vaca, M. & Yáñez-Cajo, D., (2015). *Aplicación del modelamiento de distribución de *Bradypus variegatus*, para la conservación del nicho ecológico*. *Boletín Técnico 12, Serie Zoológica 10-11*: 44-55.  
<http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/21416/1/2015.%20Yanez%20et%20al%20Aplicaci%c3%b3n%20del%20modelamiento%20de%20distribuci%c3%b3n.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, (2017). *Resolución 1912” Por la cual se establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera que se encuentran en el territorio nacional, y se dictan otras disposiciones”* <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/resolucion-1912-de-2017.pdf>

Naciones Unidas, (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

O’Neill, B., Kriegler, E., Ebi, K., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D. S., van Ruijven, B. J., van Vuuren, D. P., Birkmann, J., Kok, K., Levy, M., & Solecki, W. (2017). *The roads*

*ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. Global Environmental Change, 42, 169–180.*

<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004>

Oliveira, (2017). *Taxonomic revision of the tigrina Leopardus tigrinus (Schreber, 1775) species group (carnivora, felidae). Papeis Avulsos de Zoologia, 57(19), 231–264.*

<https://doi.org/10.11606/0031-1049.2017.57.19>

Ortiz, D. & Ortiz, J., (2020). *Modelado de Distribución Geográfica del Oso Andino Bajo Escenarios de Cambio Climático En Colombia*. [Tesis de Especialización, Universidad Antonio Nariño] Repositorio UAN. <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/2147>

Payan, E. & Oliveira, T., (2016). *Leopardus tigrinus, Northern Tiger Cat. The IUCN Red list of Threatened Species 2016. 1-16.*

[https://www.researchgate.net/publication/309458314\\_Leopardus\\_tigrinus\\_Northern\\_Tiger\\_Cat](https://www.researchgate.net/publication/309458314_Leopardus_tigrinus_Northern_Tiger_Cat)

Payan, E., (2011). *Distribución geográfica de la Oncilla (Leopardus tigrinus ) en Colombia e implicaciones para su conservación*. Artículo original distribución geográfica de la oncilla ( leopardus tigrinus ) en Colombia e implicaciones para su conservación.

[https://www.researchgate.net/publication/233399304\\_Distribucion\\_geografica\\_de\\_la\\_Oncilla\\_la\\_Leopardus\\_tigrinus\\_en\\_Colombia\\_e\\_implicaciones\\_para\\_su\\_conservacion](https://www.researchgate.net/publication/233399304_Distribucion_geografica_de_la_Oncilla_la_Leopardus_tigrinus_en_Colombia_e_implicaciones_para_su_conservacion)

Payán, E., y Soto, C., (2012). *Los Felinos de Colombia*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Panthera Colombia.

Pliscoff, P. y 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.* Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/153328>

QGIS.org, (05-2023). *QGIS Geographic Information System.* QGIS Association.

<http://www.qgis.org>

R Core Team (2023). *R: A language and environment for statistical computing.* Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>

Rodríguez, N., Armenteras-Pascual, D., & Alumbremos, J., (2013). Land use and land cover change in the Colombian Andes: Dynamics and future scenarios. *Journal of Land Use Science*, 8(2), 154–174. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2011.650228>

Rozo, D., (2020). *Colombia: un país altamente vulnerable al cambio climático.*

<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/47942/COLOMBIA%3a%20UN%20PA%20ALTAMENTE%20VULNERABLE%20AL%20CAMBIO%20CLIM%20C3%8dS%20ITICO?sequence=7&isAllowed=y>

Schreber, (1774). *I: Ἐγῶσις Ἡ Ὀιδῆ.* *Gedichte*, 8–19. <https://doi.org/10.1515/9783050064161.8>

SiB Colombia (2023) *Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia.* Recuperado de:

<https://biodiversidad.co/>

Steven J. Phillips, Miroslav Dudík, Robert E. Schapire. [Internet] *Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1).* Available from url:

[http://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/) . Accessed on 2023-6-26.

Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., & Erasmus, B. F. N. (2004). Lecture 13 Thomas (2004). *Extinction Risk from Climate Change,*

145–148.

Torres, R., Jayat, J.P. & Pacheco, S. (2013) *Modelling potential impacts of climate change on the bioclimatic envelope and conservation of the Maned Wolf (Chrysocyon brachyurus)*.

Mamm Biol 78, 41–49 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2012.04.008>

Uribe, E., (2015). *El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina. El Cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina.*

[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39855/S1501295\\_en.pdf?sequence=](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39855/S1501295_en.pdf?sequence=)

1

## Anexos

- Mapa Área de Distribución Potencial Actual
- Mapa Área de Distribución Potencial Futura ssp1-2.6
- Mapa Área de Distribución Potencial Futura ssp2-4.5
- Mapa Área de Distribución Potencial Futura ssp3-7.0
- Mapa Área de Distribución Potencial Futura ssp5-8.5