

**Modelado de distribución geográfica del oso andino bajo escenarios de cambio climático en Colombia**

Diego Ortiz Hernández & Jhon Fredy Ortiz

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Ambiental e Ingeniería Civil  
Especialización en Sistemas de Información Geográfica  
Bogotá, D.C.  
18 de junio de 2020

**Modelado de Distribución Geográfica del Oso Andino Bajo Escenarios de Cambio  
Climático En Colombia**

Diego Ortiz Hernández & Jhon Fredy Ortiz

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

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Ambiental e Ingeniería Civil  
Especialización en Sistemas de Información Geográfica  
Director: Dr. Andrés Felipe Carvajal Vanegas  
Bogotá, D.C.  
18 de junio de 2020

## **Dedicatoria**

Dedicado a todos los seres indefensos que se ven afectados por nuestras actividades antrópicas, en especial a *Tremarctos ornatus*, actor principal de esta investigación.

## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios, mi madre Marleny Caceres Cuy y hermanos, junto con Bosques Suelos y Aguas LTDA por apoyarme para culminar esta etapa de formación profesional y personal.

Jhon Ortiz.

Agradezco a mis padres Alfonso Ortiz Calderón y Noemí Hernández Hernández y familiares, pilar fundamental el cual me sirvió como apoyo y modelo a seguir durante toda mi trayectoria, su apoyo incondicional fue indispensable para formarme como persona, utilizando la paciencia, sabiduría y disciplina como motor para seguir adelante día a día.

Diego Ortiz.

## Resumen

El oso andino (*Tremarctos ornatus*), es el único ser vivo representante de la subfamilia *Tremarctinae*, su hábitat está constituido por los bosques presentes en la cadena montañosa de los países suramericanos siendo Colombia el artífice de esta investigación, presentándose desde los 500 hasta incluso zonas superiores a los 4.000msnm, sin embargo, a raíz de la ocupación humana en Latinoamérica se los encuentra solo desde los 2.500msnm (CAR Cundinamarca, 2018).

Pese a su gran adaptabilidad, actualmente se encuentra en estado vulnerable de acuerdo con la clasificación de la unión internacional para la conservación de la naturaleza (UICN), puesto que son sensibles a ecosistemas alterados. En Colombia, su panorama no parece ser alentador, pues sumado a los procesos de ocupación de tierra y las actividades antrópicas derivadas que modifican el entorno natural del oso de anteojos, su hábitat se presume puede estar expuesto a los efectos del cambio climático, que pueden llegar a afectar en gran medida su distribución geográfica y con ello, poner aún más en riesgo su supervivencia.

Para entender el impacto negativo del cambio climático sobre los osos de anteojos, se hizo un modelado de su hábitat actual a través del algoritmo MaxEnt, empleando 19 variables bioclimáticas actuales y 19 biovariables futuras junto a 156 registros de presencia de la especie. Se identificaron sus corredores biológicos a lo largo de las cordilleras de los Andes, donde se encontró que los ejemplares de *Tremarctos ornatus* se distribuyen en 1'374.282 hectáreas.

A partir de este estudio, se encontró una pérdida sustancial de 382.946 hectáreas del hábitat idóneo de *Tremarctos ornatus* en Colombia para el año 2050.

**Palabras clave:** *Tremarctos ornatus*, escenarios de cambio climático, pérdida de hábitat, MaxEnt, WorldClim.

## Abstract

The Andean bear (*Tremarctos ornatus*), is the only living being representative of the Tremarctinae subfamily, its habitat is constituted by the forests present in the mountain chain of those of the South American countries, Colombia being the architect of this research, appearing from 500 to even areas above 4,000 masl, however, as a result of human occupation in Latin America, they are found only from 2,500 masl (CAR Cundinamarca, 2018)

Despite their great adaptability, they are currently in a vulnerable state according to the classification of the International Union for Conservation of Nature (IUCN), since they are sensitive to altered ecosystems. In Colombia, its outlook does not seem to be encouraging, since added to the processes of land occupation and derived anthropogenic activities that modify the spectacled bear's natural environment, its habitat is presumed to be exposed to the effects of climate change, which may greatly affect its geographical distribution and thus further endanger its survival.

To understand the negative impact of climate change on spectacled bears, their current habitat was modeled using the MaxEnt algorithm, employing 19 current bioclimatic variables and 19 future biovariables along with 156 records of the species' presence. Its biological corridors were identified along the Andes Mountains, where it was found that *Tremarctos ornatus* specimens are distributed in 1'374.282 hectares.

From this study, a substantial loss of 382,946 hectares of suitable habitat for *Tremarctos ornatus* in Colombia was found by 2050.

**Keywords:** *Tremarctos ornatus*, climate change scenarios, habitat loss, MaxEnt, WorldClim.

## Tabla de Contenidos

1.	Introducción .....	1
2.	Marco Teórico y Estado Del Conocimiento.....	4
2.1.	Antecedentes.....	4
2.2.	El cambio climático .....	7
2.3.	Impacto del cambio climático sobre la biodiversidad .....	8
2.4.	Biología y ecología del oso andino.....	10
3.	Objetivos .....	12
3.1.	Objetivo General.....	12
3.2.	Objetivos Específicos .....	12
4.	Metodología .....	13
4.1.	Obtención de avistamientos.....	13
4.2.	Tratamiento de las coordenadas .....	13
4.3.	Biovariables 2019 y 2050 .....	14
4.4.	Georreferenciación. ....	15
4.5.	Exportación de información .....	17
4.6.	Estandarización de la información secundaria. ....	17
4.7.	Procesamiento y análisis de la información .....	19
5.	Resultados y discusión .....	21
5.1.	Modelado de distribución bajo escenarios de cambio climático .....	23
6.	Conclusiones .....	34
7.	Recomendaciones.....	36
8.	Bibliografía.....	37
9.	Anexos.....	44

**Lista de tablas**

Tabla 1. <i>Llenado de datos en hoja de cálculo de Excel.</i> .....	13
Tabla 2. <i>19 biovariables ambientales seleccionadas para el modelo en MaxEnt.</i> .....	14
Tabla 3. <i>Error cuadrático en la georreferenciación de imágenes Ráster.</i> .....	16
Tabla 4. <i>Coordenadas MAGNA – SIRGAS de los orígenes de proyección Gauss – Krüger, Colombia.</i> .....	18

### Lista de figuras

<i>Figura 1.</i> Imagen Ráster Georreferencia con el Shape Departamentos IGAC.....	16
<i>Figura 2.</i> Recorte Ráster Asc con Shape Departamentos de Colombia. ....	17
<i>Figura 3.</i> Conversión de ráster a Información Vectorial Tipo Polígono.....	18
<i>Figura 4</i> Herramienta Zonal Statistics as Table para transferir información ráster a vector. ....	19
<i>Figura 5.</i> Simbología para la clasificación de las áreas de hábitat. ....	20
<i>Figura 6.</i> Distribución potencial del oso de anteojos en Colombia 2019 en MaxEnt 3.3 .....	22
<i>Figura 7.</i> Distribución potencial del oso de anteojos bajo escenarios de cambio climático, 2050, Colombia.....	24
<i>Figura 8.</i> Salida gráfica Áreas de hábitat escala predictiva para Colombia año 2019. ....	26
<i>Figura 9.</i> Mapa Áreas de hábitat escala predictiva para Colombia año 2050. ....	27
<i>Figura 10.</i> Mapa Áreas de confluencia y pérdida de hábitat para el año 2019 en 2050.....	29
<i>Figura 11.</i> Áreas habitables en escala predictiva mayores a 0.46 del año 2019 y 2050. ....	30
<i>Figura 12.</i> Gráfica de hábitat confluencia en escala mayor a 0.46 del año 2019 en 2050. ....	32
<i>Figura 13.</i> Gráfica de áreas de confluencia y pérdida de áreas actuales, para el año 2050.....	33

## 1. Introducción

El oso de andino (*Tremarctos ornatus*) es el único oso endémico de los Andes, siendo uno de los megas vertebrados más amenazados de la región Andina, por tanto, es clasificado como especie vulnerable en el la Lista Roja de la UICN (Velez-Liendo & García-Rangel, 2017). Ello se debe a presiones como la deforestación, la invasión de su hábitat por la actividad humana, la caza ilegal y la falta de conocimiento sobre su importancia para los ecosistemas. A lo anterior se suma la amenaza de pérdida de hábitat por el cambio climático.

Se hace evidente, según diversos estudios, que en escenarios de cambio climático la única especie de oso nativa de sur América se enfrentará a la reducción de su hábitat drásticamente disminuyendo el número de ejemplares presente en el país (el cual no ha tenido un inventario reciente), que se estima en una cifra entre 4.000 a 8.000 ejemplares según distintas fuentes (CAR Cundinamarca, 2018). Es de vital importancia identificar sus lugares de hábitat a futuro para generar políticas y planes de acción para evitar su inminente extinción.

Unas de las limitantes importantes en este propósito en regiones donde habita el oso de anteojos y por ende Colombia, es el poco conocimiento que se tiene sobre la ubicación de esta especie, la correlación entre la condiciones propicias del hábitat, sus reportes de ubicación y distribución actual permitirían predecir en gran medida las futuras pérdidas de espacios y en consecuencia, las áreas donde podría ubicarse el oso sudamericano, además de los espacios a intervenir para amortiguar los efectos del cambio climático, puesto que desde un enfoque integral permitiría identificar algunos de los factores que hoy amenaza su sobrevivencia.

Ante esta situación problema se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo se afectará la distribución del oso de anteojos en Colombia bajo escenarios de cambio climático en la región Andina Colombiana para el año 2050?

La contribución desde el análisis espacial para el caso es pertinente, ya que este tipo de insumos se han vuelto piezas claves en el análisis integral de los escenarios presentes y futuros de la conservación de las especies (Viccaro, Cozzi, Fanelli, & Romano, 2019); a nivel global, la población de osos está gravemente amenazada por diversos factores, que van desde la misma actividad humana hasta el cambio climático, pasando por la caza ilegal y el desconocimiento de las comunidades próximas a sus áreas de influencia, sobre la importancia de su conservación (CAR Cundinamarca, 2018). De ahí que el oso andino se clasifica como “especie vulnerable” según la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (Velez-Liendo & García-Rangel, 2017); clasificación que supone “que durante los próximos 10 años sus poblaciones silvestres se reducirán hasta en un 80%, como consecuencia de la pérdida de hábitat” (Salvador, 2019). Igualmente figura en los listados Apéndice I de la Convención Internacional de Especies de Flora y Fauna Silvestre – CITES (Iriarte, Tala, Stutzin, & Trivelli, 2003) como especie en peligro de extinción, por lo que su comercialización se considera ilegal. A lo anterior se suma que el Fondo Mundial para la Vida Silvestre (WWF) y la Sociedad para la Conservación de la Vida Silvestre (WCS), contemplan al oso andino como una especie de vital interés que requiere atributos especiales para lograr conservar esta especie se requiere (WCS, 2020):

- El oso andino necesita grandes extensiones de bosque andino para sobrevivir.
- La especie requiere de hábitats específicos para su alimentación y reproducción.
- El oso andino es un bioindicador de los estados de conservación de su hábitat.

En Colombia específicamente, la situación de *T. ornatus* se enmarca dentro de esta realidad crítica, “con su entorno fragmentado, las poblaciones de osos se reducen y quedan aislados espacialmente; esto restringe su acceso a zonas críticas como sitios de cría o alimentación, lo que

agrava el problema” (Vela, Vázquez, Galindo, & Pérez, 2011); los mismos autores exponen los beneficios ecológicos de la especie, entre ellos, la dispersión de semillas al ser frugívoros, permitiendo un desplazamiento superior a 54 km; además, participan en la sucesión ecológica por su hábito de ascenso a árboles, con lo que al romper ramas crean claros que permiten la entrada de luz solar metros más abajo en el denso bosque y esta luz permite el crecimiento de individuos que compiten por esa poca luz solar en niveles bajos de bosques densos; también, es un animal polinizador nato, ya que transporta polen en su pelaje.

Por lo tanto, se hace importante adelantar acciones de protección del oso andino de todos aquellos factores que amenazan su supervivencia, como el cambio climático. Y para ello es importante tener información significativa en torno a la ubicación actual de esta especie, para esta evaluación, el año 2019, lo mismo que proyectar su localización en un escenario futuro afectado por las consecuencias del cambio climático, en este caso, el 2050. Lo anterior es el propósito que justifica la realización de la presente investigación.

## 2. Marco Teórico y Estado Del Conocimiento

El estado del conocimiento para esta investigación corresponde con una variedad consistente de estudios que permiten respaldar la correcta selección de métodos para la modelación de zonas de distribución de especies, así como soportar la alta importancia de que se adelanten estudios prospectivos para la conservación de especies con respuestas adecuadas ante el cambio climático. Asimismo, se contextualiza lo más relevante del impacto del cambio climático, el fenómeno como tal y la biología y ecología de *Tremarctos ornatus*.

### 2.1. Antecedentes

Diferentes trabajos de investigación se han realizado en torno a la incidencia del cambio climático en la distribución actual y futura de la población de especies tanto vegetales como animales, y que han utilizado la herramienta MaxEnt para sus prospectivas. La modelación ecológica en este caso se convierte en una poderosa herramienta para el planteamiento de posibles escenarios.

La distribución potencial de mamíferos en diferentes tipos de escenarios ha abordado en trabajos como:

Estudio de caso del Jaguar (*Panthera onca*) y el efecto de las actividades antrópicas en su distribución en áreas con ausencia de categorías de protección como el estado de Guerrero en México, en este trabajo se utilizó la herramienta MaxEnt para estimar la distribución potencial y los efectos del cambio climático sobre la misma, a través de esto se propone un área potencial para la protección de la especie (Cuervo-Robayo & Monroy-Vilchis, 2012).

En el estudio de Leuro (2018) se aborda el cruce de información de las capas de distribución entre el depredador y presa bajo diversos escenarios de cambio climático al estudiar el del felino *Leopardus wiedii*. En este trabajo se utilizó también la herramienta MaxEnt para la identificación

en cambios de la distribución potencial del felino y sus presas con el cambio en las variables que lo definen en escenarios de cambio climático, finalmente se utilizó el índice de Warren para la determinación del solapamiento, este estudio es útil para realizar una aproximación a la de la especie en las condiciones descritas.

En el estudio “Evaluación del nicho ambiental de *Lycalopex fulvipes* (zorro de Darwin) y la incidencia del cambio climático sobre su distribución geográfica”, utilizan la misma herramienta para la modelación del área de distribución de esta especie en Chile bajo distintos escenarios de presión (Camila, Castillo, & Samaniego, 2018).

En el estudio de la “Modelación de la distribución del oso andino *Tremarctos Ornatus* en el bosque seco de Maraón (Perú)”, se identificaron las áreas prioritarias para la investigación y conservación de la especie utilizando la herramienta MaxEnt, en una cobertura de 12.600 km<sup>2</sup>. En los resultados se evidenció que cerca del 50% de su distribución geográfica se ha perdido en tan solo 50 años por la acción del hombre y lo referente a sus actividades; predomina el conflicto con los pobladores pues el oso andino ingresa a los cultivos presentando un choque entre agricultores y la especie donde por lo general termina con la muerte del individuo, aunque existen algunos corredores libres para la conexión de estas zonas (Figueroa, Stucchi, & Rojas, 2016). Lo encontrado en este estudio, guarda similitud con la presente investigación en cuanto a las condiciones de retroceso del hábitat del oso de anteojos y permite comparaciones debido al uso MaxEnt como herramienta para las respectivas prospecciones.

En el estudio para la determinación de la distribución potencial del reptil *Podocnemis lewyana* (*reptilia Podocnemididae*) y su posible fluctuación en escenarios de cambio climático (Ortiz-Yusty, Restrepo, & Páez, 2014) se modeló la distribución de esta especie, la influencia de los componentes climáticos y se evaluaron los escenarios futuros. Los modelos como resultado

arrojaron un área sin interrupciones a lo largo del Río Magdalena, desde el Huila hasta el Atlántico y Magdalena, siendo la temperatura el factor más influyente. Igualmente, se predijo un aumento en el rango geográfico de la distribución. No obstante, los autores recomiendan tomar los resultados con precaución, pues sólo se tuvo en cuenta una variable terrestre. Tal estudio contribuye a esta investigación a corroborar a la herramienta MaxEnt, como idónea en casos prospectivos de este tipo.

En el estudio de la modelación ecológica de la dinámica poblacional del venado cola blanca (*Odocoileus virginianus goudotii*) en el Parque Nacional Natural Chingaza, se determinaron los factibles trazados de la especie en su migración y los posibles choques con los habitantes humanos presentes en el área ; con el usos de las herramientas Maxent 3.3, ArcGIS® 10.0 y Stella 8.0®, donde se procesaron variables de tipo biótico y abiótico (Rodríguez, 2016).

En el estudio de la distribución potencial de la especie *O. conspicillatum* en diferentes escenarios de cambio climático en Colombia para los años 2050 y 2080, se recolectó información publicada o depositada en diferentes colecciones del país. Los resultados mostraron registro de la especie en 18 departamentos, siendo el eje cafetero con mayor disponibilidad. Además, determinó que la probabilidad de ocupación de esta especie en la Cordillera Oriental disminuirá drásticamente para estos años, de acuerdo a los resultados de la aplicación del instrumento MaxEnt (Martínez-Quintero, Echeverri, & Gaviria, 2017). Lo anterior aporta a este estudio en cuanto a los resultados relacionados con el impacto que tendrá el cambio sobre las especies e igualmente la experiencia con la herramienta MaxEnt.

Por su parte, Huertas & Rey (2018) orientan una investigación para determinar la distribución potencial de *Atractus crassicaudatus* ante eventos de cambio climático en la Sabana de Bogotá y el análisis de una variación intrapoblacional; para ello elaboraron una distribución actual y

potencial de esta serpiente sabanera, para determinar la influencia de factores climáticos asociados al cambio, además de analizar los patrones de coloración en diferentes poblaciones, utilizando la herramienta MaxEnt y la elaboración de mapas de presencia-ausencia con el software . Los resultados muestran una reducción del área de distribución de la especie tanto para los dos años de referencia; siendo menor la reducción para el año 2050 que para el año 2070, evidenciando que el cambio climático reduciría el área de presencia.

En el mismo, año Fajardo-Gutiérrez, Infante-Betancour, & Cabrera-Amaya (2018) realizaron un modelado de la distribución potencia del género *Polylepis* en Colombia con la identificación de áreas relevantes para la conservación de esta especie tanto a nivel nacional, como regional y local. Con base en registros biológicos (GBIF y SIB de Colombia), confrontando 23 variables climáticas, y utilizando la herramienta MaxEnte 3.3.3k, identificaron oportunidades de conservación para las tres especies de este género; se evidencio que su distribución geográfica está presente en un sector de un área protegida; con base en estos resultados se proponen áreas claves para la conservación. Este trabajo aporta además de la evidencia del impacto que tendrá el cambio climático sobre esta especie, el uso de la herramienta MaxEnt, de enriquecimiento en la parte metodológica.

## **2.2. El cambio climático**

El fenómeno del cambio climático viene preocupando de gran forma a la comunidad científica, a gran parte de los gobiernos y al mundo en general, por los efectos adversos que tendrá en las muchas dimensiones de la vida en el planeta Tierra. Ya sus impactos se perciben en el deshielo de glaciares y del hielo polar, en los cambios drásticos en los regímenes de temperatura en muchos lugares del mundo, en los procesos de extinción de especies vegetales y animales, entre otras manifestaciones.

Sobre el término “cambio climático” se han dado diversas definiciones. La Convención Marco sobre Cambio Climático (CMCC), en su artículo 1, define el cambio climático “como un cambio 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 observado durante un periodo más o menos extensos de tiempos comparables”.

Por su parte, para el Grupo Intercontinental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007) refiere que el cambio climático “denota un cambio en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadísticos) a raíz de un cambio en el valor medio y en la variabilidad de sus propiedades y que persiste durante un periodo prolongado”.

Se reconocen los principales actores del cambio climático artífices de los cambios en la temperatura media de la tierra a los gases de efecto invernadero como lo son el metano, las emisiones de Co<sub>2</sub> ocasionadas por las actividades humanas que giran en torno a un modelo económico lineal y extractivista que se mueve por la quema de combustibles fósiles

### **2.3. Impacto del cambio climático sobre la biodiversidad**

La degradación o modificación de las condiciones en que habitan las especies es considerada una de las causas más graves de disminución de biodiversidad, los niveles de modificación del hábitat van desde la alteración de las condiciones abióticas como temperatura, o contaminación de la atmósfera; o la alteración de las relaciones ecológicas que puede ser consecuencia de la primera

La modificación de patrones de temperatura y la precipitación tienen efectos a corto y largo plazo sobre la biodiversidad, inicialmente estos patrones funcionan como un determinante para la distribución y la abundancia de las especies que conforman el ecosistema, a largo plazo la modificación de estas características ecológicas modifica la estructura trófica del mismo

haciendo más difícil la subsistencia. Los efectos sobre la circulación de nutrientes pueden tener consecuencias sobre la dinámica poblacional de los productores primarios (Primack, Rozzi, Massardo, & Feinsinger, 2001).

Las regiones de América Latina y el Caribe concentran zonas importantes de biodiversidad a nivel mundial con la presencia de países megadiversos como Brasil, Colombia, México, Ecuador, Perú, Venezuela (CBD & UNEP, 2016). Reconociendo 178 regiones que por sus particularidades ecológicas se identifican como un hotspot de biodiversidad a nivel mundial, representando más del 50% de la biodiversidad de nuestro planeta con la particularidad que allí habitan más del 40% de las especies de plantas del mundo (CEPAL & UE, 2017). Los índices de endemismo para esta región alcanzan en algunos casos el 20% (IAI & SCOPE, 2012).

Estas condiciones incrementan la vulnerabilidad de la región ante eventos extremos y modificaciones asociadas al cambio climático, por la magnitud de las mismas sobre una unidad de área que concentre una gran cantidad de organismos y por la alteración de la especificidad de las condiciones requeridas por las especies endémicas (Primack, Rozzi, Massardo, & Feinsinger, 2001), por sus curiosas particularidades fisiológicas y fenológicas y su adaptación a los hábitats estrechos (IPCC, 2002).

Por otra parte, se pronostica que el calentamiento global traerá consigo efectos sobre los organismos individuales, sobre las poblaciones y los ecosistemas. En caso particular de América Latina y el Caribe, dichos impactos incluirían (Uribe, 2015)

- La alteración ecológica de los bosques andinos
- El incremento del nivel del mar generando una pérdida de ciudades, cadenas de arrecifes y biomas de manglares.
- Una presunta extinción en masa de poblaciones anfibias

- Alteraciones en las pirámides poblacionales de reptiles a cambio del aumento de la temperatura;
- Éxodos en el desplazamiento geográfico de especies a consecuencia del cambio en las lluvias.
- Alteraciones en las dinámicas poblacionales de los hábitats andinos que se afectarían a cambio del descongelamiento glaciario alterando sus ciclos hidrológicos.

A nivel general los científicos evidencian que la variabilidad climática que estamos afrontando afectará de forma negativa los recursos biológicos disponibles en la tierra y sus afectaciones serán más evidentes en los nichos ecológicos que ya se encuentran alterados por actividades antrópicas (Uribe, 2015).

Ante esta realidad, para que las especies de seres vivos salvajes sobrevivan al inminente cambio climático, están sujetas a dos únicas opciones: el desplazamiento a otros hábitats o la adaptación, sin embargo, dada la razón de cambio elevada que presenta el clima actual, resulta casi imposible que las especies logren evolucionar para generar una adaptación a dicha rapidez para mantenerse a la vanguardia del clima cambiante. Por otra parte, su desplazamiento se complicaría debido a la destrucción del hábitat, la edificación de diques y el crecimiento de ciudades interconectadas por nuevas carreteras, es decir, en consecuencia, a la actividad humana invasiva de sus hábitats (Cornelius, 2015).

#### **2.4. Biología y ecología del oso andino**

El oso andino (*Tremarctos ornatus*) está catalogado por la UICN como Vulnerable. Su distribución geográfica se encuentra a lo largo de la cadena montañosa de los Andes, en Sur América su factor limitante es principalmente la altura ya que solo se encuentra sobre los 2500

msnm, los requerimientos de hábitat también son estrictos restringiendo su presencia a áreas con bajo nivel de alteración (Velez-Liendo & García-Rangel, 2017).

Es de importancia resaltar que *Tremarctos ornatus* es una especie “con comportamientos solitarios, la gran mayoría del tiempo los individuos adultos forrajean solos, y en general, sólo se ven en pareja en épocas reproductivas o cuando la hembra se encuentra con las crías”, es omnívoro, no hiberna y es principalmente diurno (González, Galindo, Urquijo, Zárata, & Parra, 2017).

Para la UICN las principales amenazas que enfrenta son: la expansión de la frontera agrícola, la intensificación de actividades de acuicultura, la minería y producción energética. Algunos autores han reportado dentro de las amenazas como crecientes el conflicto por atropellamiento de la especie en vías secundarias y los efectos del cambio climáticos (Velez-Liendo & García-Rangel, 2017)..

### **3. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo General**

Modelar la distribución espacial del oso anteojos en la región andina colombiana bajo escenarios de cambio climático para el año 2050.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

- Simular los escenarios de distribución geográfica del oso de anteojos bajo escenarios de cambio climático con base en variables bioclimáticas.
- Analizar los impactos del cambio climático sobre la distribución espacial del hábitat de oso de anteojos en Colombia para el año 2050.

## 4. Metodología

Este proyecto abordó una investigación descriptiva, en la cual se usó información confiable de entidades nacionales e internacionales, enfocándose hacia el modelamiento ambiental de biovariables y el tratamiento de imágenes ráster mediante software SIG, con la finalidad de obtener las áreas de hábitat para el oso de anteojos o también llamado oso andino en territorio colombiano, a través de los procesos que se describen a continuación:

### 4.1. Obtención de avistamientos

Para la identificación de registros del *Tremarctos ornatus* (oso andino o de anteojos) se ingresó través del portal de datos del sistema de información sobre biodiversidad colombiana (SIB) (<https://sibcolombia.net/>), allí se procedió con una búsqueda de la especie por medio de su nombre científico. Posteriormente, se descargó cada registro que obtuviera información de coordenadas.

### 4.2. Tratamiento de las coordenadas

Para cumplir con los requisitos de lectura de MaxEnt, se cargaron todos los registros en un formato Excel que tuviera en cuenta la sintaxis de CSV, para ello, se especificó en una sola celda de la primera fila: especie, longitud, latitud, sin espacios, separados por comas. La segunda fila y en adelante, corresponde para cada celda sin espacios entre caracteres y separados por comas: el nombre científico a tratar, seguido de la longitud y latitud correspondientes, tal como se aprecia de la Tabla 1:

Tabla 1. Llenado de datos en hoja de cálculo de Excel.

Celda 1	Especies,Longitud,Latitud
Celda 2	<i>Tremarctos ornatus</i> ,-75.46000,6.65000

Fuente: Autores.

Después compilar y estructurar todas las coordenadas en una sola columna se obtuvieron 156 registros, los cuales fueron guardados en formato CSV (delimitado por comas), de forma que fuera posible cargar los resultados en MaxEnt.

#### 4.3. Biovariables 2019 y 2050

La selección de biovariables se realizó a través de lo expuesto por WorldClim (2020). Se descargaron 19 biovariables, las cuales son descritas en la Tabla 2, siendo la descripción lo correspondiente a la contribución al modelo en MaxEnt de la distribución geográfica potencial para el año 2019 de la especie *Tremarctos ornatus* en Colombia.

Tabla 2. 19 biovariables ambientales seleccionadas para el modelo en MaxEnt.

Variable	Descripción
bio1	Temperatura media anual
bio2	Rango Medio (media mensual [max temp-min temp])
bio3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) (*100)
bio4	Temperatura estacional (desviación estándar *100)
bio5	Temperatura máxima del mes más caliente
bio6	Temperatura mínima del mes más frío
bio7	Rango de temperatura anual (BIO5-BIO6)
bio8	Media de la temperatura del trimestre más húmedo
bio9	Media de la temperatura del trimestre más seco
bio10	Media de la temperatura del trimestre más caliente
bio11	Media de la temperatura del trimestre más frío
bio12	Precipitación anual
bio13	Precipitación del mes más húmedo
bio14	Precipitación del mes más seco
bio15	Precipitación estacional (Coeficiente de variación)
bio16	Precipitación del trimestre más húmedo
bio17	Precipitación del trimestre más seco
bio18	Precipitación del trimestre más caliente
bio19	Precipitación del trimestre más frío

Fuente: (WorldClim, 2020).

Una vez obtenida esta información se delimita el área de estudio mediante software ArcGIS® por medio del polígono de extensión oficial de Colombia, puesto que cada biovariable es un ráster a nivel global. Una vez fueron extraídas la información ráster correspondiente al límite de Colombia para las 19 biovariables, se transformó al formato ASCII mediante la herramienta Ráster to ASCII.

Para la selección de biovariables bajo proyecciones de cambio climático se eligieron las capas ambientales obtenidas del portal (WorldClim, 2020), denominadas **HadGEM2-AO**, proyectadas para el año 2050.

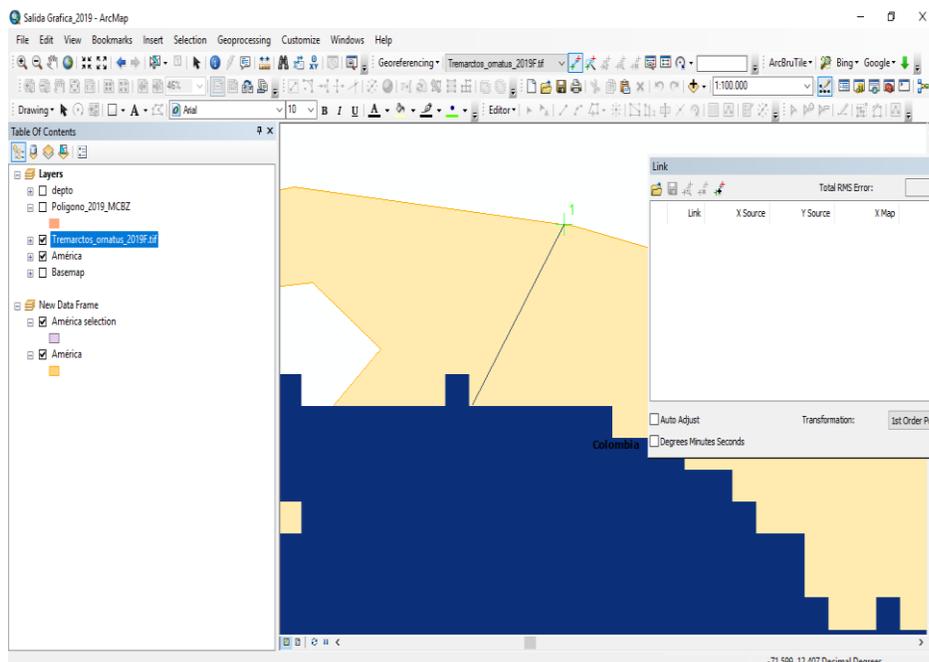
Se seleccionó el modelo HadGEM2-AO (Hadley Center Coupled Model Intercomparison Project phase 5 CMIP5) puesto que dicho modelo fue empleado en la quinta evaluación del Panel Gubernamental para el Cambio Climático (IPCC) y es uno de los modelos que más se utiliza en diferentes investigaciones. El modelo incluye componentes de la atmósfera, el océano el hielo marino y la comparación de otros modelos este incluye componentes de la tierra como el ciclo del carbono terrestre (Martin, y otros, 2011).

De los cuatro modelos de concentración de gases efecto invernadero que proporciona las capas HadGEM2-AO, se eligió el RPC60. Posteriormente, se crearon cortes mediante herramientas SIG (ArcGIS® 10.2) correspondientes con la capa de Colombia para generar área local de trabajo. Finalmente, las 19 capas ambientales se transformaron en formato ASCII.

#### **4.4. Georreferenciación.**

La georreferenciación es una técnica de posicionamiento espacial por medio de la cual a una imagen digital se le asigna un sistema de referencia basado en coordenadas conocidas, cierta información ráster no está asociada a un sistema de referencia, tales como mapas, cartas cartográficas escaneadas, imágenes aéreas, entre otras. Para vincular una imagen a un sistema de

coordenadas conocido se debe de realizar el proceso de georreferenciación (Pucha-Cofrep, y otros, 2017) como se observa en la *Figura 1*. Se deben ubicar 50 puntos de coincidencia entre la imagen ráster y la información vector-polígono para el estudio departamentos de Colombia a escala 1:500.000 descargada de la página oficial del IGAC.



*Figura 1.* Imagen Ráster Georreferencia con el Shape Departamentos IGAC.

Fuente: Elaboración de los Autores.

Luego de establecer los puntos de control, son fijadas las dimensiones y el error medio cuadrático equivalente a 150 metros, en cumplimiento con la normatividad vigente de especificaciones para la cartografía base en Colombia (IGAC & ICDE, 2016). Es de gran importancia reconocer el error cuadrático de la georreferenciación, en este caso, de las de las imágenes ráster: RÁSTER\_2019\_MAXENT.png y RÁSTER\_2050\_MAXENT.png (Tabla 3).

Tabla 3. *Error cuadrático en la georreferenciación de imágenes Ráster.*

---

**Total Error RMS imágenes**

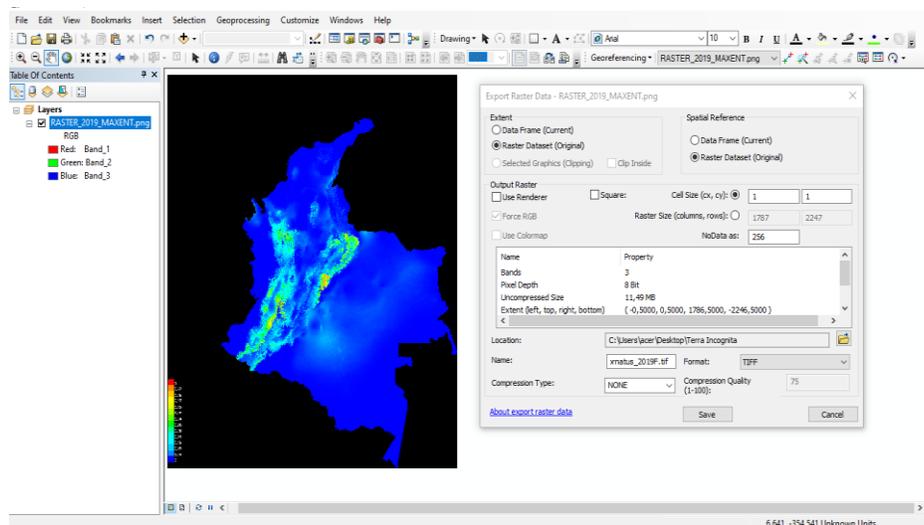
---

Archivo	Punto de Coincidencia	RMS Error
RÁSTER_2019_MAXENT.png	50	147.356
RÁSTER_2050_MAXENT.png	50	147.356

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5. Exportación de información

Para el análisis de información de áreas de distribución se debe realizar la exportación de la información Ráster para el año 2019 y 2050, donde se utilizó la herramienta Export Ráster Data con el nombre Tremarctos\_ornatus\_2019F.tif y Tremarctos\_ornatus\_2050\_FIN.tif. Se asignó el sistema de referencia WGS1984 geográfico EPSG 4326. Por otro lado, se hizo uso de la Herramienta Imagen Analisis en ArcMap para el área de análisis (Ver *Figura 2*).



*Figura 2.* Recorte Ráster Asc con Shape Departamentos de Colombia.

#### 4.6. Estandarización de la información secundaria.

Para realizar el cálculo en las áreas de hábitat a escala predictiva obtenida de los archivos ráster, se utilizó la herramienta de QGIS 3.6 ráster conversión – Poligonizar ráster a vectorial, así poder establecer las áreas de cada uno de los pixeles de la imagen ráster para el Año 2019 y 2050 (*Figura 3*).

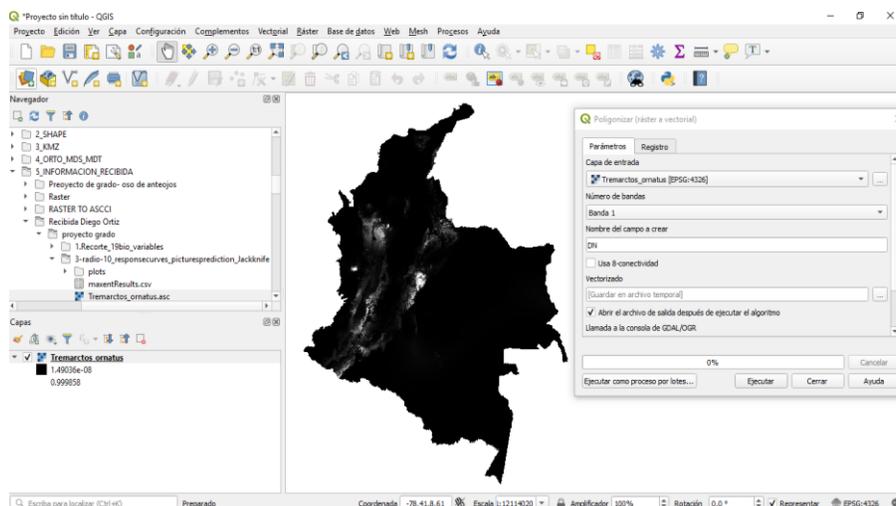


Figura 3. Conversión de ráster a Información Vectorial Tipo Polígono

Fuente: Autores.

Una vez definido el tipo de información geográfica se procedió por medio de la herramienta Projections and transformations de ArcGIS® 10.5 a realizar la transformación de WGS1984 a un sistema de referencia para Colombia, MAGNA-SIRGAS Colombia Bogotá (Ver Tabla 4), establecida por la (Resolución 068 , 2005).

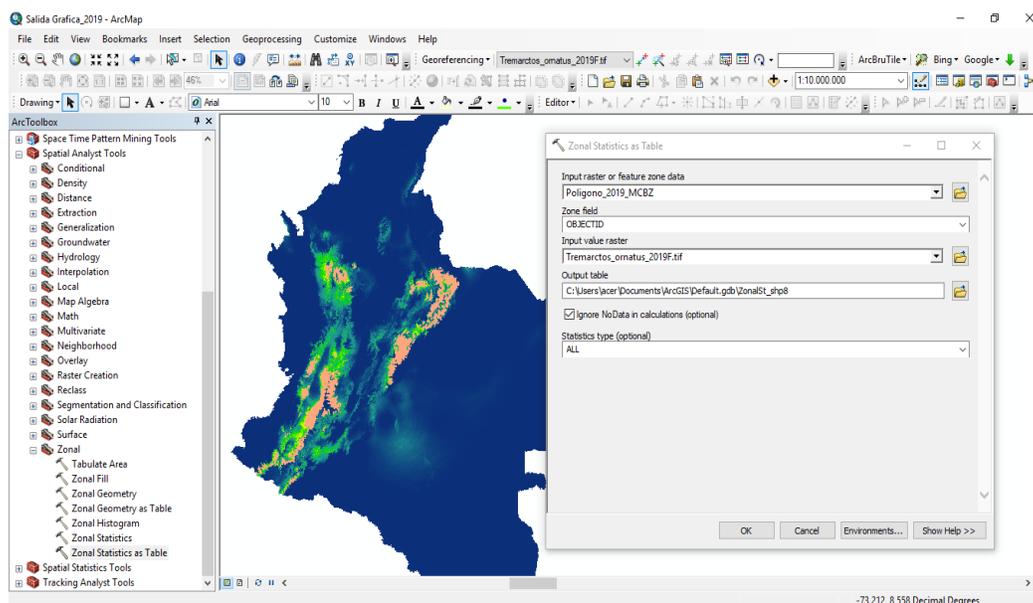
Tabla 4. *Coordenadas MAGNA – SIRGAS de los orígenes de proyección Gauss – Krüger, Colombia.*

Origen	Coordenadas elipsoidales		Coordenadas Gauss - Krüger	
	Latitud (N)	Longitud (N)	Norte (m)	Este (m)
Bogotá-MAGNA	4°35'46,3215"	74°04'39,0285"	1 000 000,0	1 000 000,0
Este Central –MAGNA	4°35'46,3215"	71°04'39,0285"	1 000 000,0	1 000 000,0
Este Este – MAGNA	4°35'46,3215"	68°04'39,0285"	1 000 000,0	1 000 000,0
Oeste – MAGNA	4°35'46,3215"	77°04'39,0285"	1 000 000,0	1 000 000,0
Oeste Oeste - MAGNA	4°35'46,3215"	80°04'39,0285"	1 000 000,0	1 000 000,0

Fuente: Especificaciones técnicas cartografía Básica IGAC.

#### 4.7. Procesamiento y análisis de la información

Para estandarizar los datos obtenidos se procedió a utilizar la herramienta ArcGIS® Zonal Statistics as Table (Ver *Figura 4*) realizando la extracción de información de los archivos RÁSTER\_2019\_MAXENT.png y RÁSTER\_2050\_MAXENT.png adquirida del Maxent asignándola a las capas vectoriales Poligono\_2019\_MCBZ y Poligono\_2050\_MCBZ mediante la herramienta de ArcGIS® Joins and Relates.



*Figura 4* Herramienta Zonal Statistics as Table para transferir información ráster a vector.

Fuente:Autores.

Para realizar la clasificación de las áreas de hábitat se estableció el rango [0.46 -1.0] en un campo nuevo con valor 1 y los pixeles restantes con valor igual a 0 de la escala predictiva , se representó mediante la simbología de los dataset ‘Poligono\_2019\_MCBZ’ y ‘Poligono\_2050\_MCBZ’ (Ver *Figura 5*).

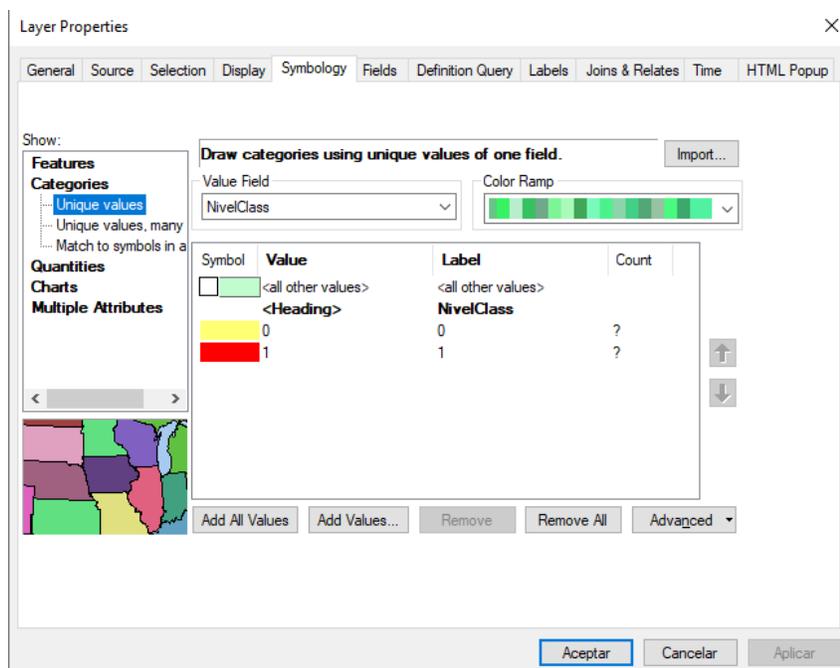


Figura 5. Simbología para la clasificación de las áreas de hábitat.

Fuente: Autores.

Posteriormente, para determinar las zonas de confluencia, se realizó mediante la herramienta Intersect, el cruce de información de los polígonos Polígono\_2019\_MCBZ' y 'Polígono\_2050\_MCBZ' generando nuevas áreas denominadas Polígono\_2050\_MCBZ\_Intersect4.shp.

## 5. Resultados y discusión

La supervivencia de la especie *T. ornatus* está ligada a varios factores como la disponibilidad de área, y el control de la degradación ambiental que ocasiona la fragmentación, ya que la pérdida de su hábitat está catalogada como una de las principales amenazas que enfrenta (Velez-Liendo & García-Rangel, 2017), el análisis de las variables geográficas a escala de paisaje permite establecer líneas de manejo para su conservación a partir de la comprensión de su rango de acción.

El análisis geográfico se ha utilizado como parte fundamental de los procesos de conservación a diferentes escalas, tal como se ha realizado en estudios como: “Los espacios de conservación en la gestión territorial: Análisis del Parque Nacional Esteros de Farrapos e Islas del Río” Uruguay (Sosa, Canton, & Achkar, 2014); “Identificación de áreas prioritarias para la conservación de cetáceos misticetos en los alrededores de la Isla de MargaritaW (Acevedo, Oviedo, & Silva, 2007); WPatrones de uso de hábitat, movimiento, residencia y tamaño de la población del delfín de río *Inia geoffrensis* (De Blainville, 1817) en los ríos Orinoco y Arauca, Colombia” (Llanos, 2002), entre otros.

En cuanto a los resultados puntuales del presente estudio, el valor AUC del modelo obtenido es de 0.942 que es superior al umbral establecido como óptimo de (0.8) (Phillips, Dudik, & Schapire, 2004). El modelo también establece que el hábitat idóneo para la especie *T. ornatus* se caracteriza por ser superior a los 2.000 m.s.n.m., donde los valores más cercanos a 1 en color rojo indican presencia y los valores inferiores al 1 indican área potencial de presencia. Haciendo las áreas que se exhiben en rojo de la *Figura 6* como su hábitat idóneo.

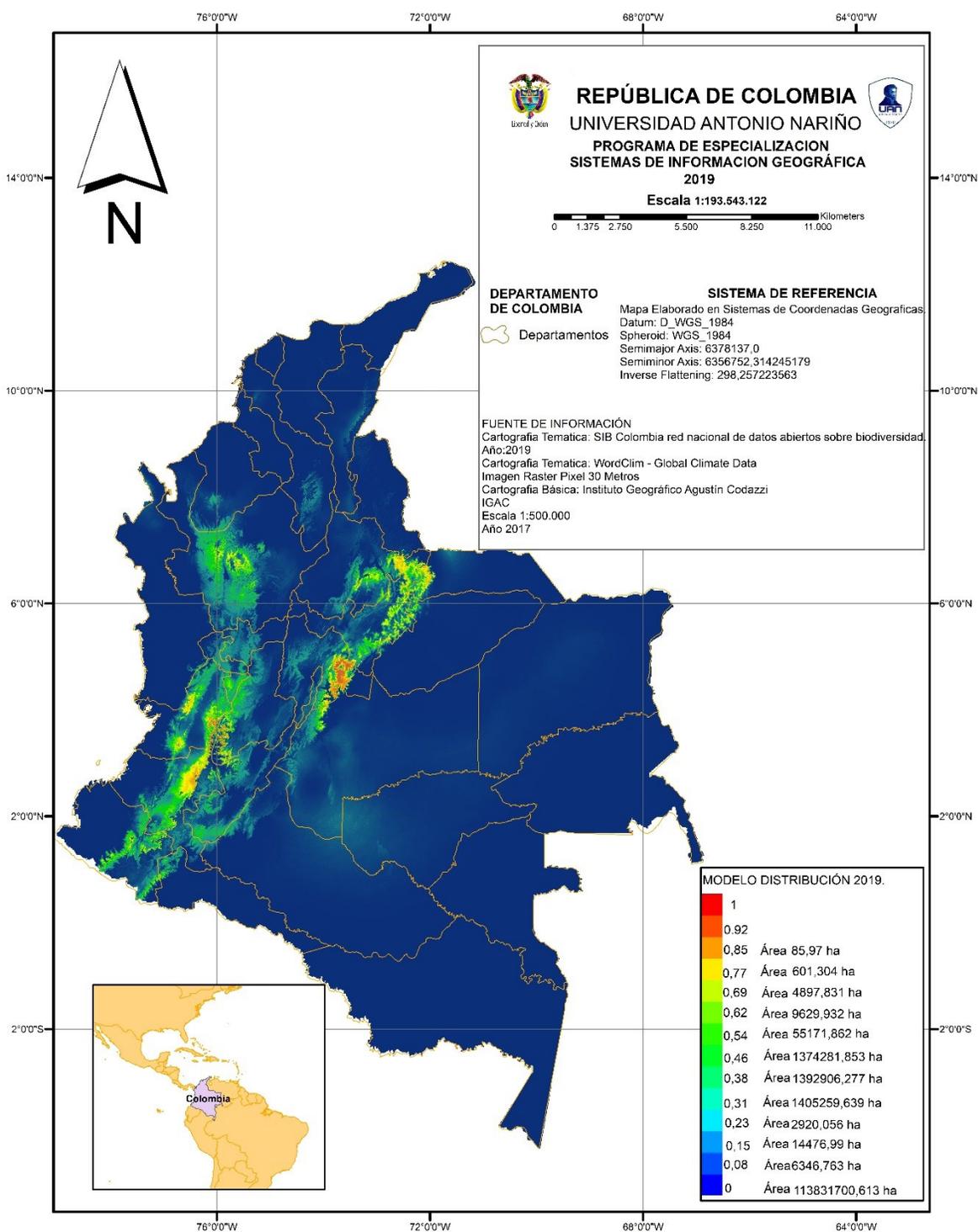


Figura 6. Distribución potencial del oso de anteojos en Colombia 2019 en MaxEnt 3.3 .

Fuente: Autores.

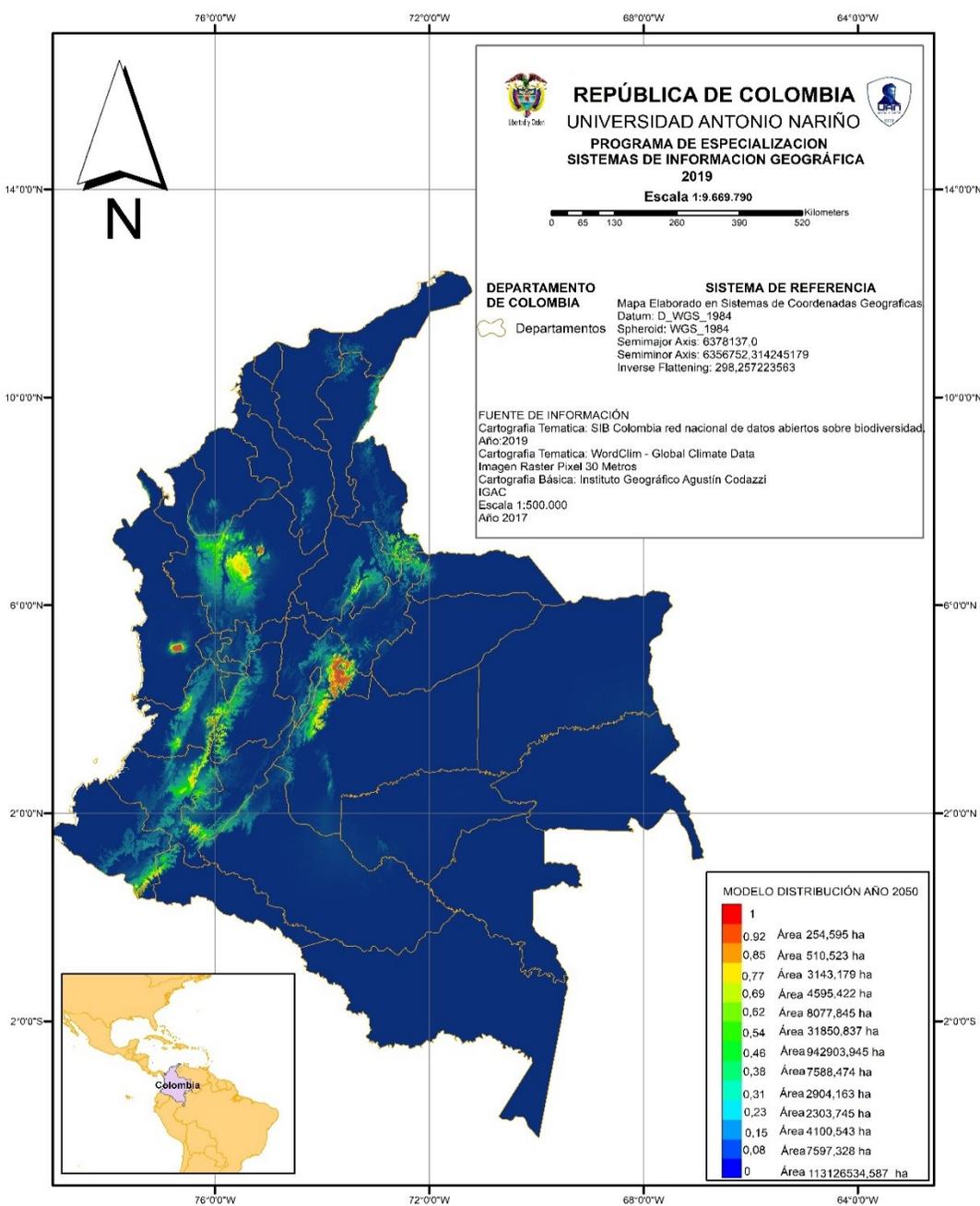
El mapa de distribución actual del oso de anteojos, puede a simple vista arrojar una fragmentación de su hábitat, puesto que se evidencia que el oso ya no puede desplazarse libremente desde el departamento de Nariño hasta Boyacá, posiblemente porque su hábitat ya no presenta características de idoneidad, es decir, su corredor biológico presenta fragmentación.

Para el departamento del Huila la fragmentación del hábitat y el conflicto entre la distribución del oso y la expansión de la frontera agrícola son referidos como problemas en los municipios de Pitalito y Palestina (Joaqui & Tierradentro, 2019). Esta tendencia puede continuar e intensificarse por el modelo productivo de la región andina. En algunas zonas del departamento de Boyacá se reportan conflictos en un 60 % de los predios que circundan las áreas de principal distribución (Santana & Gómez, 2017)

La fragmentación produce la necesidad de que las especies se adapten a las nuevas disponibilidades de hábitat, sin embargo, para algunas especies no es posible o los parches son tan pequeños o carentes de diversidad biológica que no son suficientes pese a que las condiciones biofísicas se mantengan (Santana & Gómez, 2017).

### **5.1. Modelado de distribución bajo escenarios de cambio climático**

El modelo de distribución de *T. ornatus* se obtuvo con base en las 19 capas bioclimáticas proyectadas al 2050 previamente mencionadas obteniendo los resultados de la *Figura 7*. Se observa en la figura que la distribución del hábitat idóneo para el oso de anteojos prevalecerá en el departamento de Boyacá con fuerte presencia (en color rojo) y se generaran nuevos hábitats idóneos muy pequeños hacia departamentos del Chocó y la Antioquia, acentuando más la disminución de su corredor por toda la región de las cordilleras.



*Figura 7.* Distribución potencial del oso de anteojos bajo escenarios de cambio climático, 2050, Colombia.

Fuente. Autores.

Los resultados obtenidos del análisis de la información vectorial establecida, en las imágenes ráster del área de estudio, correspondientes al año 2019 (*Figura 8*) y 2050 (*Figura 9*),

permitieron inferir las variaciones en el tiempo del hábitat correspondiendo al oso andino o clases definidas, evaluando los cambios significativos identificables en los píxeles de estas imágenes, estableciendo las áreas de confluencia del año 2019 y el 2050 (ver *Figura 10*).

En la *Figura 8* se exhibe el resultado del uso de las herramientas SIG, con las que se logró identificar el área total de distribución actual del oso de anteojos en Colombia correspondientes a 1'374.282 estas áreas corresponden a hábitats del oso en cordillera del macizo colombiano.

En tal distribución generada de *Tremarctos ornatus* para el año 2019 cabe resaltar que afronta actualmente serios problemas por actividades antrópicas, presentando focos o núcleos de deforestación en el departamento de Antioquia y en las fronteras comprendidas entre Cundinamarca y el Meta, según se observa en el Boletín de Detección Temprana de Deforestación, en el cual se resalta que las principales presiones al recurso son la expansión de la frontera ilegal colonizadora que no siguen un ordenamiento territorial planificado, solo centrada en deforestar rápidamente para saciar la demanda de tierras y recursos, todo esto es propiciado por la reconversión rápida a pastizales con el uso de fuego y por penetración a la matriz del bosque por los cultivos ilícitos que luego dan lugar a actividades agropecuarias tradicionales (IDEAM, 2019).

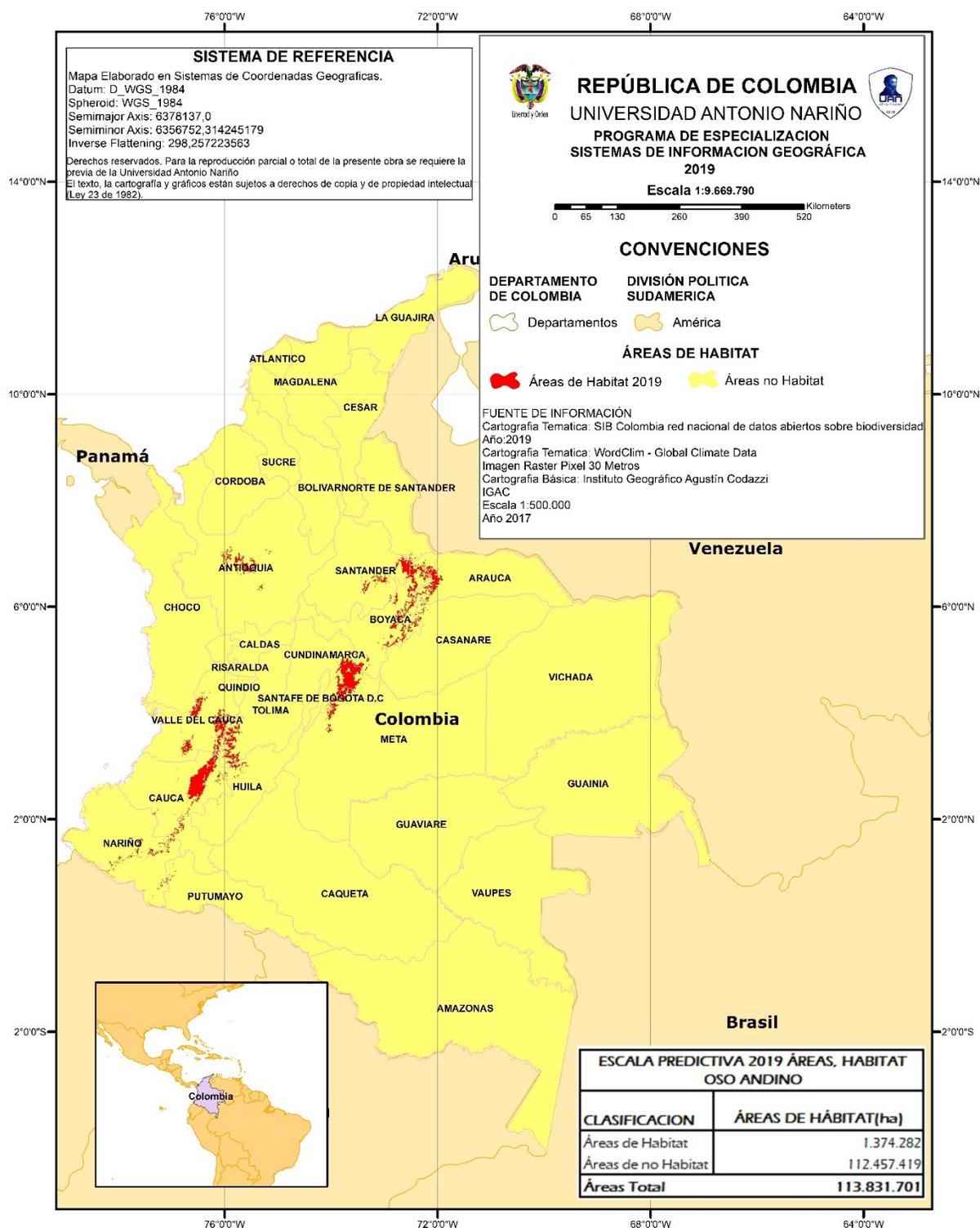


Figura 8. Salida gráfica Áreas de hábitat escala predictiva para Colombia año 2019.

Fuente: Autores.

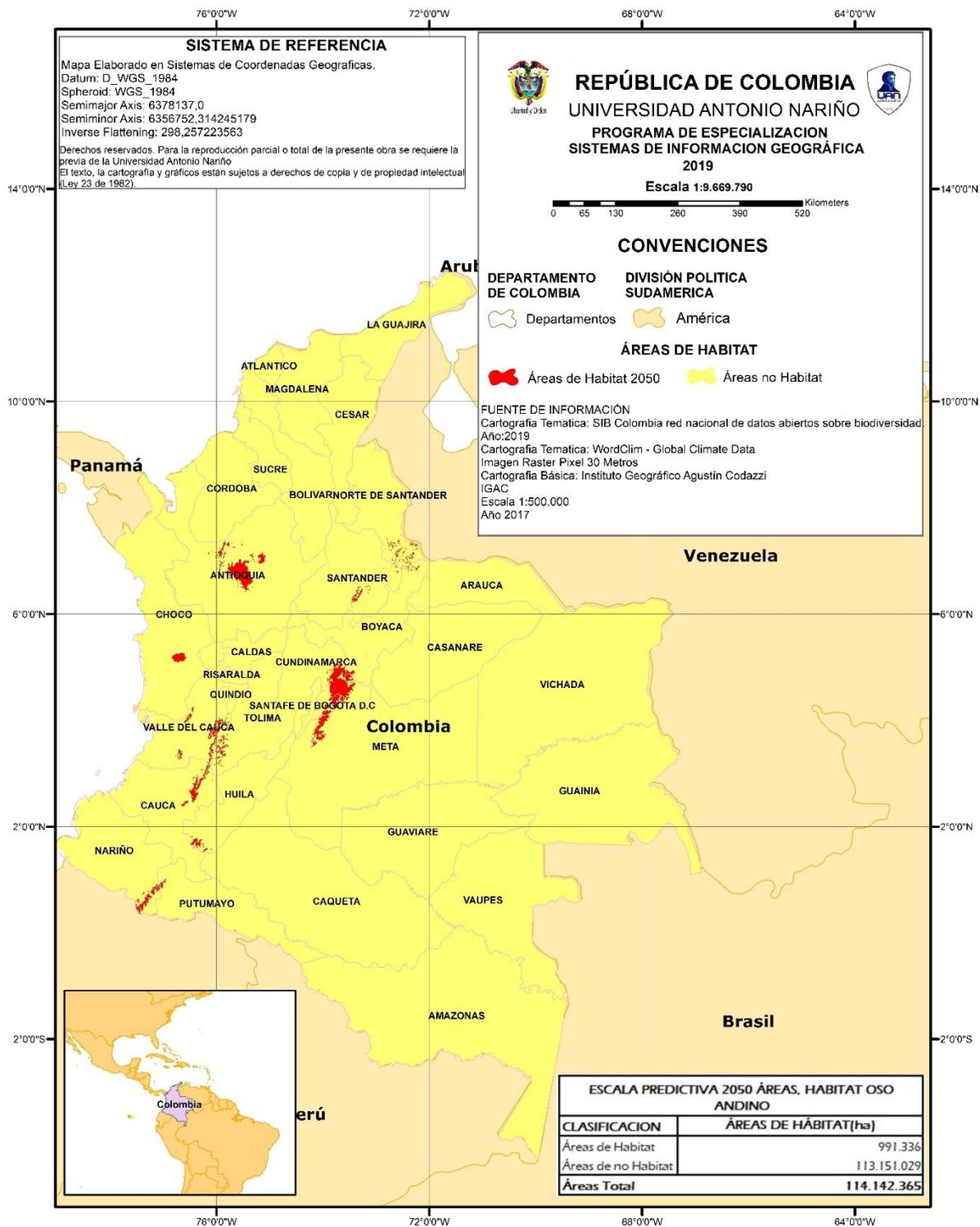


Figura 9. Mapa Áreas de hábitat escala predictiva para Colombia año 2050.

Fuente: Autores.

Según los análisis se aprecian mayores cambios y pérdidas en áreas de hábitat en los departamentos de Boyacá, Cauca y Valle del Cauca por aspectos de cambio climático, caso contrario el departamento de Cundinamarca y Antioquia con menor pérdida en áreas para el hábitat (*Figura 9*).

Las principales presiones descritas por los autores son la intensificación de actividades productivas en el área de distribución del oso y el efecto borde que deteriora las condiciones del hábitat aun disponible, así como la cacería (Velez-Liendo & García-Rangel, 2017).

En la *Figura 10* se observan las áreas que denominaremos a partir de ahora áreas de confluencia, es decir áreas actuales que permanecerán habitables en el 2050 las cuales según los análisis SIG genera un total de 425.070 hectáreas. Dichas áreas de confluencia son de vital importancia para el oso de anteojos y se debe velar por su protección puesto que no son ajenas al fenómeno de la deforestación impulsadas por el crecimiento de la frontera agrícola y bovina, actividades que impulsan el desarrollo socioeconómico del país.

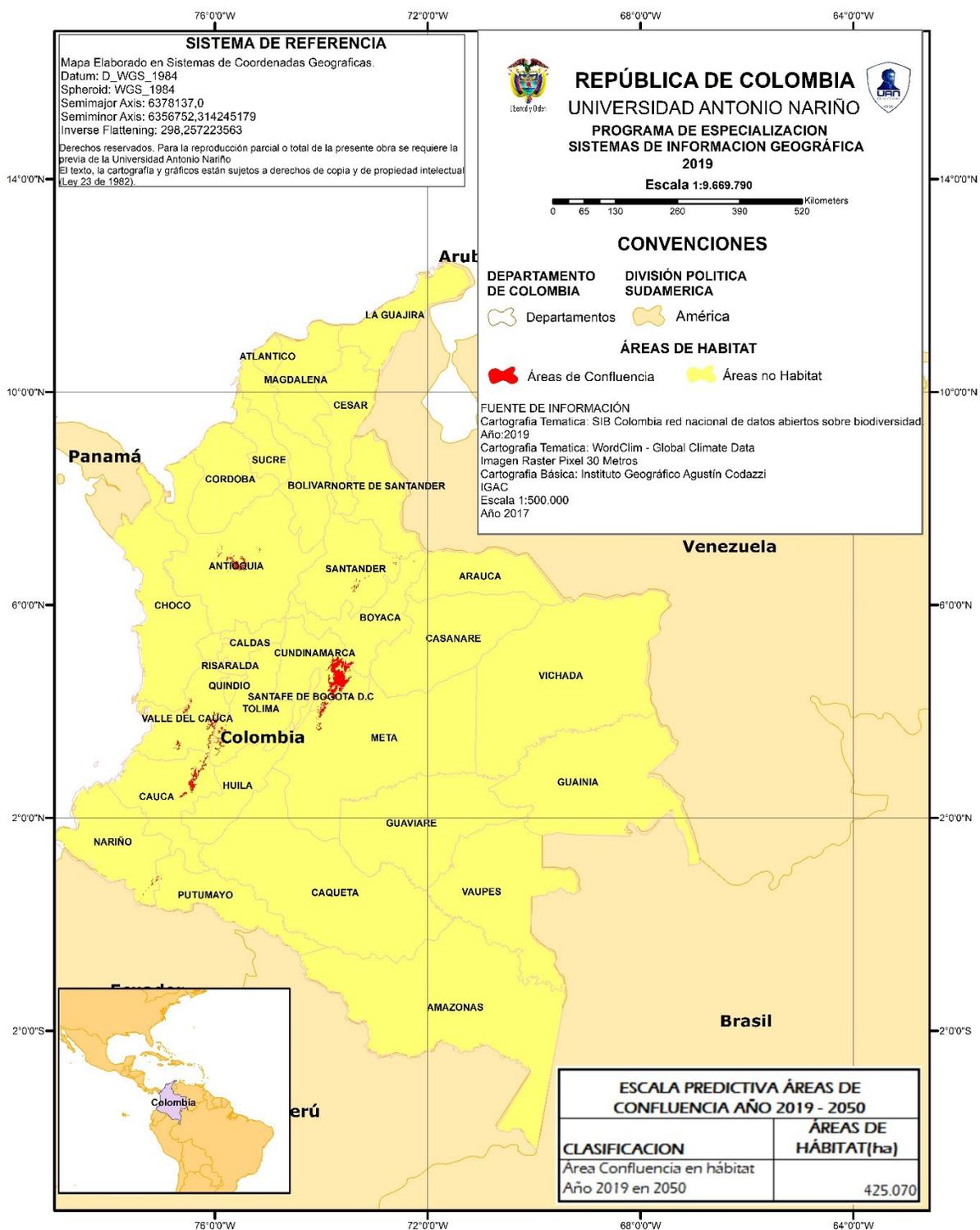


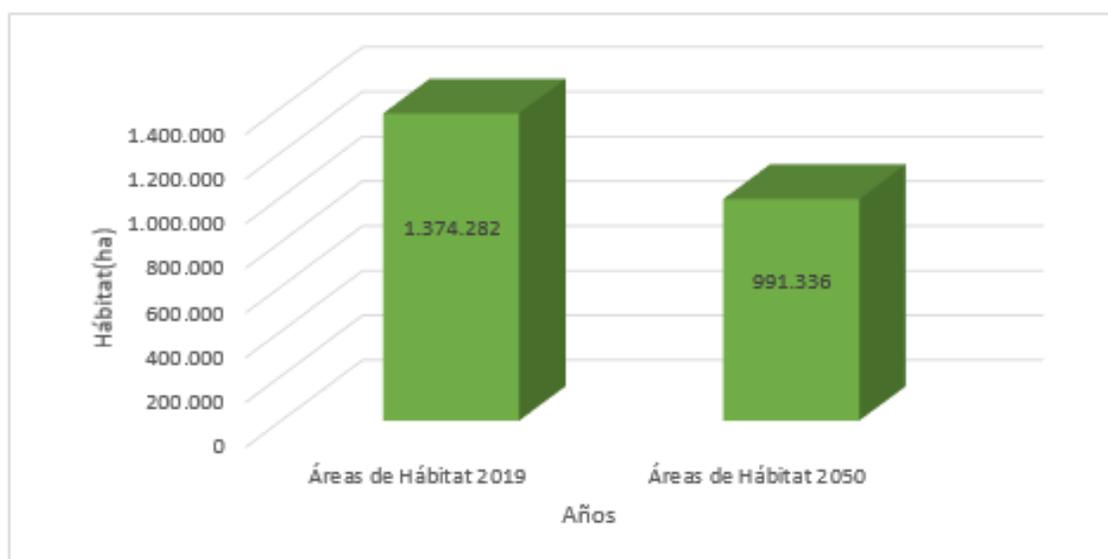
Figura 10. Mapa Áreas de confluencia y pérdida de hábitat para el año 2019 en 2050.

Fuente: Autores.

Se ha reportado en departamentos ubicados en los Andes colombianos, como el Cauca, pérdidas de cerca de 33.679 hectáreas de bosque, es decir, el 24% total nacional del área deforestada; dentro de las actividades que definen tales comportamientos, se ha reportado la minería ilegal, la expansión de límites agropecuarios, la tala ilegal y los incendios forestales; tales cifras de deforestación pueden llegar a comprometer a más de la mitad de las especies de árboles y por tanto, la biodiversidad en general, es decir, daños irreversibles (De la Cruz & Muñoz, 2016).

Por este motivo es de vital importancia y se entiende que estas áreas de confluencia actualmente poseen un peso altamente importante para el hábitat *T. ornatus* y deben ser protegidas con medidas desde el corto plazo y que se proyecten al largo plazo, ya que la deforestación puede comprometer gran variedad de endemismos.

En la *Figura 11* se aprecia la disminución de hectáreas para el oso de anteojos del 2019 respecto al 2050 lo que indica una disminución de 382.946 hectáreas correspondientes al 27.86% en pérdida de hábitat para el oso de anteojos en Colombia.



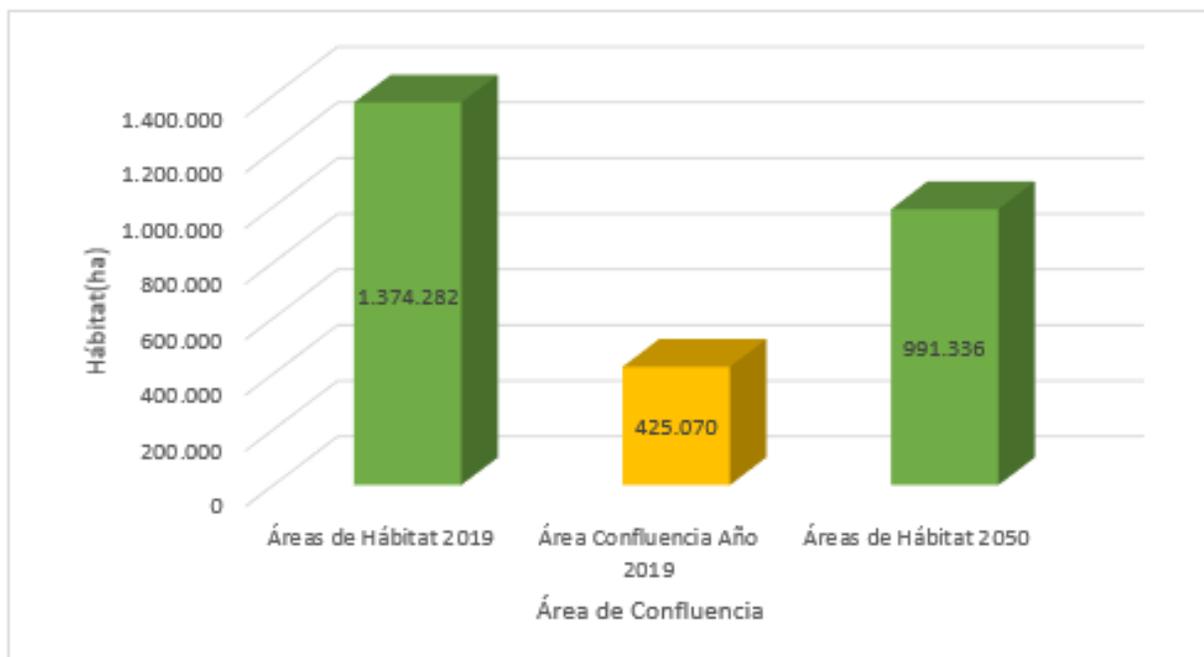
*Figura 11.* Áreas habitables en escala predictiva mayores a 0.46 del año 2019 y 2050.

Fuente: Autores.

Esta disminución de aproximadamente la cuarta parte de hábitat disponible actualmente puede incrementar las presiones sobre el uso del hábitat intensificando el conflicto entre comunidades productoras y osos al verse estos últimos obligados a explorar nuevos territorios para su supervivencia, la disminución del área disponible en conjunto con la fragmentación pueden ocasionar que el efecto borde afecte de forma negativa la diversidad y la riqueza con su efecto consecuente en la oferta trófica, al afectar la distribución de familias como Bromeliácea con especies asociadas a la dieta del *T. ornatus* (Rivadeneira-Canedo, 2008).

Para realizar el análisis de las áreas en confluencia y establecer la cantidad en hectáreas y porcentaje se utilizó la herramienta de geoprocésamiento en ArcGIS® intersect cruzando la información de las Áreas año 2019 con 2050 y generando un área nueva llamada confluencia, determinando la cantidad de área que se mantiene y la que se perdió en transcurso de los años.

Con la inminente disminución en las zonas de las áreas de hábitat correspondiente 382.946 hectáreas en el año 2050 transcurridos 31 años, se identifica una zona de confluencia o intersección de 425.070 hectáreas del año 2019 que permanecieron hasta el 2050 manteniendo las áreas de supervivencia del oso andino. (*Figura 11*)



*Figura 12.* Gráfica de hábitat confluencia en escala mayor a 0.46 del año 2019 en 2050.

Fuente: Autores.

Según resultados, se puede inducir mediante una resta que la pérdida de áreas en el hábitat del oso andino será de 382.946 ha para el año 2050 en escenarios climáticos óptimos, es importante identificar que para el 2050 se mantiene un área en confluencia de 425.070 ha (Ver *Figura 12*).

En la *Figura 13* se aprecia las áreas perdidas del año 2050 representadas en color rojo y estimadas en 382.946 hectáreas, pérdida equivalente a dos veces la superficie de Bogotá que dejara de ser habitable por el oso de anteojos.

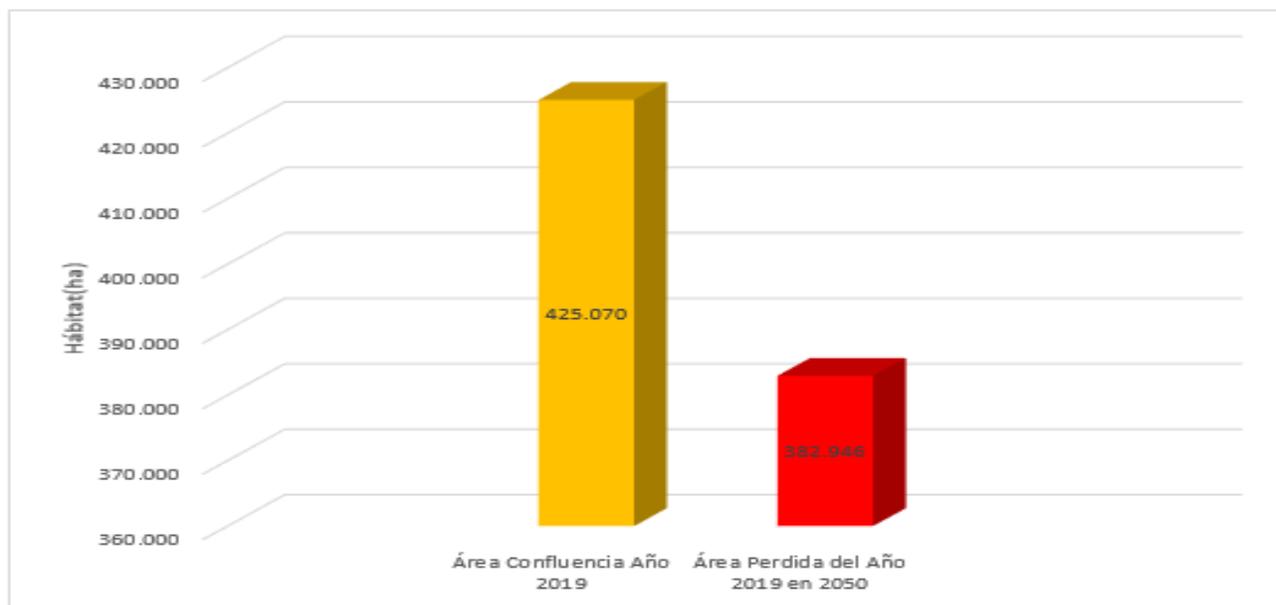


Figura 13. Gráfica de áreas de confluencia y pérdida de áreas actuales, para el año 2050.

Fuente: Los Autores.

## 6. Conclusiones

El oso de anteojos se distribuye a lo largo de Colombia en 1.374.282 hectáreas que equivalen al 1.21% del territorio nacional y para el año 2050 se pronostica que dicho porcentaje disminuirá al 0.86% de territorio colombiano. Una disminución de aproximadamente 400 hectáreas de hábitat potencial tiene una implicación grande sobre la especie por su ecología, los osos son individuos solitarios que no son tolerantes a compartir el hábitat con otros individuos de la misma especie.

Se modeló que para el año 2050 el oso de anteojos afrontará una pérdida de 382.946 hectáreas de su hábitat en la región Andina colombiana, lo cual se estima en un 28% de área respecto a la actual. Dicha pérdida está contemplada bajo efectos del cambio climático el cual generara áreas habitables para el oso de anteojos en lugares que actualmente no presentan registros como lo es el Chocó y gran parte de Norte de Santander.

Del área reportada actualmente para el oso de anteojos, estimada en 1.374.282 hectáreas, el 31% representa 425.070 hectáreas se denomina por sus características áreas de confluencia o intersección, se prevé que dichas áreas permanecerán para el año 2050 y será de vital importancia trabajar por su protección y preservación ambiental desde este momento.

Dada la fragmentación de su hábitat encontrada para el año 2050, se plantea que es posible que el oso de anteojos afronte problemas de pérdida y reducción de su hábitat en Colombia, generando que muchos individuos queden aislados dada la poca conectividad presente en su hábitat. Esta fragmentación de hábitat puede ocasionar la aparición de parches no funcionales, que son territorios que, a pesar de contar con las características biofísicas para la distribución del oso, no cuentan con el tamaño suficiente para cumplir los requerimientos ecológicos de su población.

Este efecto se podrá observar también en las especies con relación trófica con el oso, actuando como factor limitante para la distribución de su alimento lo que generará aún más obstáculos para su subsistencia. La calidad del hábitat en este caso también puede ocasionar que algunos parches que sean funcionales por su tamaño no lo sean por la oferta trófica, sin embargo, estos factores relacionados no pueden evaluarse a través del alcance de esta investigación.

## 7. Recomendaciones

Es importante realizar modelaciones a diferentes concentraciones de gases de efecto invernadero con el objetivo de tener diferentes escenarios a futuro y analizar las áreas generadas bajo diferentes escenarios de cambio climático.

Se recomienda a las corporaciones y parques nacionales proteger las áreas actuales presentes en los mapas generados en este proyecto y los nuevos polígonos generados para el 2050 de hábitats idóneos para el oso de anteojos, esto con el fin de garantizar un mejor control y preservación esta especie en peligro.

Cartográficamente se recomienda para futuros proyectos desarrollar un mayor nivel de detalle trabajando a escala 1:100.000 para obtener más exactitud y detalle en la ubicación de las áreas y variables bioclimáticas.

## 8. Bibliografía

- Acevedo, R., Oviedo, L., & Silva, N. (2007). Identificación de áreas prioritarias para la conservación de cetáceos mysticetos en los alrededores de la Isla de Margarita, Venezuela. *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*, 167, 73-88. Recuperado el Marzo de 2020, de <https://www.yumpu.com/es/document/read/36278115/identificacion-de-areas-prioritarias-para-la-car-spaw-rac>
- Camila, M., Castillo, A., & Samaniego, H. (2018). Evaluation of the environmental niche of *Lycalopex fulvipes* (Darwin's fox) and the incidence of climate change on its geographic distribution. *Gayana*, 82(1), 65-78. doi:<https://dx.doi.org/10.4067/S0717-65382018000100065>
- CAR Cundinamarca. (2018). *Plan de manejo y conservación del oso andino (Tremarctos ornatus) en la jurisdicción CAR Cundinamarca*. Bogotá, D.C., Colombia: CAR - Dirección de Recursos Naturales DRN - Grupo de Biodiversidad. Recuperado el 2020, de <https://www.car.gov.co/uploads/files/5c4649693d7f8.pdf>
- CBD & UNEP. (2016). *El Estado de la Biodiversidad en América Latina y el Caribe: Una evaluación del avance hacia las metas AICHI para la diversidad biológica*. United Nations Environment Programme. Recuperado el Marzo de 2020, de <https://www.cbd.int/gbo/gbo4/outlook-grulac-es.pdf>
- CEPAL & UE. (2017). *El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad de América Latina*. Santiago: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Publicaciones y Servicios Web. Recuperado el Marzo de 2020

- Cornelius, S. (11 de Noviembre de 2015). *El impacto del cambio climático sobre las especies*. Recuperado el Marzo de 2020, de WWF: <https://wwf.panda.org/es/?256070/El-impacto-del-cambio-climtico-sobre-las--especies>
- Cuervo-Robayo, A., & Monroy-Vilchis, O. (Septiembre de 2012). Distribución potencial del jaguar *Panthera onca* (Carnivora: Felidae) en Guerrero, México: persistencia de zonas para su conservación. *Revista de Biología Tropical*, 60(3), 1357-1367. doi:<https://doi.org/10.15517/RBT.V60I3.1813>
- De la Cruz, J., & Muñoz, G. (2016). *Análisis Multitemporal De La Cobertura Vegetal Y Cambio De Uso Del Suelo Del Área De Influencia Del Programa De Reforestación De La Federacion Nacional De Cafeteros En El Municipio De Popayán, Cauca*. Universidad de Manizales, Facultad de Ciencias e ingeniería, Manizales . Recuperado el Marzo de 2020, de [http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/2807/DeLaCruz\\_Burgos\\_Jenni\\_2016.pdf.pdf?sequence=3](http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/2807/DeLaCruz_Burgos_Jenni_2016.pdf.pdf?sequence=3)
- Fajardo-Gutiérrez, F., Infante-Betancour, J., & Cabrera-Amaya, D. (2018). Modelización de la distribución potencial del género *Polylepis* en Colombia y consideraciones para su conservación. *Ecología Austral*, 28(1), 157-324. doi:<https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.1.585>
- Figueroa, J., Stucchi, M., & Rojas, R. (2016). Modelación de la distribución del oso andino *Tremarctos ornatus* en el bosque seco del Maraón (Perú). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(1), 230-238. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.01.008>
- González, Galindo, Urquijo, Zárata, & Parra. (2017). *El Oso Andino en el Macizo de Chingaza*. Bogotá, D.C., Colombia: Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá D.C.,

- EAB-ESP. Corporación Autónoma Regional del Guavio - CORPOGUAVIO, Parques Nacionales Naturales de Colombia & Proyecto de aConservación de Aguas y Tierras - ProCAT. Recuperado el Abril de 2020, de [http://procat-conservation.org/wp-content/uploads/2018/02/LibroOsoenMacizoChingaza\\_dig.pdf](http://procat-conservation.org/wp-content/uploads/2018/02/LibroOsoenMacizoChingaza_dig.pdf)
- Huertas, W., & Rey, K. (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*. Bogotá, D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Recuperado el Marzo de 2020, de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/12319/1/HuertasBarreraWendyJulieth2018.PDF..pdf>
- IAI & SCOPE. (2012). *Cambio Climático y Biodiversidad en los Andes Tropicales*. Paris: Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global & Sao José dos Campos, y Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente. Recuperado el Marzo de 2020
- IDEAM. (2019). *Boletín de Detección Temprana de Deforestación*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC). Recuperado el Marzo de 2020, de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023884/21-BOLETIN.pdf>
- IGAC & ICDE. (2016). *Especificaciones técnicas cartografía básica*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Recuperado el Marzo de 2020, de <https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/especificacionesv1.pdf>

- IPCC. (2002). *Cambio climático y biodiversidad - Documento técnico V del IPCC*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Recuperado el Marzo de 2020, de <https://archive.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-changes-biodiversity-sp.pdf>
- IPCC. (2007). *Cambios observados en el clima y sus efectos*. Recuperado el Marzo de 2020, de IPCC Archivo:  
[https://archive.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/syr/es/mains1.html#:~:text=Para%20el%20IPCC%2C%20el%20t%C3%A9rmino,en%20decenios%20o%20en%20per%C3%A](https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/es/mains1.html#:~:text=Para%20el%20IPCC%2C%20el%20t%C3%A9rmino,en%20decenios%20o%20en%20per%C3%A)  
Dodós
- Iriarte, A., Tala, C., Stutzin, M., & Trivelli. (2003). *Convención Internacional de Especies de Flora y Fauna Silvestre*. Ministerio de Agricultura de Chile - Subdepartamento de Vida Silvestre. Recuperado el Marzo de 2020, de [https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/guia\\_cites\\_2003.pdf](https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/guia_cites_2003.pdf)
- Joaqui, E., & Tierradentro, G. (2019). *Diagnóstico socioambiental de riesgos y amenazas para la sobrevivencia de las especies Oso andino (*Tremarctos ornatus*) y Danta de montaña (*Tapirus pinchaque*) presentes en los municipios de Pitalito y Palestina, Huila*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA, Pitalito. Recuperado el Marzo de 2020, de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/25313/%20%09ecjoaqui.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Leuro, N. (2018). *Cambios en el solapamiento de la distribución geográfica de *Leopardus wiedii* y sus presas en diferentes escenarios de cambio climático*. Universidad de la Salle. Recuperado el Marzo de 2020, de <https://ciencia.lasalle.edu.co/biologia/36/>

- Llanos, Y. (2002). *Patrones de uso de hábitat, movimiento, residencia y tamaño de la población del delfín de río Inia geoffrensis (De Blainville, 1817) en los ríos Orinoco y Arauca, Colombia*. Santafé de Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano. Recuperado el Marzo de 2020, de <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/1325/T623.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martin, Bellouin, Collins, Culverwell, Halloran, Hardiman, . . . McLaren. (2011). *The HadGEM2 family of Met Office Unified Model climate configurations*. Recuperado el Marzo de 2020, de Geosci Model: <https://www.geosci-model-dev.net/4/723/2011/gmd-4-723-2011.html>
- Martínez-Quintero, B., Echeverri, A., & Gaviria, F. (2017). Distribución potencial de *Oxysternon conspicillatum* (weber, 1801) en diferentes escenarios de cambio climático en Colombia. *Boletín científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*, 21(2), 190-206. doi:<http://dx.doi.org/10.17151/bccm.2017.21.2.13>
- Ortiz-Yusty, C., Restrepo, A., & Páez, V. (2014). Distribución potencial de *Podocnemis lewyana* (Reptilia: Podocnemididae) y su posible fluctuación bajo escenarios de cambio climático global. *Acta biológica colombiana*, 19(3), 471-481. doi:<https://doi.org/10.15446/abc.v19n3.40909>
- Phillips, S., Dudik, M., & Schapire, R. (2004). A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling. *Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning*, (págs. 655-662).

- Primack, R., Rozzi, Massardo, & Feinsinger. (2001). *Destrucción y degradación del hábitat. Fundamentos de Conservación Biológica Perspectivas Latinoamericanas*. Ciudad de México, México: Fondo de Cultura Económica. Recuperado el Marzo de 2020
- Pucha-Cofrep, F., Fries, A., Cánovas-García, F., Otañe-Valdevieso, F., González-Jaramillo, V., & Pucha-Cofrep, D. (2017). *Fundamentos de SIG: Aplicaciones con ArcGIS*. Ediloja Ltda. Recuperado el Marzo de 2020, de <https://acolita.com/libro-fundamentos-sig-aplicaciones-arcgis/>
- Resolución 068 (2005).
- Rivadeneira-Canedo, C. (2008). Estudio del oso andino (*Tremarctos ornatus*) como dispersor legítimo de semillas y elementos de su dieta en la región de Apolobamba-Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 43(1). Recuperado el Abril de 2020
- Rodríguez, O. (2016). *Modelación de la dinámica poblacional del venado cola blanca (*Odocoileus virginianus goudotii*) en el Parque Nacional Natural Chingaza*. Bogotá, D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Recuperado el Marzo de 2020, de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3382/1/Rodr%C3%ADguezCastellanosOrlando2016.pdf>
- Salvador, D. (2019). *Valoración Económica Del Servicio Ambiental De Provisión De Agua En Una Parte Del Chocó Andino Ecuatoriano, Hábitat Del Oso Andino (*Tremarctos Ornatus*)*. Quito: Universidad Internacional SEK. Recuperado el Marzo de 2020, de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3352/1/28%20mar%20DianaSalvador%20APROBADO.pdf>
- Santana, I., & Gómez, R. (2017). Conflicto del oso andino (*Tremarctus ornatus*) con actividades antrópicas en Zetaquirá-Boyacá. *Conexión Agropecuaria JDC*, 7(1), 33-45. Recuperado

el Abril de 2020, de

<https://www.jdc.edu.co/revistas/index.php/conexagro/article/view/570>

Sosa, B., Canton, V., & Achkar, M. (2014). Los espacios de conservación en la gestión territorial: Análisis del Parque Nacional Esteros de Farrapos e Islas del Río Uruguay.

*Estudios Geográficos*, LXXV(276), 385-393. Recuperado el Marzo de 2020, de

<https://core.ac.uk/download/pdf/228834026.pdf>

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

Santiago, Chile: CEPAL - Unión Europea. Recuperado el Marzo de 2020, de

[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39855/1/S1501295\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39855/1/S1501295_es.pdf)

Vela, I., Vázquez, G., Galindo, J., & Pérez, J. (2011). *El oso andino sudamericano, su*

*importancia y conservación*. Comunicaciones Libres. Recuperado el Marzo de 2020, de

<https://docplayer.es/29947212-El-oso-andino-sudamericano-su-importancia-y-conservacion.html>

Velez-Liendo, X., & García-Rangel, S. (2017). *Tremarctos ornatus (errata version published in 2018)*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2017*. doi:

<https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T22066A45034047.en>

Viccaro, M., Cozzi, M., Fanelli, L., & Romano, S. (2019). Spatial modelling approach to

evaluate the economic impacts of climate change on forests at a local scale. *Ecological Indicators*, 106, 105523. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105523>

WCS. (2020). *Programa Oso Andino*. Recuperado el Marzo de 2020, de Programs WCS:

<https://programs.wcs.org/osoandino>

WorldClim. (2020). *Bioclimatic variables*. Recuperado el 2020, de WorldClim:

<https://www.worldclim.org/data/bioclim.html>

## 9. Anexos

El presente enlace se tiene acceso a los siguientes archivos:

- Procesamiento de escala predictiva par el año 2019.
- Procesamiento de escala predictiva par el año 2050.
- Procesamiento de escala predictiva confluencia.
- Salida grafica MaxEnt 2019/ 2050.
- Mapa Áreas de hábitat escala predictiva para Colombia año 2019.
- Mapa Áreas de hábitat escala predictiva para Colombia año 2050.
- Mapa Áreas de confluencia y pérdida de hábitat para del año 2019 en 2050.

[https://drive.google.com/drive/folders/1DREL8cb9BWUOxIp\\_qTLInvZhPeNnGC3O?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1DREL8cb9BWUOxIp_qTLInvZhPeNnGC3O?usp=sharing)