

Análisis de vulnerabilidad y riesgo climático en la transición Andes, Amazonía y Orinoquía

Proyecto: Áreas Protegidas y Paz

Cuentas abastecedoras a los Parques Nacionales Naturales Sumapaz, Cordillera de los Picachos, Sierra de la Macarena, Tinigua y Serranía de Chiribiquete.



**ÁREAS
PROTEGIDAS
& PAZ.**



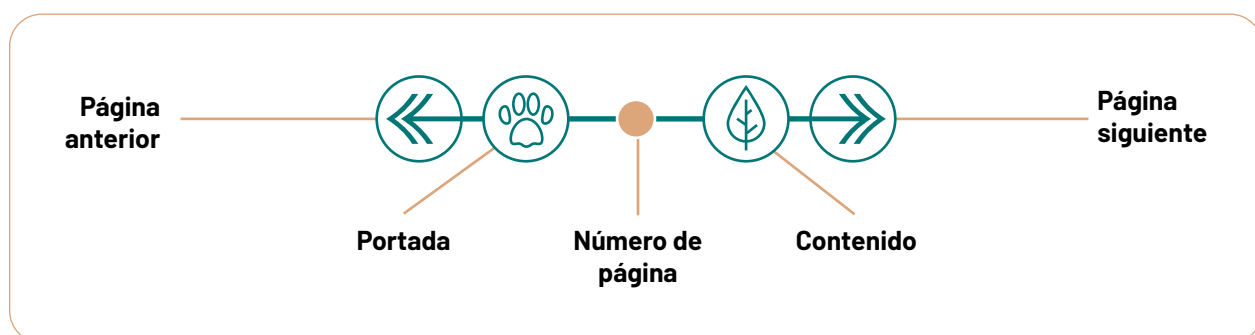
Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza,
Obras Públicas y Seguridad Nuclear

En alianza con



PARQUES NACIONALES
NATURALES DE COLOMBIA





Para navegar el documento puede usar el menú que encontrará en la parte inferior de las páginas



Análisis de vulnerabilidad y riesgo climático en la transición Andes, Amazonía y Orinoquía

Proyecto: Áreas Protegidas y Paz

Cuencas abastecedoras a los Parques Nacionales Naturales Sumapaz, Cordillera de los Picachos, Sierra de la Macarena, Tinigua y Serranía de Chiribiquete.



**ÁREAS
PROTEGIDAS
& PAZ.**



Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza,
Obras Públicas y Seguridad Nuclear

En alianza con



**PARQUES NACIONALES
NATURALES DE COLOMBIA**





Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza,
Obras Públicas y Seguridad Nuclear

En alianza con



**PARQUES NACIONALES
NATURALES DE COLOMBIA**

Equipo de trabajo WWF Colombia:

Melissa Abud Hoyos

Oficial en Biodiversidad y Cambio Global

Jairo Guerrero

Oficial en Gestión del Recurso Hídrico

Cesar Freddy Suarez

Coordinador Territorios y Tierras Resilientes

Johanna Prüssmann

Analista en Servicios Ecosistémicos y Clima

Leidy J. Cuadros

Asistente SIG

Cristian Urbano

Estudiante en práctica

Revisión:

Luis Germán Naranjo

Director de Conservación y Gobernanza

WWF Colombia

Coordinación editorial:

Carmen Ana Dereix

Oficial de Publicaciones y Marca

Stefany Olaya

Consultora en Comunicaciones

Colombia, 2022

Diseño y diagramación:

Kilka Diseño Gráfico

Fotografía de portada y contra portada:

Parques Nacionales Naturales de Colombia

Fuentes mapa base: Esri, GEBCO, DeLorme, NaturalVue, Airbus, USGS, NGA, NASA, CGIAR, NCEAS, NLS, OS, NMA, Geodatastyrelsen, GSA, GSI and the GIS User Community.

“Las denominaciones geográficas en este documento y el material que contiene no entrañan, por parte de WWF, juicio alguno respecto de la condición jurídica de países, territorios o áreas, ni respecto del trazado de sus fronteras o límites”.

Cítese como

Abud, M., Guerrero, J., Suárez, F., Prüssmann, J., Cuadros, L. y Urbano, C. (2022). Análisis de vulnerabilidad y riesgo climático en la transición Andes, Amazonía y Orinoquía. Cuencas abastecedoras a los Parques Nacionales Naturales Sumapaz, Cordillera de los Picachos, Sierra de la Macarena, Tinigua y Serranía de Chiribiquete. Publicación de WWF Colombia en el marco del proyecto Áreas Protegidas y Paz.

Contenido

Introducción y justificación	6
Metodología y resultados	7
Componentes y dimensiones del análisis	8
Unidad de análisis y área de estudio	8
Proceso de selección de indicadores y metodología para el cálculo de los componentes	9
Análisis de amenazas climáticas y elementos expuestos	12
Análisis de vulnerabilidad climática	16
Riesgo climático	21
Recomendaciones para el aumento de la capacidad de adaptación y reducción de riesgos climáticos.....	22
¿Como involucrar esta información en la planeación del manejo de las áreas protegidas y sus paisajes?	27
Literatura citada	29
ANEXO 1	
Fichas para el cálculo de los indicadores por componente	31

Introducción y justificación



Las Áreas Protegidas (AP) son consideradas Soluciones Naturales basadas en la Naturaleza (SbN). Gracias a la integridad de sus ecosistemas, comparadas con otras zonas dedicadas a otros usos en el paisaje, estas proporcionan múltiples beneficios que hacen más resilientes a las comunidades bajo un panorama de cambio climático. La creación y manejo de Áreas Protegidas también es considerada una medida de adaptación Basada en Ecosistemas y Basada en Comunidades (AbE y AbC) (IUCN 2021).

La zona seleccionada para el desarrollo de este análisis de Vulnerabilidad y Riesgo constituye un paisaje de importancia debido a la presencia de diversas estrategias de conservación a lo largo de un gradiente altitudinal que va desde ecosistemas alto andinos hasta la selva amazónica, constituyendo una zona de flujos ecológicos y culturales particular. Sus considerables remanentes de bosques se caracterizan por los altos niveles de biodiversidad, presencia de territorios y comunidades ancestrales, comunidades campesinas, numerosas fuentes hídricas o ecosistemas de río y humedales, así como 21 zonas de vida.

A pesar de la existencia de Parques Nacionales Naturales (PNN) como Sumapaz, Cordillera de los Picachos, Sierra de la Macarena, Tinigua y la Serranía de Chiribiquete como núcleos de conservación de este gradiente, los retos y desafíos para su mantenimiento e implementación de soluciones basadas en la naturaleza son cada vez mayores. Desde sus territorios circundantes avanzan rápidamente amenazas como la deforestación, el crecimiento poblacional, el desa-

rrrollo de infraestructura sin considerar criterios de sostenibilidad, la extracción de recursos naturales como la minería y la fragmentación de los ecosistemas, entre otras.

El conflicto armado es otra de las amenazas y principales desafíos en la zona, ya que éste es uno de los territorios donde aún existen condiciones de violencia que dificultan la participación social y la defensa de los derechos humanos, entre estos la protección y uso sostenible de los ecosistemas y territorios ancestrales. Esta situación de disminución de la integridad ecológica sumada a los cambios en las condiciones climáticas, afecta negativamente la seguridad humana, la biodiversidad y los niveles de resiliencia en el paisaje.

Teniendo en cuenta el contexto anterior y el cambio climático como un factor que aumenta los riesgos en la zona estudiada, se desarrolló un análisis de Vulnerabilidad y Riesgo, para facilitar la toma de decisiones en los Parques Nacionales Naturales Sumapaz, Cordillera de los Picachos, Sierra de la Macarena, Tinigua y Serranía de Chiribiquete y sus paisajes circundantes. Este análisis se elaboró usando índices e indicadores especialmente relacionados con las amenazas climáticas, los fenómenos detonados por cambios en el clima a largo y corto plazo, y las condiciones que hacen vulnerables a las comunidades, a los ecosistemas e infraestructura vial. Las próximas secciones permitirán entender el desarrollo del análisis paso a paso, los principales resultados obtenidos y las recomendaciones para aumentar la capacidad de adaptación.

Metodología y resultados



El análisis de Vulnerabilidad y Riesgo fue elaborado siguiendo las definiciones y conceptos del Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC) en su Quinto (2014) y Sexto Informe (2019). Teniendo en cuenta este marco conceptual, el Riesgo es concebido como el potencial de que se produzcan consecuencias adversas como daños y pérdidas en los sistemas naturales y humanos, como

resultado de las interacciones entre la Amenaza o Peligro, la Exposición del sistema y la Vulnerabilidad (IPCC 2019) (Figura 1). Para el desarrollo del análisis se seleccionó un conjunto de indicadores, que permitieron describir las condiciones de Amenaza, Vulnerabilidad (compuesta por la sensibilidad, susceptibilidad y capacidad de adaptación) y el cálculo integrado del riesgo climático.

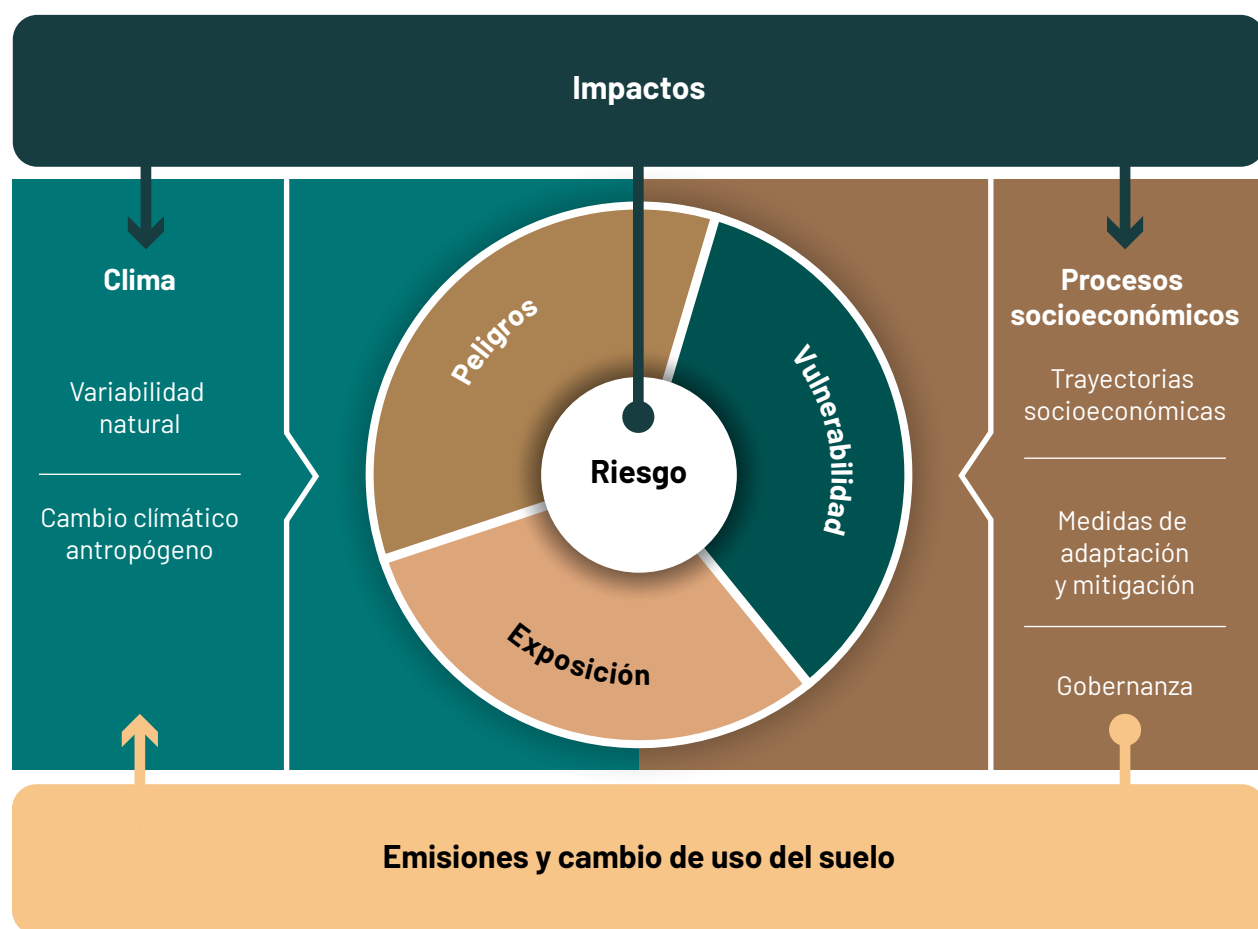


Figura 1.
Riesgo climático según el IPCC (2014).

Componentes y dimensiones del análisis

Siguiendo el anterior marco conceptual y de acuerdo al contexto del paisaje de interés, se seleccionaron y definieron los componentes sobre los cuales se realizó el análisis.



Amenaza y exposición: La Amenaza climática se define como el acaecimiento potencial de un suceso relacionado con el clima que puede causar daños y pérdidas en los diversos elementos y procesos de los territorios y paisajes, incluyendo sus comunidades, ecosistemas, servicios, infraestructura y actividades económicas, entre otros.



Vulnerabilidad: Corresponde a la evaluación de la propensión o predisposición a ser afectado negativamente, principalmente por el cambio climático y condiciones de variabilidad climática. La vulnerabilidad incluye la sensibilidad, la susceptibilidad y la capacidad de adaptación de los elementos analizados.



Riesgo: Es la probabilidad de que se produzcan impactos originados o detonados por un clima cambiante que pueden afectar la integridad ecológica de los ecosistemas, el bienestar social y/o la infraestructura (IPCC 2019).

La evaluación de la Amenaza, la Vulnerabilidad y el Riesgo climático se calcularon sobre elementos que

se encuentran expuestos ante el cambio climático en el paisaje seleccionado y sus AP, estos fueron clasificados en tres dimensiones principales.

Ecosistemas, Beneficios Ecosistémicos y su Biodiversidad: Incluye las zonas de vida que representan a los ecosistemas en el área de estudio. Comprende los servicios ecosistémicos de almacenamiento de carbono, la oferta hídrica de las subcuencas, y aquellos proporcionados por bosques, especies de vertebrados y plantas indicadoras o útiles para el análisis. Esta dimensión también integra iniciativas de conservación existentes para el mantenimiento de la integridad de las áreas naturales y flujos ecológicos en el paisaje.

Comunidades y Medios de Vida: Está definida por asentamientos humanos urbanos y rurales, su infraestructura de vivienda, aspectos relacionados con el bienestar, las necesidades básicas de la población, temas de inversión social y hábitat humano.

Infraestructura Vial: Contempla indicadores que permitan evaluar el estado de amenaza climática al que se encuentran expuestas las vías secundarias y terciarias de la zona de estudio, su vulnerabilidad incluyendo su capacidad adaptativa y por lo tanto el riesgo a ser afectadas teniendo en cuenta su estado actual.

Unidad de análisis y área de estudio

El área de estudio abarcó un gradiente altitudinal que va desde los ecosistemas alto andinos del PNN Sumapaz, parte de la Orinoquía, hasta las selvas amazónicas del PNN Chiribiquete, pasando por diversos ecosistemas y comunidades indígenas, campesinas y urbanas. El polígono seleccionado se ubica principalmente entre los departamentos de Meta, Guaviare

y Caquetá. La unidad de análisis seleccionada para el cálculo de indicadores, corresponde a las subcuencas de acuerdo a Hydrosheds (Gong et al., 2011), las cuales se pueden observar delineadas en azul en la Figura 2. Para las interpretaciones y recomendaciones se hizo un especial énfasis en las áreas protegidas y sus territorios circundantes.

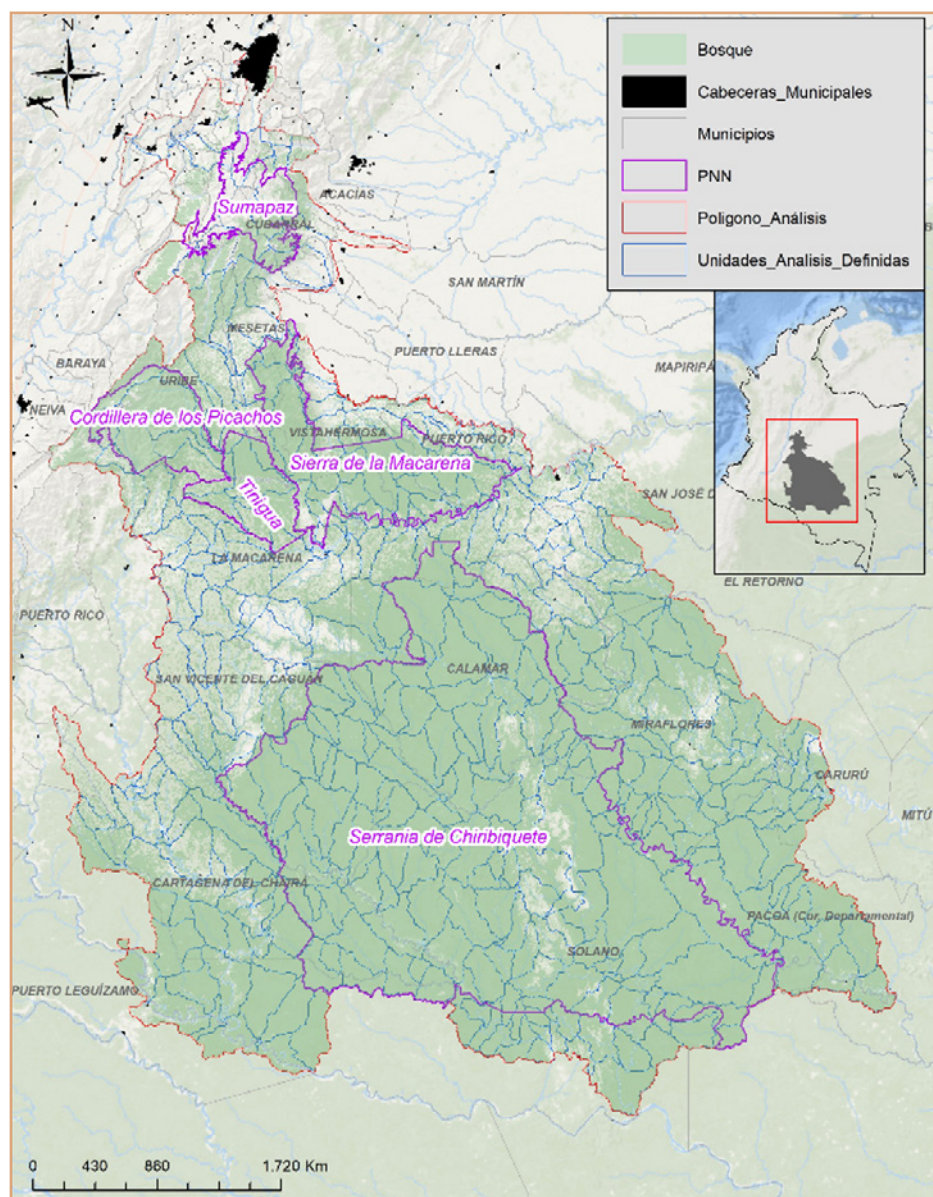


Figura 2.
Paisaje y áreas protegidas seleccionadas para el análisis.

Fuente: Elaboración propia

Proceso de selección de indicadores y metodología para el cálculo de los componentes

Se seleccionaron 51 indicadores que permitieron describir los diversos componentes del análisis; amenazas climáticas, vulnerabilidad y el nivel de riesgo frente a un clima cambiante en sinergia con los motores de pérdida de biodiversidad. La lista de indicadores calculados o utilizados para la escala del paisaje se muestra en la Tabla 1, 10 representan el componente de Amenaza climática, 28 hacen parte

del componente del Vulnerabilidad y ofrecen específicamente información sobre Sensibilidad y Susceptibilidad. Otros 13 indicadores pertenecen al componente de Vulnerabilidad y brindan información de la Capacidad de Adaptación.

Es importante resaltar que, en la mayoría de los casos los indicadores fueron tomados a partir de fuentes de información secundaria como: SIGOT, IGAC,

TCCNCC, IDEAM y NASA. Otros casos, fueron calculados con información disponible en bases de datos libres como Desinventar, GIBIF y SIB y demás fuentes especificadas en el Anexo 1.

Amenaza Climática: Para el cálculo de la Amenaza se elaboró un índice que conjuga los fenómenos o variables climáticas a los que se exponen los elementos y procesos del territorio, como los cambios en la precipitación, cambios en la temperatura y la variabilidad climática interanual. Las proyecciones climáticas utilizadas son la precipitación y la temperatura de los modelos IPSL-CM5ALR y GFDL-ESM2M, trayectoria 8.5, periodo 2040 - 2070 para los cuales se utilizó el downscaling elaborado por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) que a su vez utiliza el método Delta (Ramirez-Villegas & Jarvis 2010). Los cambios de las variables de precipitación y temperatura se realizaron con respecto a la línea base climática 1985-2014.

Otro de los insumos fue la base de datos CHIRPS (Katsanos et al. 2016) que permitió representar la variabilidad climática interanual como El Niño y La Niña a partir de la identificación de los periodos bajo estos extremos climáticos y su comparación con un periodo neutro. En el análisis, los valores de amenaza se representan en las zonas geográficas del área de estudio donde el clima observado, esperado y extremo representa condiciones que pueden poner en peligro el territorio y que constituyen un factor de cambio.

Es importante resaltar que se evaluaron los comportamientos de todos los modelos de las variables de precipitación acumulada anual y de temperatura media anual para el escenario 8.5 del CMIP5 al periodo mencionado. Dado que el polígono del análisis está ubicado en dos regiones que tienen comportamientos climáticos diferentes como son la Amazonía y parte de los Andes hacia el Sumapaz, se dividió utilizando ecorregiones. A partir de esto, se escogieron los dos modelos para cada escenario que tuvieran los comportamientos más extremos en las variables anteriormente mencionadas como son el IPSL-

CM5A-LR y el GFDL-ESM2M. Con base en esta información y los periodos bajo condiciones de El Niño y La Niña se calcularon las variaciones promedio que se presentan durante estos dos fenómenos respecto a la línea base.

Vulnerabilidad climática: El índice de Vulnerabilidad se calculó con el uso de indicadores asociados a Sensibilidad y Susceptibilidad para las dimensiones de ecosistemas, servicios ecosistémicos y biodiversidad como son los cambios en las zonas de vida, distribución potencial de especies, cambios en la oferta hídrica e índice de huella humana. En la dimensión de comunidades y medios de vida se encuentran los indicadores como personas perjudicadas por inundaciones y remoción en masa por cada 100.000 habitantes, viviendas afectadas por inundaciones y remoción en masa, y cambios proyectados entre oferta y demanda de agua para uso agrícola y uso pecuario, entre otros. Por último, la dimensión de infraestructura vial incluye indicadores como susceptibilidad a inundación y susceptibilidad a remoción en masa.

El índice de vulnerabilidad también incluye el grupo de indicadores de Capacidad de Adaptación, para las mismas dimensiones mencionadas anteriormente: Ecosistemas, servicios ecosistémicos y biodiversidad, Comunidades y medios de vida e infraestructura vial. Indicadores como Coberturas de bosque protegidas, inversión per cápita ambiental municipal, respuesta a la ola invernal, índice de necesidades básicas insatisfechas e inversión en conservación de las vías de acuerdo a la tipología de la misma, entre otros. Los detalles y la fórmula del cálculo del Índice de Vulnerabilidad Integrada se muestran en el Anexo 1.

Riesgo: Finalmente, el riesgo fue estimado por medio de la integración de la Amenaza Climática y la Vulnerabilidad:

$$Riesgo_i = A_i \times Vul_i$$

Dónde:

$Riesgo_i$ = es el riesgo integrado de la cuenca i

A_i = es la amenaza de la cuenca i

Vul_i = es la vulnerabilidad integrada de la cuenca i

Tabla 1.

Indicadores seleccionados para el análisis, su clasificación según los componentes (Amenaza y Vulnerabilidad) y dimensiones definidas (Ecosistemas, Servicios Ecosistémicos y Biodiversidad, Comunidades y Medios de Vida, e Infraestructura Vial).

AMENAZA Y EXPOSICIÓN		
DIMENSIÓN	COMPONENTE E INDICADORES	# de Indicadores
Todas las dimensiones	Delta de Temperatura.	4
Todas las dimensiones	Delta de Precipitación.	4
Todas las dimensiones	Variabilidad climática: ENSO.	2
COMPONENTE DE VULNERABILIDAD: INDICADORES DE SENSIBILIDAD Y SUSCEPTIBILIDAD		
DIMENSIÓN	COMPONENTE E INDICADORES	# de Indicadores
Ecosistemas, servicios ecosistémicos y biodiversidad	Cambio en las zonas de vida de Holdridge.	4
	Cambio en la distribución potencial de especies.	4
	Susceptibilidad a remoción en masa.	1
	Huella humana.	1
	Focos de calor por cuenca.	1
	Almacenamiento de Carbono.	4
	Cambios en la oferta hídrica.	4
	Susceptibilidad a inundaciones.	1
Comunidades y medios de vida	Personas perjudicadas por inundaciones y remoción en masa por cada 100.000 habitantes.	1
	Viviendas afectadas por inundaciones y remoción en masa.	1
	Cambio proyectado en oferta/demanda de agua para uso pecuario.	1
	Cambio proyectado en oferta/demanda de agua para uso agrícola.	1
Infraestructura vial	Susceptibilidad a inundación.	1
	Porcentaje de área de cuenca donde la susceptibilidad media, alta y muy alta presentarán un cambio mayor o igual al 10% en la oferta hídrica.	1
	Porcentaje de área de cuenca donde las áreas inundables presentarán un cambio mayor o igual al 10% en la oferta hídrica.	1
	Susceptibilidad a remoción en masa.	1
COMPONENTE DE VULNERABILIDAD: INDICADORES DE CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN		
Ecosistemas, servicios ecosistémicos y biodiversidad	Porcentaje del territorio en áreas protegidas e iniciativas de conservación registradas.	1
	Coberturas de bosque protegidas.	1
	Índice de eficiencia en el uso del agua.	1
	Inversión per cápita ambiental en el municipio.	1

Continúa ➔

Continúa

COMPONENTE DE VULNERABILIDAD: INDICADORES DE CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN		
DIMENSIÓN	COMPONENTE E INDICADORES	# de Indicadores
Comunidades y medios de Vida	Índice de desempeño integral municipal y departamental.	1
	Respuesta a la ola invernal.	1
	Asignación de recursos para el Programa de Enfermedades Transmitidas por Vectores – ETV.	1
	Índice de necesidades básicas insatisfechas.	1
	Inversión acumulada en reducción del riesgo.	1
	Inversión en conocimiento del riesgo.	1
	Inversión en adaptación al cambio climático.	1
	Inversión en mitigación del cambio climático.	1
Infraestructura vial	km de red vial por tipología de vía (primaria, secundaria) /Inversión en conservación de las vías.	1

Análisis de amenazas climáticas y elementos expuestos

Los mayores niveles de precipitación total actual se ubican en la parte suroriental del PNN Sumapaz con valores cercanos a los 6329 milímetros anuales. El suroccidente del PNN Chiribiquete también presenta niveles altos de precipitación con valores superiores a los 3900 milímetros por año. Los niveles más bajos se observan principalmente en el suroccidente y el norte del PNN Sumapaz. El resto del territorio y sus áreas protegidas presentan niveles medios (2500 – 3000 mm por año).

Cambios esperados a 2070 en la precipitación:

Se esperan aumentos de precipitación en zonas que presentaban niveles medios del PNN Sierra de la Macarena, PNN Cordillera de los Picachos y PNN Tinigua. Se resalta un aumento de precipitación al suroeste de las zonas aledañas al PNN Sumapaz. Por otra parte, se calculan reducciones en casi la totalidad del Área Protegida (AP). Para el caso del PNN Picachos y paisajes circundantes se esperan reducciones en el noroccidente y suroccidente, mientras que los aumentos se observan al sur oriente, otras zonas se mantienen en niveles medios de precipitación (Figura 3).

También se observan aumentos para la totalidad del PNN Tinigua y gran parte de su área circundante (alrededor del 20%), así como para el norte del PNN Sierra de la Macarena (22%). Otras zonas del PNN Macarena también presentan aumentos, pero en menor proporción (10%). En contraste, el PNN Chiribiquete y sus áreas aledañas presentan reducciones en la precipitación de hasta el 20%.

Al interpretar el mapa de cambios en la precipitación a futuro, las mayores disminuciones se observan en casi la totalidad del PNN Sumapaz (zona andina) y en el costado suroriental del PNN Chiribiquete. Los mayores aumentos se observan en la zona norte del PNN Sumapaz y en la zona norte de la región andina del área de estudio, zona de transición de la Amazonia a la Orinoquia (al norte del PNN Macarena y Tinigua, así como dentro de las áreas protegidas y al suroccidente del PNN Picachos).

Cambios esperados a 2070 en la temperatura: Se esperan las menores temperaturas en las áreas protegidas de las zonas montañosas que poseen ecosistemas altoandinos. Los niveles medios de tem-

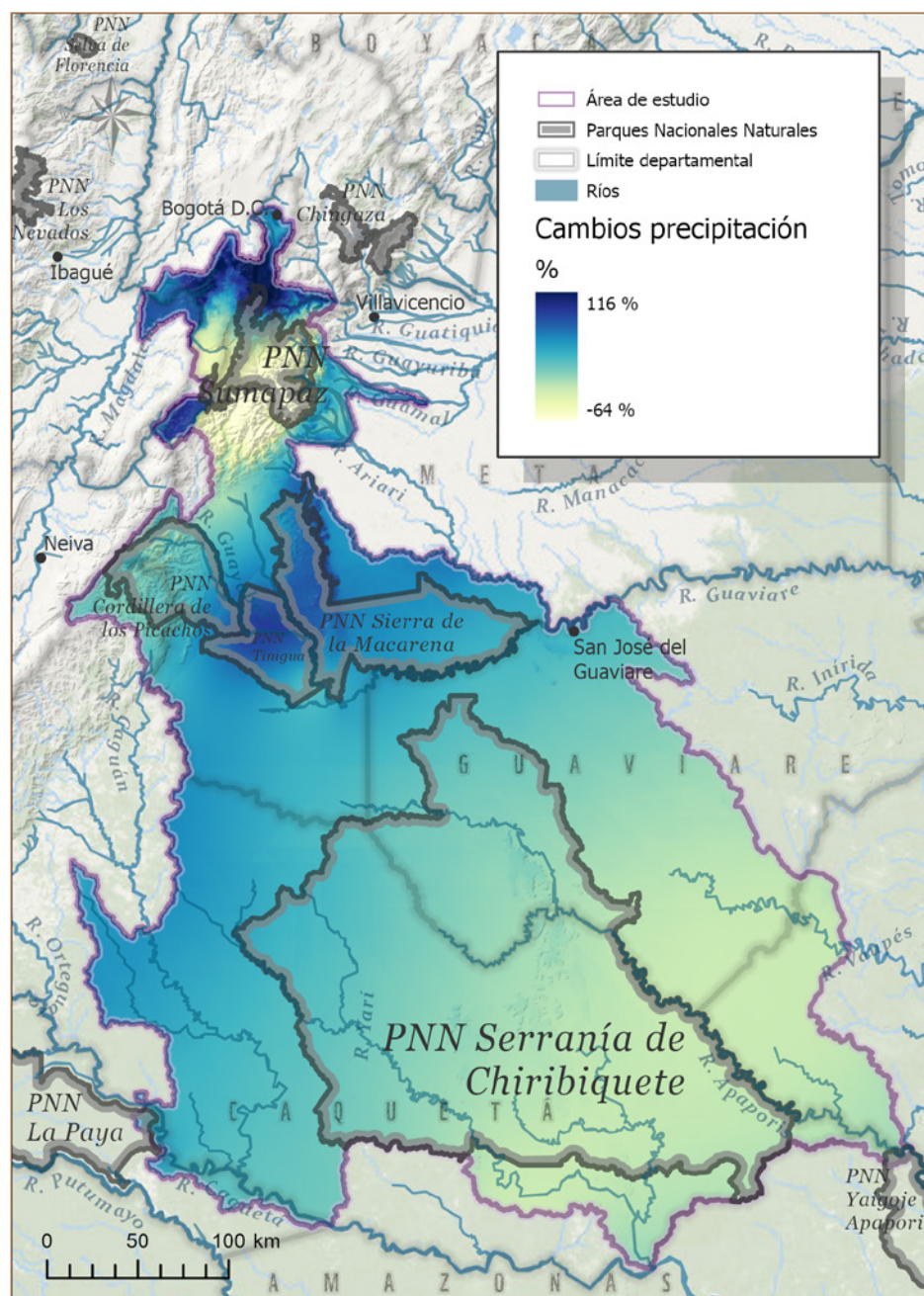


Figura 3.
Porcentaje de cambio
futuro en la precipitación
en el área de estudio al
año 2070.

Fuente: Elaboración propia

peratura se presentan en las zonas de transición del PNN Sumapaz, zonas centrales del PNN Cordillera de los Picachos y Parte norte del PNN Sierra de la Macarena. Las temperaturas más altas se presentan en el suroriente del PNN Picachos, el PNN Tinigua, oriente del PNN Sierra de la Macarena y casi la totalidad del PNN Chiribiquete y su paisaje circundante. Algunas zonas centrales de este último presentan niveles medios.

Para el escenario futuro se esperan aumentos en todo el paisaje, los principales en el PNN Sumapaz y su zona aledaña, así como al costado occidental del PNN Cordillera de los Picachos. Los menores cambios se esperan en El PNN Chiribiquete y PNN Tinigua, incluyendo sus territorios circundantes (Figura 4).

Los resultados de la **amenaza integrada** sugieren cambios en el paisaje que pueden representar condiciones desfavorables a futuro para distintos territo-

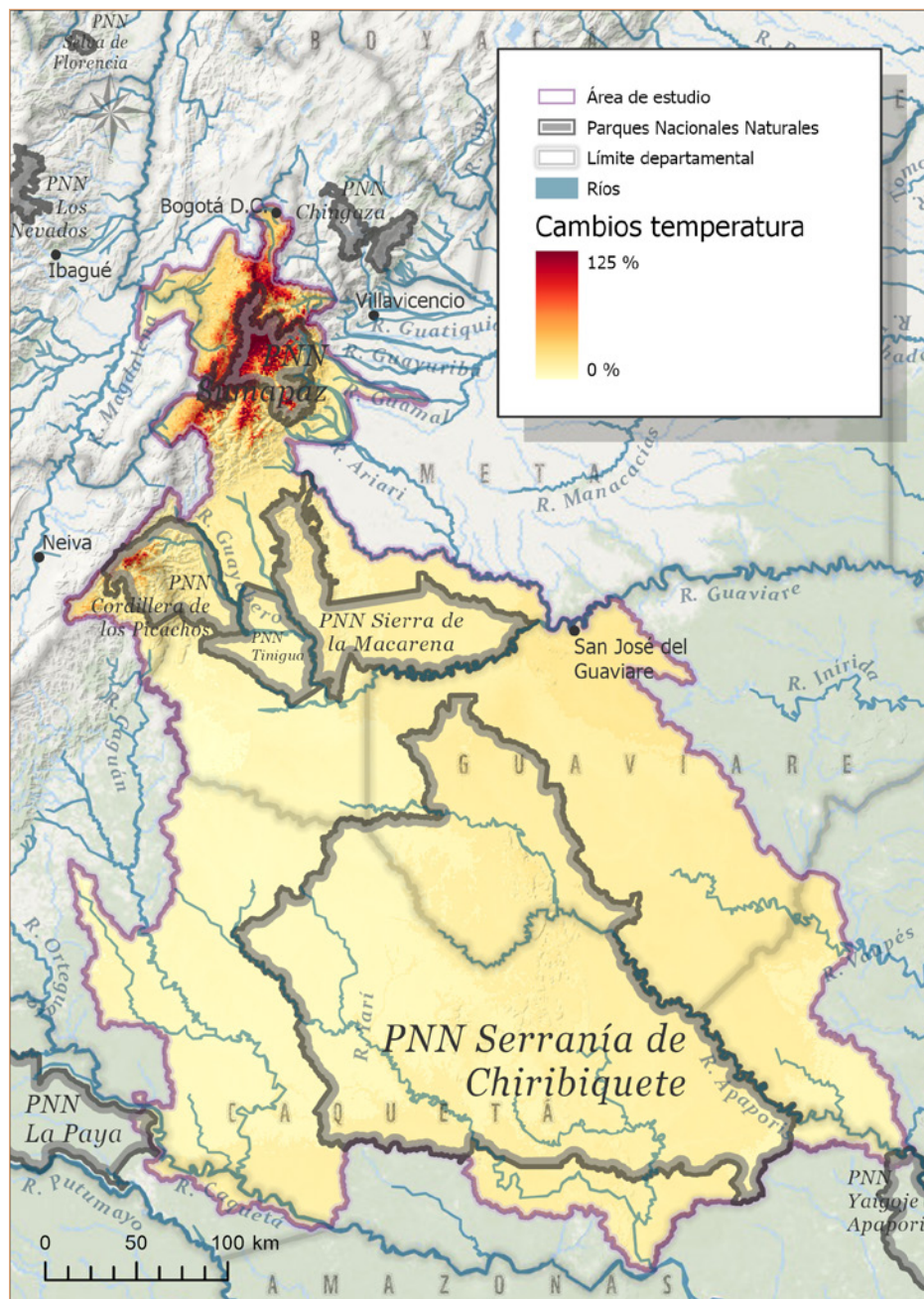


Figura 4.

Porcentaje de cambio futuro en la temperatura media anual en el área de estudio al año 2070.

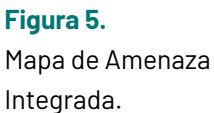
Fuente: Elaboración propia a partir de Ramírez-Villegas y Jarvis, 2010

rios. En el caso de Sumapaz y su paisaje, los niveles de amenaza climática se presentan predominantemente entre medio y muy bajo. Existe un pequeño sector en el departamento del Huila en el suroccidente del área protegida, cuenca del río Cabera con nivel muy alto de amenaza. Las zonas con niveles medios son la parte sur del Distrito Capital de Bogotá, parte Norte en el área protegida. Las demás zonas analizadas presen-

tan niveles bajos y muy bajos de amenaza, especialmente en el Sur del AP.

El PNN Serranía de los Picachos y su paisaje presentan niveles bajos en el sur, en Caño Templado y el Río platanito, entre otros. Los niveles muy bajos se observan en la zona Norte, Río Leiva o Guaduas. El PNN Tinigua y área circundante poseen niveles entre medio, bajo y muy bajo de amenaza climática. Los niveles medios se

El PNN Chiribiquete presenta niveles altos de amenaza climática en la zona occidental en parte de la cuenca del río Yarí, los niveles medios se observan un poco más hacia el oriente alrededor de Cartagena del Chairá, en las cuencas de los ríos Camuya y Yarí. Los niveles bajos en las cuencas de los ríos Macayá, Ajajú, Apaporis, Mesay y Cuñaré en el sector oriental del PNN (Figura 5).



Fuente: Elaboración propia.

Análisis de vulnerabilidad climática

La vulnerabilidad climática fue estimada a partir del cálculo de indicadores que evidenciaban sensibilidad y susceptibilidad frente a la variabilidad y el cambio climático. Como parte de la Vulnerabilidad, la Capacidad de Adaptación se estimó con el uso de indicadores que describieran capacidades existentes en el territorio para recuperarse del progresivo impacto de un clima cambiante.

Como se describió anteriormente, los análisis desarrollados para el obtener el índice de Vulnerabilidad fueron numerosos, en esta sección, se muestran algunos de estos resultados y el mapa del Índice de Vulnerabilidad que integra todos los mencionados para medir Susceptibilidad, Sensibilidad y Capacidad de

Adaptación. El detalle del cálculo de los indicadores más importantes se muestra en el Anexo 1.

Frecuencia de quemas e incendios: Los datos de focos de calor de la Nasa (Schroeder *et al.*, 2014. Disponible en: <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms>) demuestran que las quemas y, algunos incendios forestales, se presentan especialmente fuera de las áreas protegidas como el PNN Chiribiquete y PNN Sierra de la Macarena, salvo algunas excepciones. Sin embargo, se observan numerosas quemas y/o incendios en el PNN Sumapaz, PNN Cordillera de los Picachos y Tinigua, siendo esta última, el área protegida más afectada por la mala práctica de la quema (Figura 6).

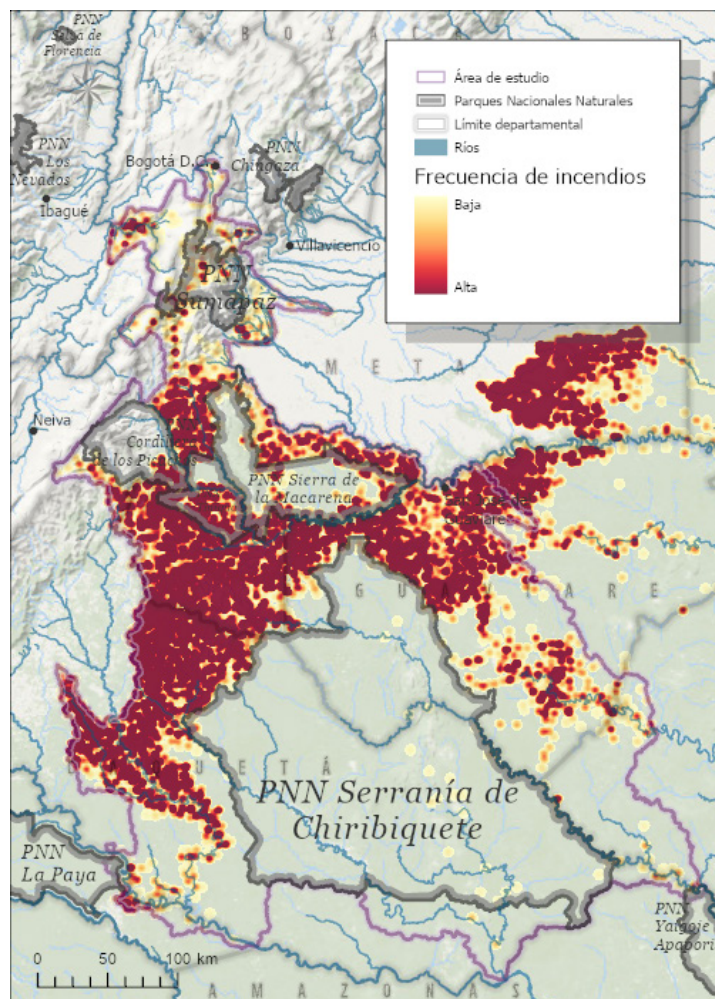


Figura 6.

Focos de calor en el área de estudio.
Periodo 2000 - 2020.

Fuente: Elaboración propia.

Aunque la mayoría de quemas e incendios forestales en Colombia son producidos por las poblaciones humanas como parte de algunas prácticas productivas, son fenómenos que puede tener mayores impactos en los ecosistemas durante épocas de menor precipitación, razón por la cual fue importante considerarlo en el análisis.

Los resultados indican el avance de las dinámicas de transformación antrópica desde las zonas circundantes de las áreas protegidas hacia adentro, lo cual hace urgentes mayores medidas para mejorar la gestión y conservación de los ecosistemas del paisaje para hacerlos mas resilientes en un panorama de clima cambiante. Por otra parte, se observa como las tendencias de transformación en sus alrededores están afectando la función de las zonas aledañas como

amortiguadoras y de conectividad en los principales núcleos de conservación del paisaje.

Susceptibilidad a remoción en masa: La mayor proporción de áreas susceptibles a deslizamientos se ubican en las zonas montañosas del paisaje analizado, como el PNN Sumapaz, Cordillera de los Picachos y PNN Serranía de la Macarena. Allí, los niveles oscilan entre muy alto y medio. Las zonas clasificadas con nivel muy alto se ubican en la parte norte del paisaje del PNN Sumapaz. Los niveles alto y medio se ubican en la mayor parte del PNN Sumapaz, PNN Picachos y la zona norte del PNN Sierra de la Macarena. Debido a la geografía del resto del territorio, los PNN Tinigua, Chiribiquete y demás zonas del PNN Macarena presentan niveles bajos y muy bajos (Figura 7).

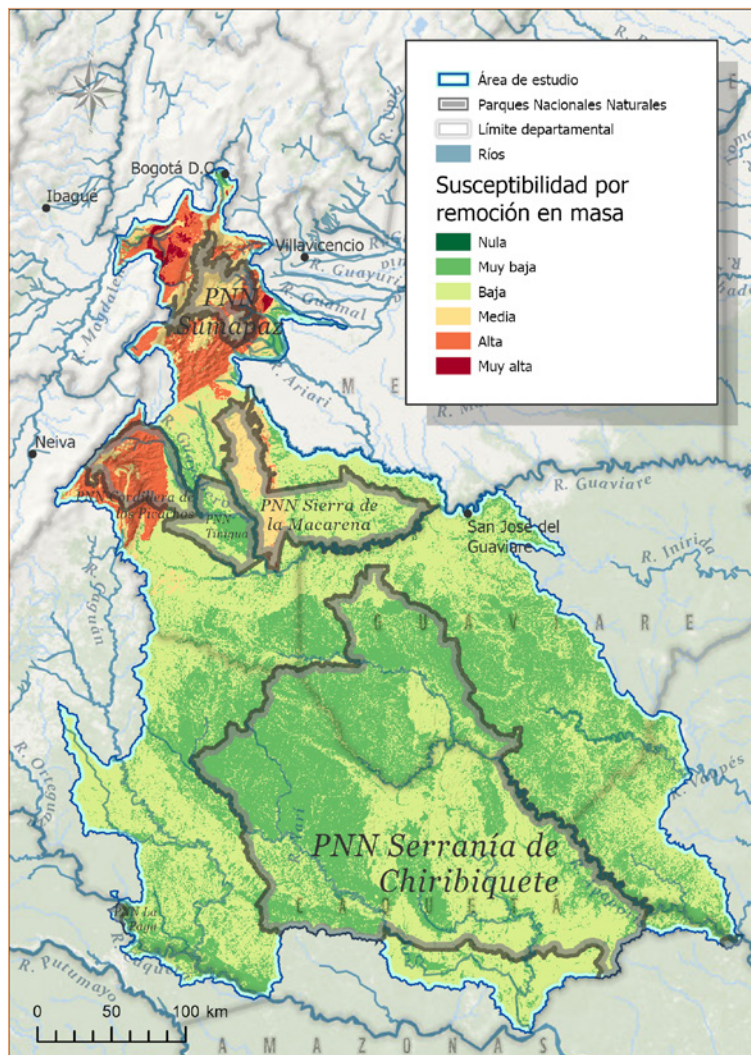


Figura 7.

Zonas susceptibles a eventos de remoción en masa.

Fuente: Elaboración propia.

Índice de Capacidad de Adaptación: Los valores muy bajos de capacidad de adaptación se presentan en zonas específicas de los PNN Sumapaz – al occidente, PNN Picachos – al suroccidente, Tinigua – al norte y PNN Macarena – al norte y al oriente. El PNN Chiribiquete presenta un nivel medio de capacidad de adaptación en casi la totalidad de su área, por los bajos valores de los indicadores enfocados a la dimensión de Comunidades y medios de vida que estiman el desempeño integral municipal, la respuesta a la ola invernal, la asignación de recursos para el Programa de Enfermedades Transmitidas por Vectores – ETV, el Índice de Necesidades básicas insatisfechas, la Inversión acumulada en reducción del riesgo, la In-

versión en conocimiento del riesgo y la Inversión en adaptación y mitigación al cambio climático. En este sentido, los resultados de Chiribiquete deben analizarse entendiendo el contexto de la gestión institucional en zonas de alta integridad ecológica como el PNN donde la presencia institucional responde a las particularidades del territorio y tribus no contactadas. PNN Sierra de la Macarena, PNN Picachos y PNN Tinigua sus territorios varían en niveles medio y bajo principalmente. Los niveles alto y muy alto de capacidad de adaptación se observan principalmente en áreas circundantes de los PNNs, excepto en el PNN Sumapaz, donde la mayor proporción está clasificada como tal (Figura 8).

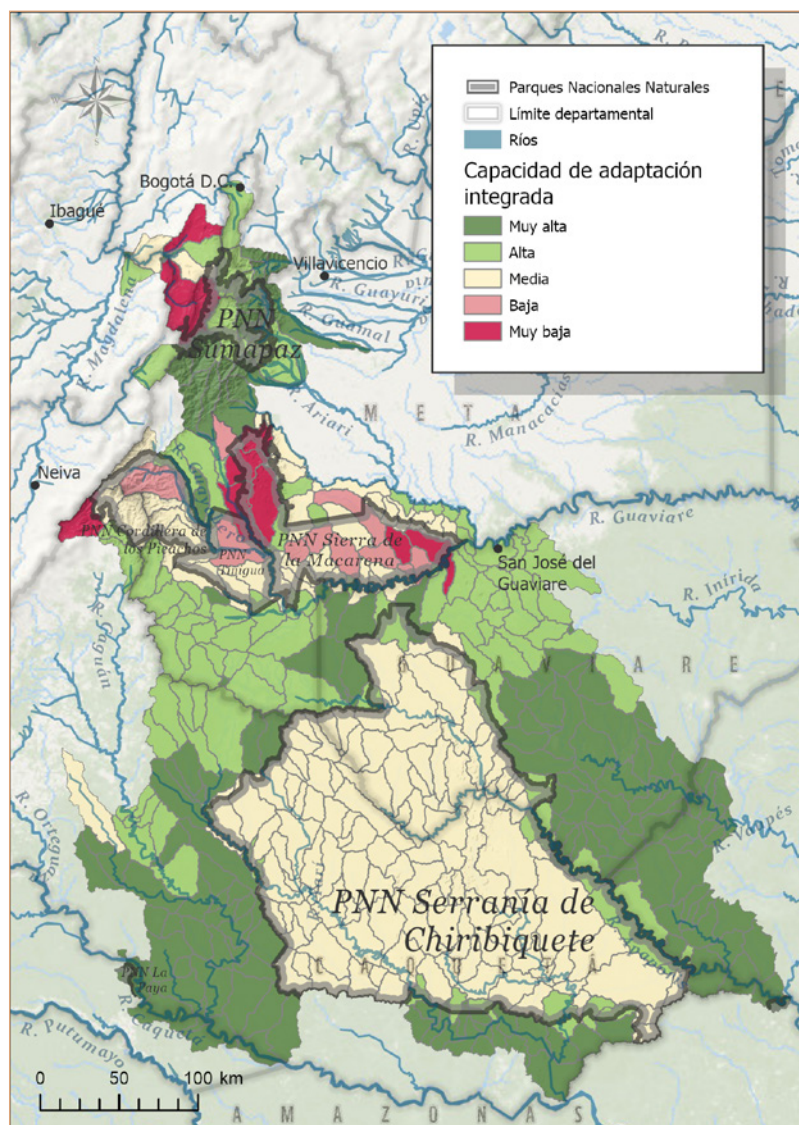


Figura 8.
Resultado del Índice
de Capacidad de Adaptación.
Fuente: Elaboración propia.

Los sectores con alta vulnerabilidad de la cuenca del río Cachama se extienden hasta atravesar la parte central del PNN Sierra de la Macarena. Al norte se presentan niveles altos de vulnerabilidad, en quebradas afluentes del río Güejar. El nivel medio también se focaliza en importantes zonas del centro y norte del AP y sus múltiples cuencas. Los niveles bajo y muy bajo se observan en diversas áreas del territorio.

Por su extensión, pero también debido al avance de las amenazas antrópicas, el área de influencia del PNN Chiribiquete posee la mayor extensión con nivel de

vulnerabilidad alta de todo el análisis, resultados que ponen en riesgo al AP y sugieren medidas urgentes de manejo. Las zonas de nivel muy alto de vulnerabilidad y alto se ubican en el oriente y sur del área de influencia hacia el AP especialmente al oriente, también se resalta una porción en alta vulnerabilidad en la zona norte de la zona de influencia del AP. La mayor parte del AP posee un nivel medio donde se resaltan las cuencas de los ríos Cuñaré y Mesay, y múltiples afluentes. El resto del territorio del PNN presenta niveles bajo y muy bajo hacia el norte y noroccidente (Figura 9).

RIESGO CLIMÁTICO

Los territorios del paisaje y sus áreas protegidas presentan niveles de riesgo diversos, debido a las condiciones de amenaza y vulnerabilidad de cada contexto. El Paisaje del PNN Sumapaz, Picachos y Chiribiquete presentan niveles de riesgo muy altos, lo cual está influenciado principalmente por el avance de la frontera agropecuaria hacia las áreas protegidas (ver Huella Humana – Anexo 1) y la poca inversión en riesgo, adaptación y mitigación (entre otros indicadores contemplados en el análisis).

Para el caso de los niveles alto, medio y bajo de riesgo climático integrado estos se presentan en todas las áreas protegidas y zonas de influencia (Figura 10).

El índice de Riesgo Integrado está muy influenciado por las condiciones de vulnerabilidad analizadas en el estudio, aspectos que aún se pueden fortalecer desde la gestión de la conservación, la gestión del riesgo de desastres, la planificación de la adaptación y el manejo sostenible del paisaje, entre otras estrategias para la resiliencia.

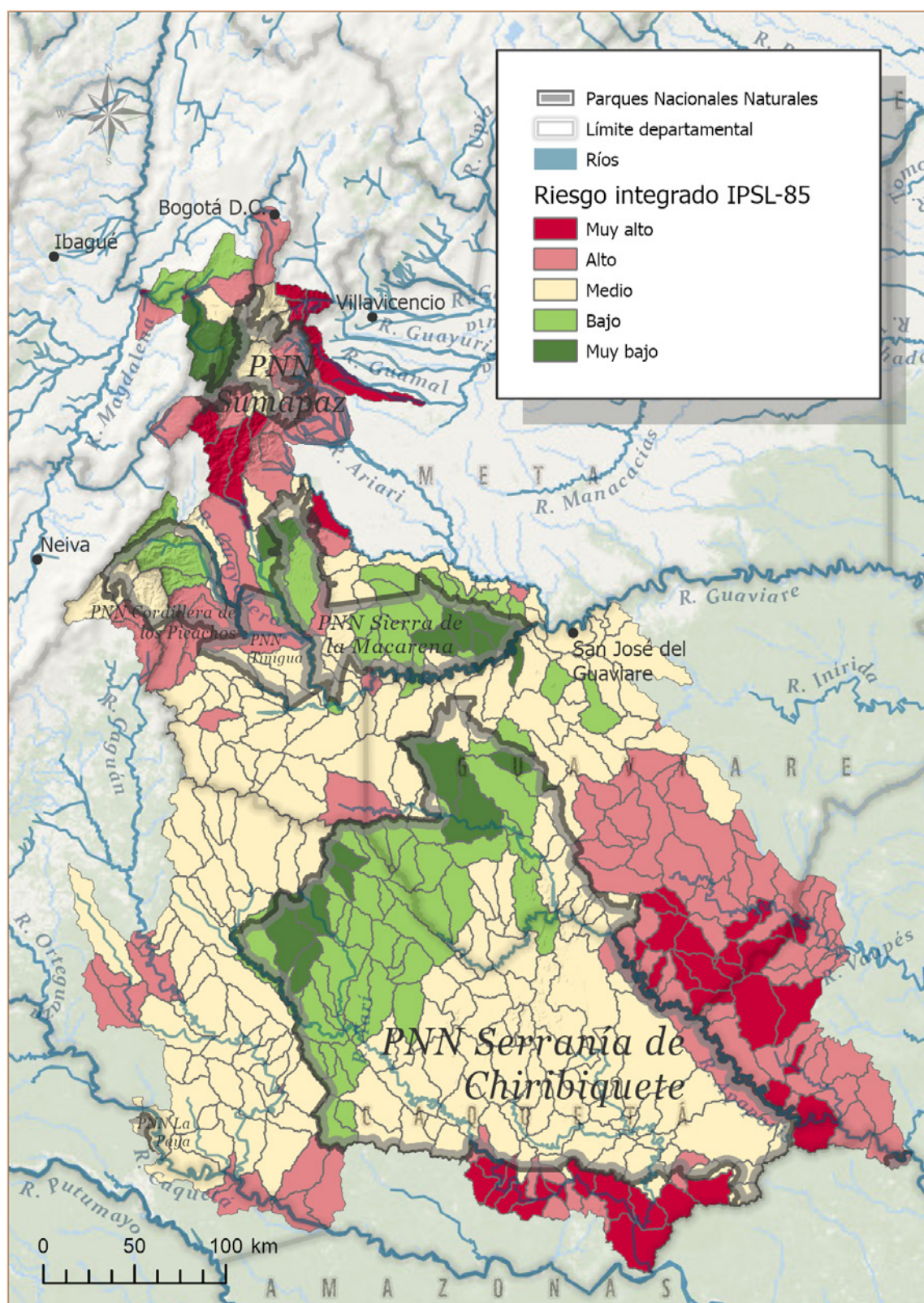


Figura 10.
Índice de Riesgo Integrado.
Fuente: Elaboración propia.

Recomendaciones para el aumento de la capacidad de adaptación y reducción de riesgos climáticos



Estrategias para el aumento de la integridad ecológica y conectividad: Los resultados del análisis de vulnerabilidad y riesgo climático muestran aumentos en la temperatura y cambios en la precipitación futuros (Índice de Amenaza Integrada), importantes afectaciones en los ecosistemas de las áreas aledañas a los Parques Nacionales y fragmentación del paisaje a lo largo del gradiente altitudinal seleccionado.

Dichas afectaciones analizadas por medio de la estimación de la Huella Humana son ocasionadas principalmente por la deforestación, el crecimiento poblacional, el desarrollo de infraestructura y la extracción de recursos naturales (ej. la minería). Este proceso de transformación disminuye la integridad ecológica de los ecosistemas, los servicios ecosistémicos, la capacidad de adaptación y resiliencia frente al cambio climático y en consecuencia, afecta la seguridad humana. Teniendo en cuenta lo anterior, se recomienda:



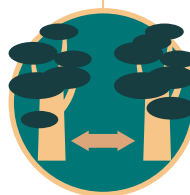
La implementación de estrategias complementarias de conservación adicionales a las áreas protegidas.



La orientación de sistemas agrícolas y pecuarios con criterios de sostenibilidad.



La recuperación, rehabilitación y/o restauración de los ecosistemas degradados y estratégicos.



El diseño e implementación de una estructura ecológica principal para el paisaje que permita el flujo de procesos ecológicos y socioculturales con niveles de resiliencia deseados.

Estos esfuerzos orientados y alineados a procesos de ordenamiento territorial que incluyan al clima cambiante como una amenaza, pueden facilitar la generación de mayores coberturas y extensión de los ecosistemas, el retorno de los beneficios que estos prestan a las comunidades humanas y el flujo de procesos ecológicos que faciliten la adaptación de las especies, comunidades y ecosistemas.

Aumento de la capacidad de adaptación frente al riesgo de desastres: Los análisis a escala de paisaje y las percepciones de los actores locales sugieren la ocurrencia de eventos relacionados con el clima, que aumentan la vulnerabilidad por influencia del cambio climático y la variabilidad. En el pasado, se han presentado Remociones en Masa, Inundaciones, Vendavales, Heladas, Incendios Forestales, Avenidas To-

rrenciales y Olas de Calor que han generado impactos que afectan a las comunidades y sus medios de vida, a los ecosistemas y a los procesos productivos, ocasionando daños y pérdidas.

Ante este panorama de vulnerabilidad y riesgo es necesario fortalecer las medidas de adaptación y planes en gestión del riesgo de desastres, una de las líneas de trabajo tradicionales de los PNN, Corporaciones Ambientales, Gobernaciones y Municipios. Se espera que, por la incidencia del cambio climático, estos eventos sean cada vez más intensos y frecuentes, lo cual constituye mayores retos en la Gestión del Riesgo de Desastres y sugiere el mejoramiento de las medidas promovidas para el aumento de la Capacidad de Adaptación y la Resiliencia de las Áreas protegidas y sus paisajes, algunas de estas medidas son:



Sistemas productivos sostenibles y adaptados al clima cambiante: Los cambios graduales esperados a causa del cambio climático, también constituyen un reto para las comunidades y sus sistemas productivos. El aumento en la temperatura, las variaciones en la precipitación, los cambios en la humedad, los vientos y la radiación solar afectan la aptitud y productividad de los principales cultivos o actividades pecuarias de la zona. Estos impactos esperados implicarán la evaluación de las afectaciones específicas en cultivos, sistemas pecuarios y la identificación de alternativas productivas

que permitan la adaptación o el tránsito hacia nuevas fuentes o actividades económicas.

Como se mencionó anteriormente, los fenómenos de variabilidad climática también han afectado los sistemas productivos en el pasado y se espera que su incidencia negativa sea más frecuente e intensa. Se recomienda la implementación urgente de medidas de adaptación y cobeneficios de mitigación que disminuyan riesgos por inundación, deslizamientos, heladas, vendavales, escasez hídrica, entre otros fenómenos relacionados con el clima:



Zonificación de amenazas climáticas en áreas destinadas a la producción.



Cálculo de impactos futuros en cultivos y actividades prioritarias de sustento para las comunidades locales y la definición de soluciones para disminución de los riesgos asociados a cambios en el clima.



Establecimiento de sistemas de riego o reservorios de agua en zonas afectadas por escasez hídrica para actividades de producción y el consumo humano.



Restauración, rehabilitación y recuperación de zonas de importancia para el abastecimiento hídrico de comunidades y actividades productivas.



Búsqueda de alternativas productivas que fortalezcan la economía local y/o comunitaria.

Ordenamiento territorial y adaptación planificada: Al igual que la Gestión del Riesgo de Desastres, el Ordenamiento Territorial y la Planificación son líneas de trabajo tradicionalmente implementadas por las instituciones oficiales. En los últimos años, el país ha emprendido la tarea de incorporar diagnósticos y medidas frente al cambio climático y la variabilidad en sus instrumentos de planificación. Teniendo en cuenta lo anterior y los resultados obtenidos en el análisis, se sugiere continuar con dicha tarea, siendo cada vez más efectivos y logrando soluciones reales en los territorios vulnerables.

Otra acción prioritaria es la actualización de la zonificación de áreas de riesgo y la identificación de medidas que permitan aumentar la resiliencia de las comunidades, los ecosistemas y procesos de las Áreas protegidas y sus paisajes circundantes. Es relevante recordar el papel que cumplen las áreas protegidas y sus zonas circundantes como proveedoras de beneficios ecosistémicos y como escenarios ideales para la implementación de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN). Son SbN sugeridas para el territorio evaluado:



La gestión y conservación de suelos.



La agroforestería.



La bioingeniería.



Las buenas prácticas pecuarias, agrícolas y pesqueras.



La infraestructura verde.



Las barreras rompeviento.



Los sistemas de protección y manejo forestal, y los sistemas de restauración ambiental.

Gestión de la información, monitoreo y alertas tempranas: El manejo de información a diversas escalas temporales y espaciales es fundamental para la identificación del comportamiento del clima, las amenazas climáticas, fenómenos relacionados y para el diseño de acciones prioritarias que permitan promover la adaptación climática. Es prioritaria la identificación de vacíos de información en investigación y el desarrollo de procesos de monitoreo en torno a los servicios ecosistémicos, así como la implementación de sistemas de alertas tempranas que

permitan la prevención de desastres y degradación de los ecosistemas de las áreas protegidas y sus paisajes circundantes. Por esta razón, es fundamental la inclusión del cambio y la variabilidad climática como elementos transversales de estas líneas de trabajo también es prioritario lograr la articulación institucional en torno a los resultados del análisis de vulnerabilidad y riesgo, y las soluciones a emprender en el paisaje para mantener la resiliencia y capacidad de adaptación deseadas. Como acciones pertinentes se resaltan:



¿Como involucrar esta información en la planeación del manejo de las áreas protegidas y sus paisajes?



El cambio climático es un tema transversal en la estructura de los planes de manejo y por lo tanto, en la implementación de estrategias y su seguimiento en términos de efectividad (Ospina *et al.* 2020, Rodríguez *et al.* 2017). El análisis de vulnerabilidad y riesgo climático para las áreas protegidas de la transición Andes, Orinoquía y Amazonia y sus paisajes circundantes, es de utilidad para la identificación de la situación actual y de los elementos claves a ser incorporados en los instrumentos de planificación, como el Plan de Manejo del AP y la implementación de acciones.

Es recomendable que la información climática se describa en el **diagnóstico** sobre la condición actual del AP por medio de la inclusión del clima actual representado por variables como la precipitación total anual, la temperatura media anual y la descripción de fenómenos de variabilidad climática que tengan incidencia en el territorio (insumos generados en el proceso de cálculo de la amenaza climática para este caso).

Como se evidenció en el análisis, los impactos del cambio y la variabilidad climática generarán transformaciones ecológicas en las áreas protegidas, incluso sobre los valores objeto de conservación como las especies. Por esta razón se recomienda propiciar la selección de **objetivos de conservación** que incluyan los servicios ecosistémicos más relevantes para las comunidades beneficiarias de las áreas protegidas y

que se puedan mantener por medio del manejo a pesar de los cambios esperados (Ospina *et al.* 2020).

Los análisis de vulnerabilidad y riesgo climático sirven como un ejercicio que genera numerosos aprendizajes en los equipos de las AP, facilitan la comprensión de este panorama de transformación a causa del cambio climático e implicaciones en la definición de los objetivos de conservación. Para la descripción de las **amenazas**, en este caso la representada por los cambios en el clima, las modelaciones desarrolladas en el análisis ofrecen proyecciones a varias décadas y por lo tanto permitieron estimar el cambio climático esperado en el AP y zona aledaña, cartografía y datos que pueden ser incluidos en la sección de Amenaza del plan de manejo.

El análisis también brindó una descripción de la vulnerabilidad existente en el paisaje de interés y sus AP, la cual es calculada a partir de diversos análisis que brindan aproximaciones al estado de los ecosistemas, la biodiversidad, las comunidades y sus medios de vida y la infraestructura vial. Se recomienda que estas descripciones sean incluidas en el componente **diagnóstico** del plan de manejo. Los indicadores y modelaciones de cambio climático que evidencian los impactos producidos por las amenazas climáticas y fenómenos detonados o potenciados por eventos de variabilidad climática como las inundaciones, deslizamientos, condiciones extremas de sequía, focos de calor, los vendavales, las avenidas torrenciales, y de-

más pertinentes deben ser incluidos en la descripción de condiciones de **riesgo** del plan de manejo. En esta sección también se pueden incluir los datos y cartografía del riesgo integrado.

A partir de los resultados del análisis de vulnerabilidad y riesgo climático se diseñaron recomenda-

ciones y acciones orientadas a disminuir los riesgos climáticos, a aumentar la capacidad de adaptación y la resiliencia en las AP y su paisaje. Estas recomendaciones pueden ser fácilmente relacionadas con las **estrategias de manejo** de PNN y ser incluidas **en el plan de acción**.

Literatura citada



- CORINE LAND Cover 2010 – 2012. IDEAM, IGAC y COR-MAGDALENA. 2008. Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corporación Autónoma Regional del río Grande de La Magdalena. Bogotá, D.C., 200p. + 164 hojas cartográficas.
- Holdridge, L. R. (1947). Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science*, 105(2727), 367-368.
- IDEAM, GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE INUNDACIÓN. 2017. Bogotá, D.C. 110 páginas.
- IDEAM (2019). Estudio Nacional del Agua 2018. Bogotá: Ideam: 452 pp.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. 2017. Tercera Comunicación Nacional de Colombia a La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (CMNUCC). Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia.
- IDEAM. 2012. Metodología para la Zonificación de Susceptibilidad General del Terreno a los Movimientos en masa. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Bogotá D.C., Colombia. 26 p.
- IPCC, 2014. Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resúmenes, preguntas frecuentes y recuadros multicapítulos. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (eds.)]. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra (Suiza), 200 págs. (en árabe, chino, español, francés, inglés y ruso).
- IPCC, 2019. Resumen para responsables de políticas. Versión en PDF. 32 p.
- IPCC, 2019. Resumen para responsables de políticas, Resumen técnico y Preguntas Frecuentes. Versión en PDF. 32 p.
- Katsanos, D., Retalis, A., & Michaelides, S. 2016. Validation of a high-resolution precipitation database (CHIRPS) over Cyprus for a 30-year period. *Atmospheric Research*, 169, 459-464.
- Ospina Moreno, M., Chamorro Ruiz, S., Anaya García, C., Echeverri Ramírez, P., Atuesta, C., Zambrano, H., Abud, M., Herrera, C., Ciontescu, N., Guevara, O., Zarrate, D. y Barrero, A. 2020. Guía para la planificación del manejo en las áreas protegidas del Sinap Colombia. 159 pp. Cali – Colombia.
- Ramirez-Villegas, J. & A. Jarvis (2010) Downscaling global circulation model outputs: the delta method decision and policy analysis Working Paper No. 1. Policy Analysis, 1, 1-18.
- Rodríguez, S.R. Lineamientos institucionales para afrontar el clima cambiante desde las áreas protegidas. Parques Nacionales Naturales de Colombia. Bogotá D.C. Colombia 2017.
- Sharp, R., Douglass, J., Wolny, S., Arkema, K., Bernhardt, J., Bierbower, W., Chaumont, N., Denu, D., Fisher, D., Glowinski, K., Griffin, R., Guannel, G., Guerry, A., Johnson, J., Hamel, P., Kennedy, C., Kim, C.K., Lacayo, M., Lonsdorf, E., Mandle, L., Rogers, L., Silver, J., Toft, J., Verutes, G.,

Vogl, A. L., Wood, S, and Wyatt, K. 2020, In-VEST 3.9.0.post71+ug.gfb92465 User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.

Schroeder, W., Oliva, P., Giglio, L., & Csiszar, I. a. (2014). The New VIIRS 375m active fire detection data product: Algorithm description and initial assessment. *Remote Sensing of Environment*, 143, 85–96.

OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN:

Áreas protegidas RUNAP 2020.

Cuerpos de agua. Información espacial. Fuente: Coberturas y usos de la tierra: CORINE LAND Cover 2010-2012.

Densidad poblacional: Landscan 2018. Bright, E. A., Rose, A. N., Urban, M. L., & McKee, J. Land-Scan 2017 high-resolution global population data set.

DANE, 2019. Inversión per cápita ambiental por municipio.

DNP 2019. Indicadores de Seguimiento. <https://www.dnp.gov.co/DNP/sistema-integrado-de-gestion/Paginas/indicadores-de-seguimiento.aspx>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)

Vías de Colombia. Información espacial. Fuente: IGAC
IUCN 2021 en <https://portals.iucn.org/library/node/49075>

ANEXO 1

FICHAS PARA EL CÁLCULO DE LOS INDICADORES POR COMPONENTE

El Anexo 1 muestra diez de los más de 32 indicadores, cálculos y/o modelaciones generados en el análisis de Vulnerabilidad y Riesgo Climático, seleccionados por su pertinencia, utilidad e importancia para la toma de decisiones. La información para el cálculo de los índices o indicadores se organizó en fichas que resumen las características, el proceso metodológico y el resultado principal de cada uno, entre otros datos.



Amenaza



Vulnerabilidad



Riesgo

Fotografía: Parques Nacionales Naturales de Colombia

1	Nombre del Indicador: Amenaza Integrada: Modelo IPSL – Escenario 8.5	Componente: Amenaza   
Dimensión: Todas las dimensiones, las cuales representan los elementos expuestos en el análisis: • Ecosistemas, Beneficios Ecosistémicos y su Biodiversidad • Comunidades y Medios de Vida • Infraestructura Vial Descripción: Este indicador describe el componente de amenaza climática dentro del análisis de vulnerabilidad y riesgo climático. Conjuga variables climáticas a las que se exponen los elementos del sistema como son los cambios en la precipitación, cambios en la temperatura y la variabilidad climática interanual. Las proyecciones climáticas utilizadas son la precipitación y la temperatura de los modelos IPSL-CM5ALR y GFDL-ESM2M, trayectoria 8.5 al periodo 2040 – 2070 para los cuales se utilizó el downscaling elaborado por el CIAT que a su vez utiliza el método Delta (Ramírez-Villegas and Jarvis 2010). Los cambios de las variables de precipitación y temperatura se realizaron con respecto a la línea base climática del periodo 1985–2014. En el cálculo del indicador de amenaza también se utilizó como insumo la base de datos CHIRPS (Katsanos et al. 2016) para representar la variabilidad climática interanual de El Niño y La Niña a partir de la identificación de los periodos bajo estos fenómenos y su comparación con un periodo neutro.		Fórmula $A_i = CpT + CpP + CpP_{Niño} + CpP_{Niña}$ Donde CpT = Cambio Porcentual en la temperatura CpP = Cambio Porcentual en la precipitación $CpP_{Niño}$ = Cambio Porcentual en la precipitación durante El Niño $CpP_{Niña}$ = Cambio Porcentual en la precipitación durante La Niña
Fuentes de Información utilizadas: Katsanos, D., Retalis, A., & Michaelides, S. (2016). Validation of a high-resolution precipitation database (CHIRPS) over Cyprus for a 30-year period. <i>Atmospheric Research</i>, 169, 459–464. Ramírez-Villegas, J. & A. Jarvis (2010) Downscaling global circulation model outputs: the delta method decision and policy analysis Working Paper No. 1. Policy Analysis, 1, 1–18.		Principales resultados: Al conjugar las variables climáticas se muestra como resultado las cuencas con amenaza muy alta y alta en la zona occidental del polígono en cercanías al PNN Serranía de Chiribiquete y en las cuencas de la zona norte hacia Bogotá Región en cercanías al PNN Sumapaz. Las áreas con amenaza media se encuentran en la zona occidental del PNN Serranía de Chiribiquete y en gran parte del PNN Sierra de la Macarena, así como en cercanías a la cabecera urbana del municipio de San José del Guaviare. Las cuencas con amenaza baja y muy baja se encuentran en el costado oriental del PNN Serranía de Chiribiquete hasta el límite del polígono de análisis, dentro del PNN Cordillera de los Picachos, así como en su área circundante y en el norte hacia y dentro del PNN Sumapaz.

1

Nombre del Indicador:

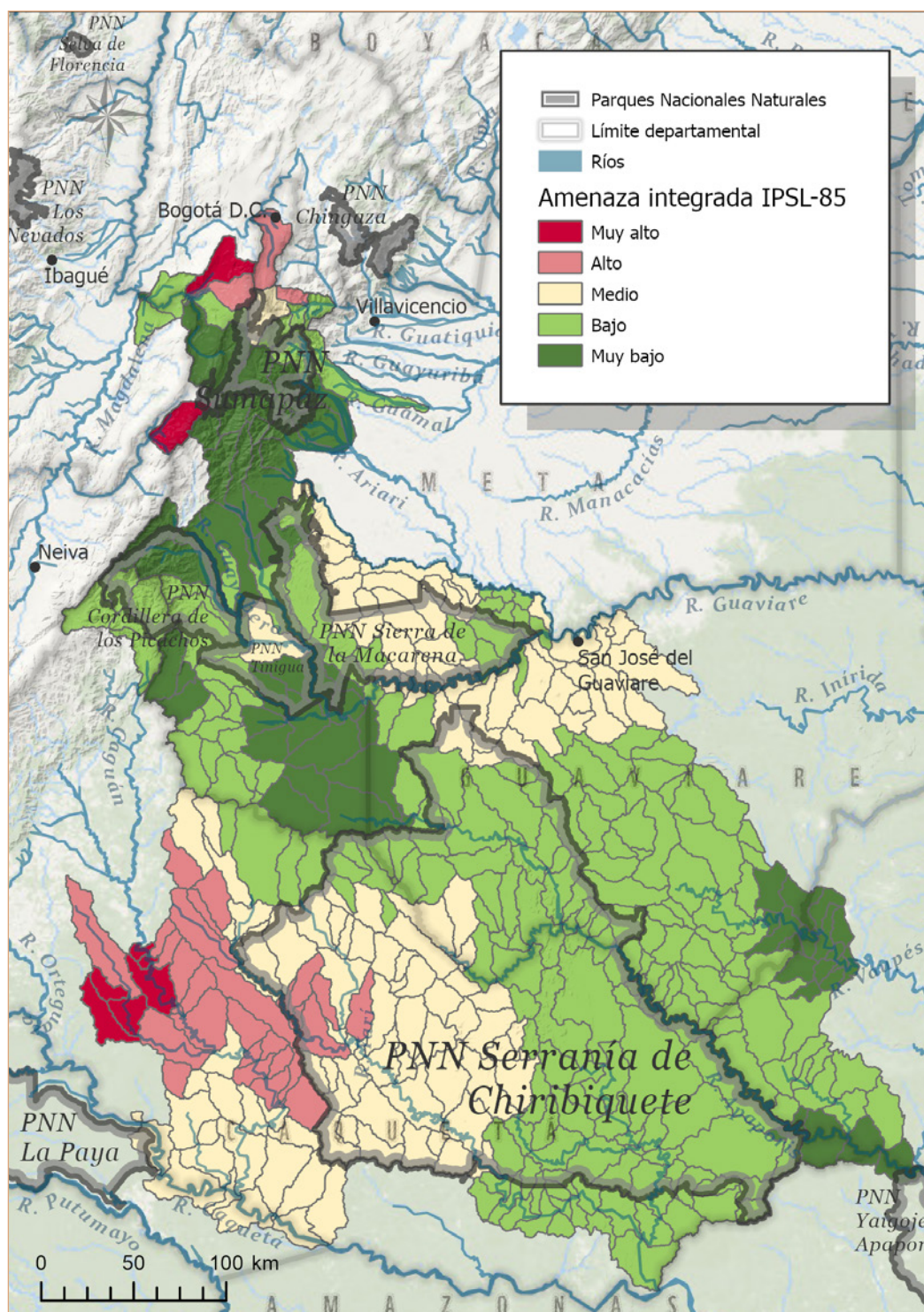
Amenaza Integrada: Modelo IPSL - Escenario 8.5

Componente:

Amenaza



Mapa de Amenaza escenarios



Fuente: Elaboración propia.

2

Nombre del Indicador:
Zonas susceptibles a inundaciones

Componente:
Vulnerabilidad



Dimensión: Todas las dimensiones

Descripción:

Este indicador señala las zonas susceptibles a inundaciones lentas o súbitas generadas por el IDEAM a escala 1:500.000.

Fórmula

No aplica

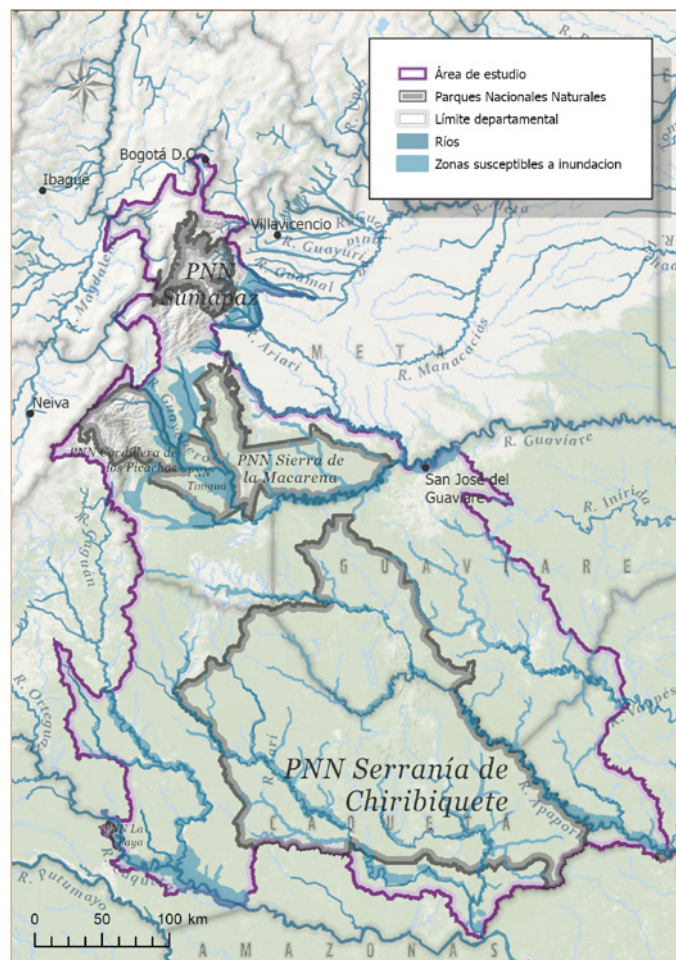
Fuentes de Información utilizadas:

IDEAM, 2017. *Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación*. Bogotá, D.C. 110 páginas.

Principales resultados:

Las zonas susceptibles a inundación se encuentran principalmente hacia el norte del polígono de estudio dentro de los PNN Sierra de la Macarena, Tinigua y en la parte baja de Cordillera de los Picachos. También se evidencian zonas con susceptibilidad a inundación en el costado oriental del PNN Sumapaz. Se observan zonas susceptibles en el sur del PNN Serranía de Chiribiquete, tanto en el costado oriental del Parque como hacia el sur del mismo.

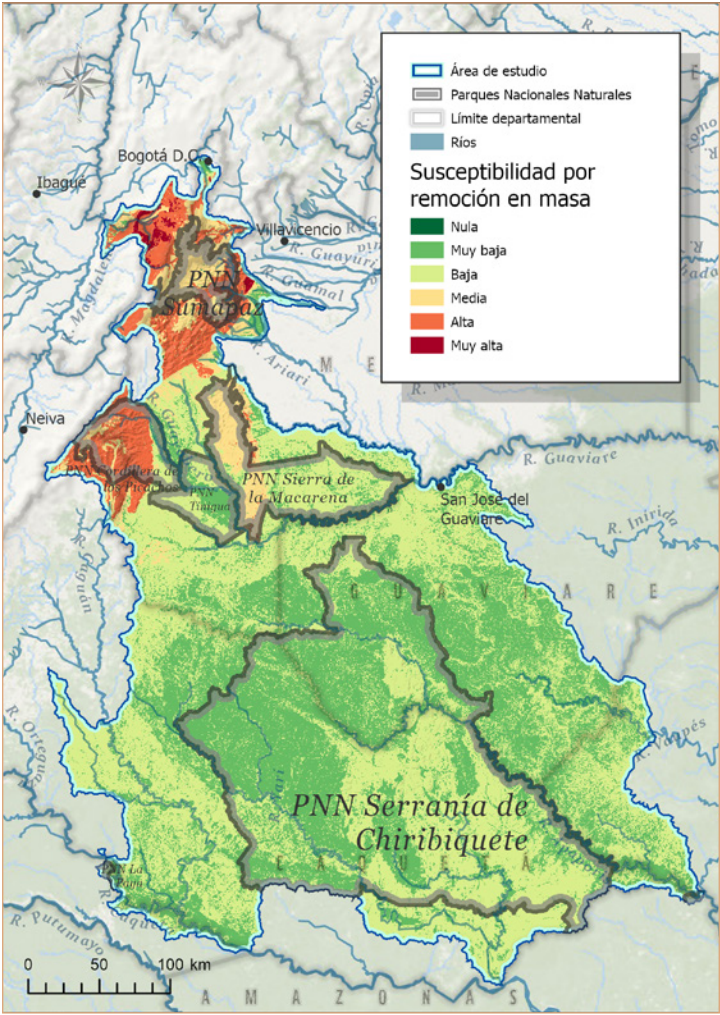
Mapa de áreas inundables



Fuente: Elaboración propia

3 Nombre del Indicador: Susceptibilidad a remoción en masa	Componente: Vulnerabilidad 
Dimensión: Todas las dimensiones	
Descripción: Zonificación de áreas susceptibles a movimientos en masa.	Fórmula No aplica
Fuentes de Información utilizadas: IDEAM. 2012. Metodología para la Zonificación de Susceptibilidad General del Terreno a los Movimientos en masa. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Bogotá D.C., Colombia. 26 p.	Principales resultados: El mapa de Susceptibilidad a remoción en masa muestra que las categorías más altas se encuentran en zonas montañosas como en el PNN Sumapaz y sus alrededores. En el PNN Cordillera de los Picachos también se presentan categoría de susceptibilidad alta. Ya en la región amazónica incluyendo el PNN Serranía de Chiribiquete se encuentran valores de susceptibilidad bajos y muy bajos.

Mapa de susceptibilidad a remoción en masa



Fuente: Elaboración propia.

4

Nombre del Indicador:
Huella humana espacial

Componente:
Vulnerabilidad



Dimensión: Ecosistemas, servicios ecosistémicos y biodiversidad

Descripción:

Este indicador describe presiones antrópicas existentes en los territorios que a su vez aumentan la vulnerabilidad frente al cambio climático. La Huella humana espacial tiene en cuenta variables como usos del suelo, densidad poblacional, distancia a vías, distancia a centros poblados, distancia a drenajes y variables biofísicas como fragmentación de ecosistemas, fertilidad de los suelos, pendientes, y distancias a deforestación y minería.

Fuentes de Información utilizadas:

Coberturas y usos de la tierra: CORINE LAND Cover 2010 – 2012. IDEAM, IGAC y CORMAGDALENA. 2008. Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corporación Autónoma Regional del río Grande de La Magdalena. Bogotá, D.C., 200p. + 164 hojas cartográficas

Vías de Colombia. Información espacial. Fuente: IGAC.

Cuerpos de agua. Información espacial. Fuente: Coberturas y usos de la tierra: CORINE LAND Cover 2010-2012.

Densidad poblacional: Landscan 2018. Bright, E. A., Rose, A. N., Urban, M. L., & McKee, J. (2018). LandScan 2017 high-resolution global population data set.

Fórmula

$$F_{total} = \frac{(f_{int} + F_{vul} + F_{tiempo}) * 100}{\sum F_{int-max} + F_{vul-max} + F_{tiempo-max}}$$

Donde:

F_{total} = huella humana total

F_{int} = intensidad en el uso del suelo

F_{vul} = vulnerabilidad biofísica

F_{tiempo} = intervención en el tiempo

F_{int-} = Uso del suelo+ Densidad poblacional +Distancia a vías de acceso+Distancia asentamientos humanos y explotaciones mineras+Distancia a drenajes

F_{vul-} = Fertilidad del suelo+pendiente del suelo

$F_{tiempo-}$ =

	Condición 02	Condición 07	Condición 12	huella
Cambio en el tiempo	Estado	Estado	Estado	0
	Presión	Estado	Presión	10
	Presión	Presión	Estado	5
	Presión	Presión	Presión	10
	Estado	Presión	Presión	5
	Otros	OTROS	OTROS	5

Principales resultados:

El resultado muestra que el indicador de Huella humana tiene valores más altos en la región andina hacia el PNN Sumapaz, dado que en los alrededores de este Parque se dan un gran número de actividades productivas. También se muestra que en los alrededores de los PNN Sierra de la Macarena, Tinigua y al sur de la Cordillera de los Picachos se observan valores medio-altos. Un elemento a considerar es que dentro de ninguno de los PNN se dan valores altos pero sus zonas de amortiguación si se muestran bajo presión.

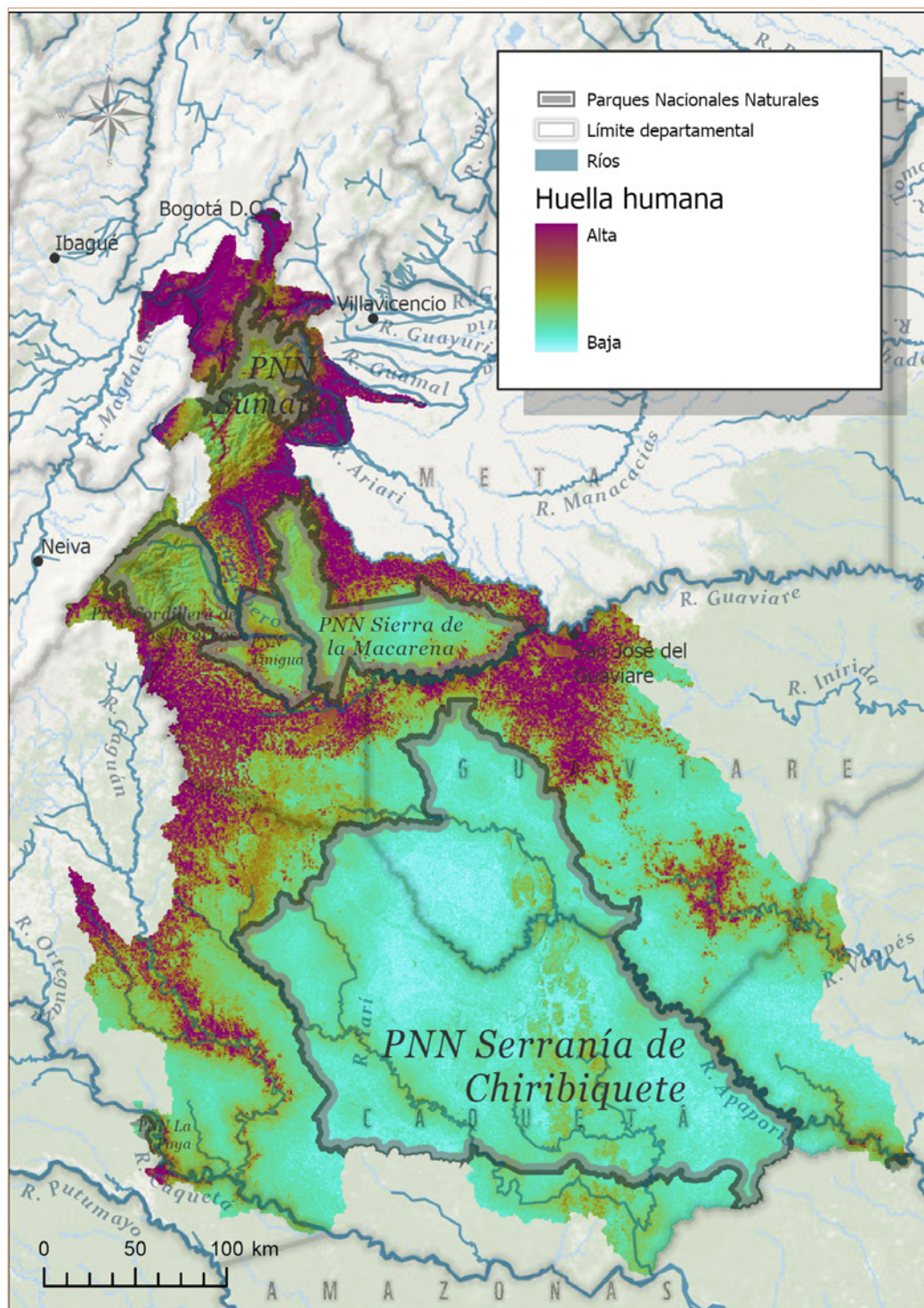
4

Nombre del Indicador:
Huella humana espacial

Componente:
Vulnerabilidad



Mapa de Huella humana espacial



Fuente: Elaboración propia.

5

Nombre del Indicador:

Pérdida ponderada de distribución climática
potencial de especies

Componente:
Amenaza



Dimensión: Ecosistemas, servicios ecosistémicos y biodiversidad

Descripción:

Se realizaron modelaciones para 12 especies amazónicas y andinas. Se seleccionaron estas especies a partir de criterios de amenaza, si han sido definidos como valor objeto de conservación, si representan una especie paisaje y su preservación aporta a la conectividad del sistema, si su representatividad y relevancia, si son de interés para procesos de producción - conservación y/o restauración, si es emblemática, carismática, o de importancia a nivel cultural, y su sensibilidad a la presencia de vías, pérdida de hábitat ó cambio climático.

Se tuvo en cuenta la delimitación de la ecorregión amazónica del Instituto Sinchi para cambios en variables bioclimáticas, tales como la precipitación acumulada anual y la temperatura media anual proyectados en el periodo 2040 - 2070 para los RCP 4.5 y 8.5 de los modelos más representativos en la ecorregión amazónica como son: GFDL-ESM2M y el IPSL-CM5ALR y para la ecorregión andina: INM-CM4 e IPSL-CM5ALR. Se utilizaron el downscaling realizado por el CIAT y el método Delta (Ramírez-Villegas and Jarvis 2010). Este cambio se realizó con respecto a la línea base climática 1985-2014 de estas dos variables.

Fórmula

Con la calculadora de atributos de ArcGIS o mediante tratamiento de tablas en Excel, se realizó la siguiente ponderación:

$$\frac{((!(VALUE_1!/!AREA_CUENCA!)*1)+(!(VALUE_2!/!AREA_CUENCA!)*2)+...(!(VALUE_N!/!AREA_CUENCA!)*N))/SN}{100}$$

Posteriormente, se estandarizaron los valores en una escala de 1 a 100, para integrar los valores a nivel de ecoregión, mediante la siguiente ecuación:

$$(FIELD - MIN) / (MAX - MIN)$$

Donde

!VALUE_N!: Sumatoria de especies perdidas en un determinado píxel multiplicado por su respectiva área.

Las especies modeladas fueron:

Nombre científico	Nombre común	Grupo
<i>Ara macao</i>	Guacamaya Bandera	Ave
<i>Boa constrictor</i>	Boa constrictora	Reptil
<i>Buteogallus schistaceus</i>	Gavilán pizarra	Ave
<i>Caiman crocodilus</i>	Caimán común	Reptil
<i>Cuniculus paca</i>	Guagua, lapa	Mamífero
<i>Genipa americana</i>	Jagua	Planta
<i>Lagothrix lagothricha</i>	Mono Churuco	Mamífero
<i>Lithobates palmipes</i>	Rana fluvial amazónica	Anfibio
<i>Panthera onca</i>	Jaguar	Mamífero
<i>Penelope jacquacu</i>	Pava carroza	Ave
<i>Theobroma subincanum</i>	Copuí o cacao de monte	Planta
<i>Tremarctos ornatus</i>	Oso andino o de anteojos	Mamífero

5

Nombre del Indicador:

Pérdida ponderada de distribución climática
potencial de especies

Componente:
Amenaza



Fuentes de Información utilizadas:

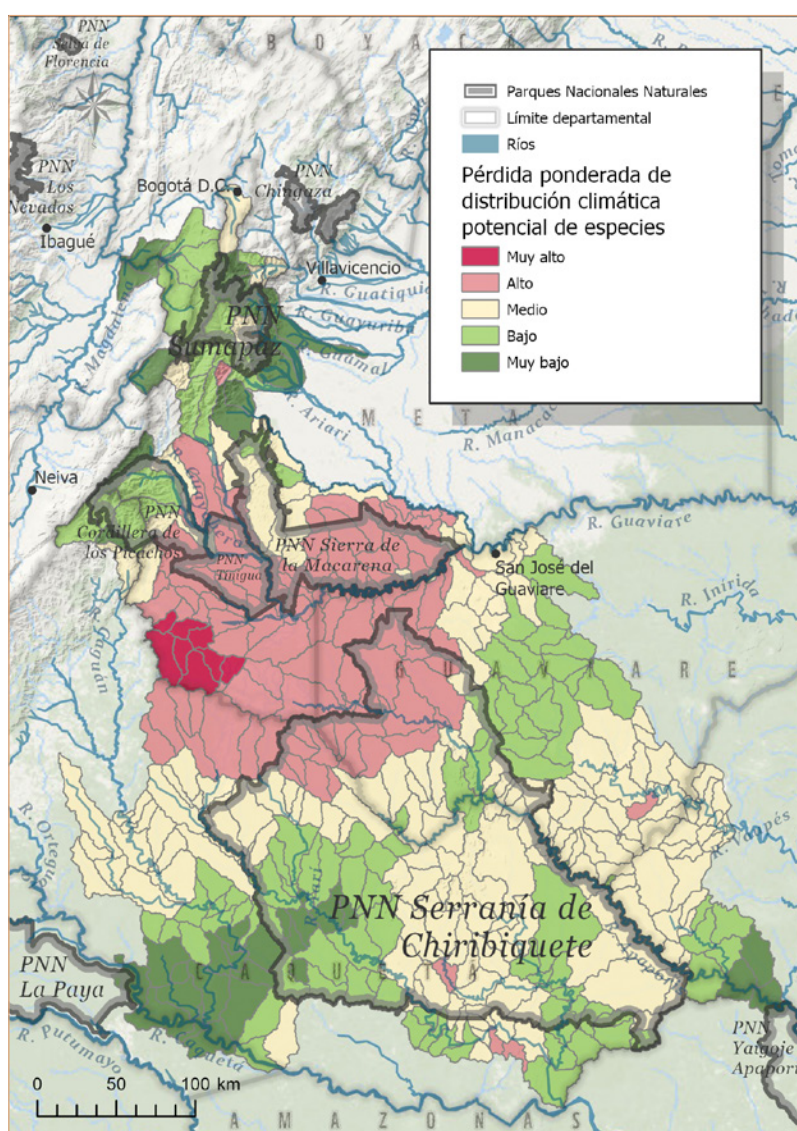
Katsanos, D., Retalis, A., & Michaelides, S. (2016). Validation of a high-resolution precipitation database (CHIRPS) over Cyprus for a 30-year period. *Atmospheric Research*, 169, 459-464.

Ramirez-Villegas, J. & A. Jarvis (2010) Downscaling global circulation model outputs: the delta method decision and policy analysis Working Paper No. 1. Policy Analysis, 1, 1-18.

Principales resultados:

En general para los modelos evaluados, las mayores áreas potenciales de pérdida de distribución climática de las especies se podrán presentar en inmediaciones de los PNN Macarena y Chiribiquete, y en la zona oriental del Meta. La zona de Guaviare en general muestra niveles entre medio y bajo.

Mapa de pérdida ponderada de distribución potencial de especies escenario IPSL RCP 8.5



Fuente: Elaboración propia.

6

Nombre del Indicador:

Cambio Porcentual en el Balance Hídrico

Componente:

Vulnerabilidad



Dimensión: Ecosistemas, servicios ecosistémicos y biodiversidad *** Comunidades y medios de vida *** Infraestructura vial

Descripción:

Este indicador describe el cambio del balance hídrico proyectado al escenario 8.5, modelo IPSL-CM5ALR al periodo 2040 - 2070 respecto a la línea base hidrológica 1985 - 2014. Se busca evidenciar los cambios que probablemente se darán en el balance hídrico del área de análisis por cambios en las condiciones climáticas.

Para esto se realizó el cálculo del balance hídrico de la línea base, utilizando datos de las estaciones meteorológicas del IDEAM de las variables: precipitación acumulada mensual, temperatura promedio máxima, media y mínima, rango diario promedio de temperatura y promedios mensuales de humedad relativa. Como datos de cobertura se utilizaron los datos de coberturas del SINCHI 2018 y CORINE LAND Cover 2010-2012 para la zona de Sumapaz.

En cuanto a los datos climáticos proyectados para el cálculo del balance hídrico futuro se utilizó el modelo IPSL-CM5ALR del escenario 8.5 proyectado al periodo 2040 - 2070 con reducción de escala de estos datos realizado por el CIAT utilizando el método Delta (Ramírez-Villegas and Jarvis 2010).

El modelo hidrológico utilizado para el cálculo del balance hídrico de línea base y escenario fue INVesT, el cual estima las contribuciones relativas de agua de diferentes partes de un paisaje, ofreciendo una idea de cómo los cambios en los patrones de uso de la tierra afectan el rendimiento anual de agua superficial (Sharp et al. 2020).

Fórmula

$$CpBh = (Bhf - Bha) \times 100 / Bha$$

Donde

CpBh = Cambio Porcentual en el Balance Hídrico

Bhf = Balance Hídrico del Escenario

Bha = Balance Hídrico Actual

Fuentes de Información utilizadas:

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)

Ramírez-Villegas, J. & A. Jarvis (2010) Downscaling global circulation model outputs: the delta method decision and policy analysis Working Paper No. 1. Policy Analysis, 1, 1-18.

Sharp, R., Douglass, J., Wolny, S., Arkema, K., Bernhardt, J., Bierbower, W., Chaumont, N., Denu, D., Fisher, D., Glowinski, K., Griffin, R., Guannel, G., Guerry, A., Johnson, J., Hamel, P., Kennedy, C., Kim, C.K., Lacayo, M., Lonsdorf, E., Mandle, L., Rogers, L., Silver, J., Toft, J., Verutes, G., Vogl, A. L., Wood, S, and Wyatt, K. 2020, INVesT 3.9.0.post71+ug.gfb92465 User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.

Principales resultados:

Como resultado, se observa que los cambios positivos en la oferta hídrica se presentan principalmente en el noroeste del PNN Sumapaz y en el PNN Tinigua con los valores más altos de hasta 150% de aumento en la oferta hídrica futura, mientras que los cambios más bajos con pérdidas de hasta el 98% de la oferta hídrica tienden a presentarse en el PNN Sumapaz y en la región amazónica del polígono de análisis con valores de pérdida de hasta el 50% en el PNN Serranía de Chiribiquete y sus alrededores.

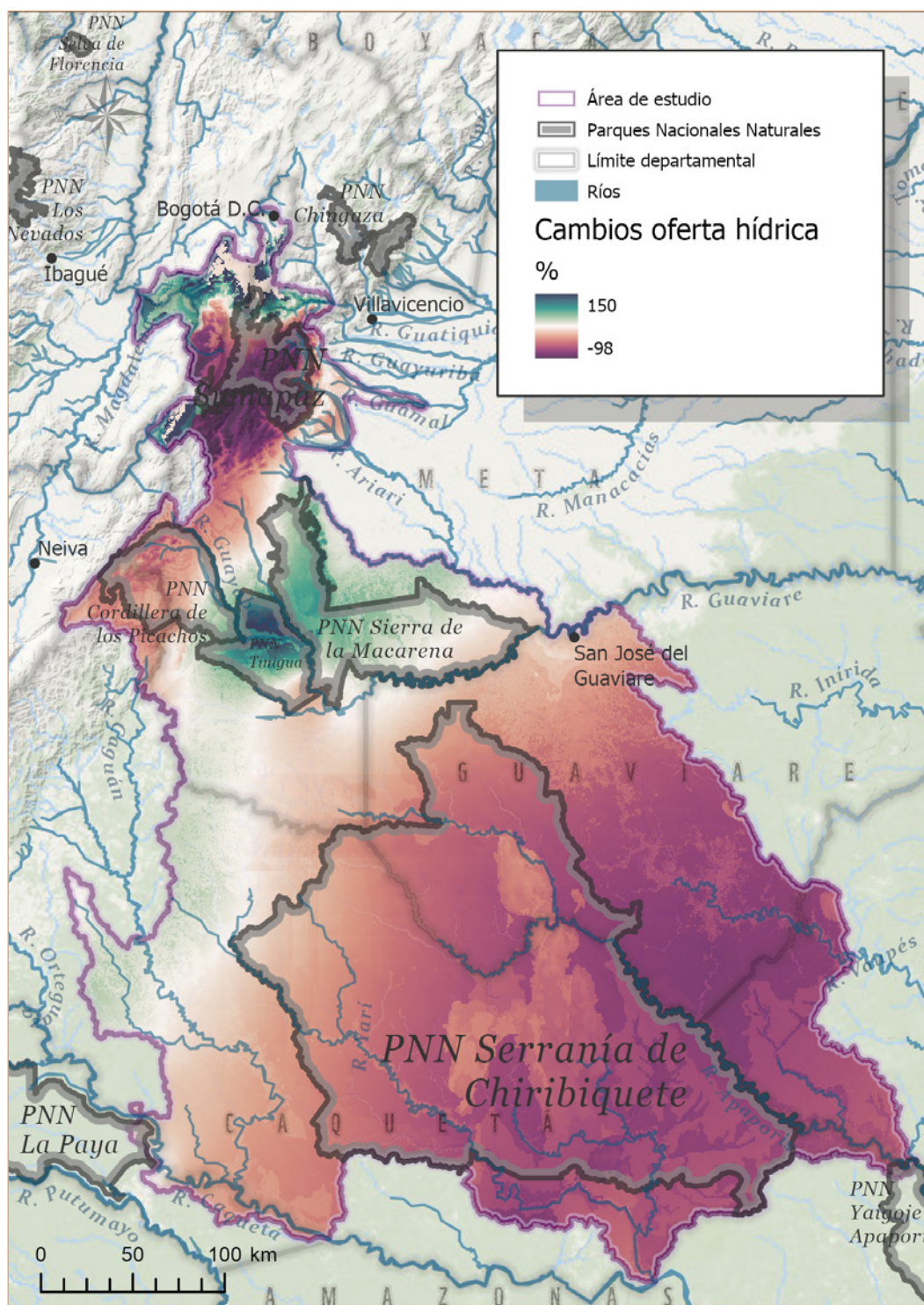
6

Nombre del Indicador:
Cambio Porcentual en el Balance Hídrico

Componente:
Vulnerabilidad



Mapa de cambio porcentual en el balance hídrico



Fuente: Elaboración propia.

7

Nombre del Indicador:
Cambio de Zonas de Vida de Holdridge

Componente:
Vulnerabilidad



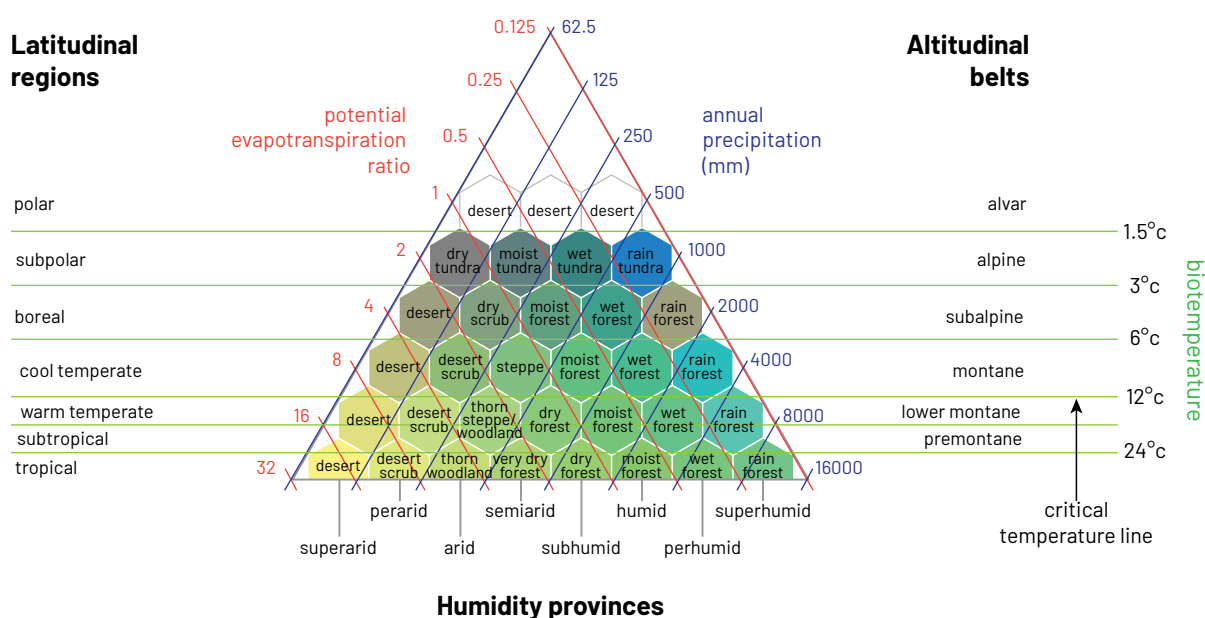
Descripción:

El sistema de zonas de vida Holdridge (en inglés, Holdridge life zones system) es un esquema para la clasificación de las diferentes áreas terrestres según su comportamiento global bioclimático. Para este estudio se generaron dos zonas de vida; una con el clima actual (línea base) y otra con el clima futuro (escenario), y a partir de estos dos se calculó el porcentaje de cambio en las zonas de vida por municipio.

Para calcular la línea base de las zonas de vida, se utilizaron datos de las estaciones meteorológicas del IDEAM de variables como precipitación acumulada mensual y temperatura media, mínima y máxima en la línea base 1985 - 2014.

En el escenario de las zonas de vida se utilizó como clima proyectado al periodo 2040 - 2070 el escenario 8.5, modelo IPSL-CM5ALR. La reducción de escala de estos datos fue realizado por el CIAT utilizando el método Delta (Ramírez-Villegas and Jarvis 2010). Una vez calculadas las zonas de vida del clima base y las zonas de vida del clima proyectado, se estimaron los cambios futuros.

Fórmula



Bases del sistema: Biotemperatura, Precipitación anual y Evapotranspiración potencial

Fuentes de Información utilizadas:

- Holdridge, L. R. (1947). Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science*, 105(2727), 367-368.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).
- Ramírez-Villegas, J. & A. Jarvis (2010) Downscaling global circulation model outputs: the delta method decision and policy analysis Working Paper No. 1. *Policy Analysis*, 1, 1-18.

Principales resultados:

Los cambios en las zonas de vida se presentarán en el del PNN Serranía de Chiribiquete y hacia la zona este de su territorio circundante. También en el PNN Tinigua y al oeste del PNN Cordillera de los Picachos. De igual forma, se esperan cambios en toda la región andina del polígono incluyendo el PNN Sumapaz.

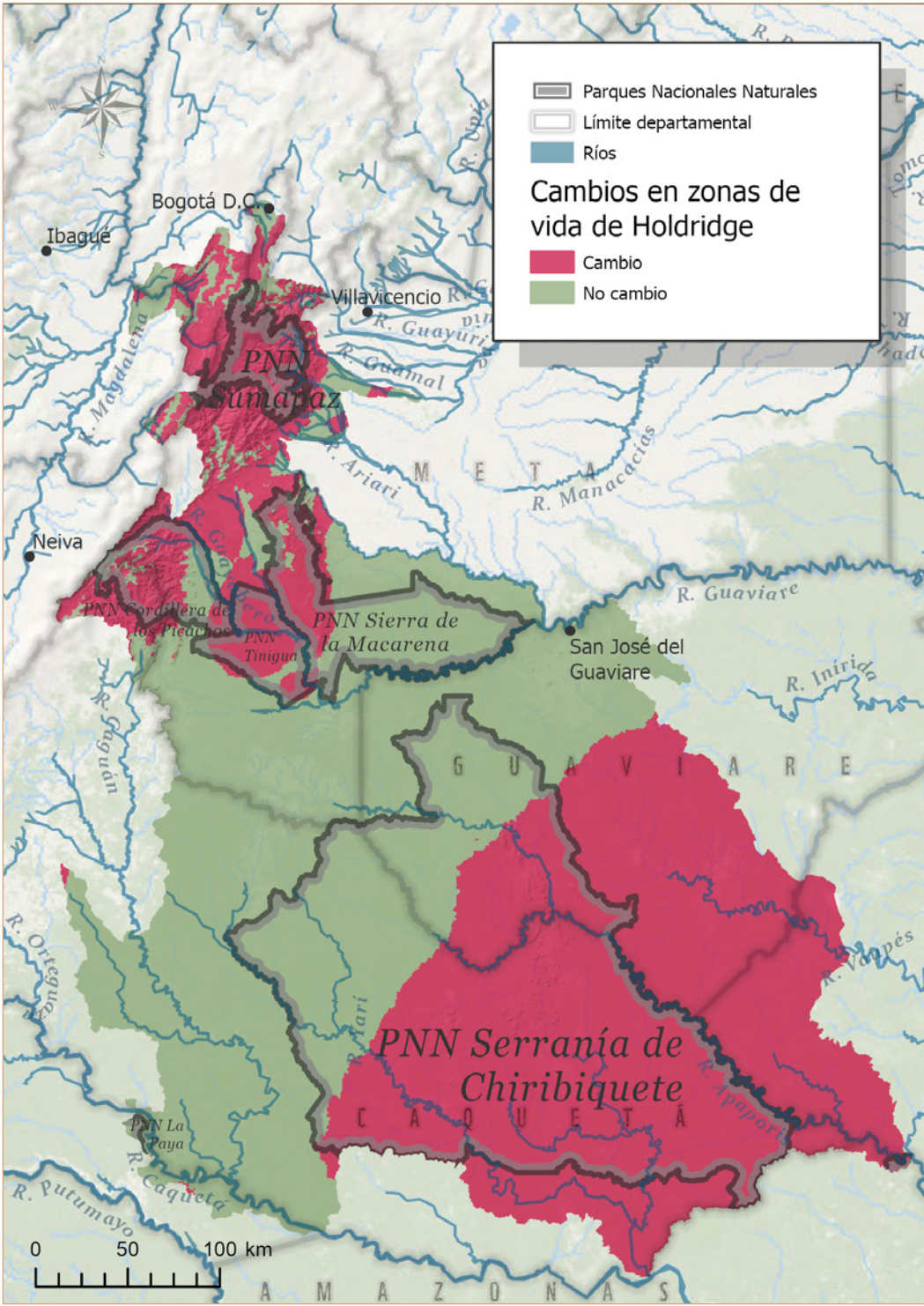
7

Nombre del Indicador:
Cambio de Zonas de Vida de Holdridge

Componente:
Vulnerabilidad



Cambio de Zonas de Vida de Holdridge



Fuente: Elaboración propia.

8	Nombre del Indicador: Capacidad de adaptación: ecosistemas, servicios ecosistémicos y biodiversidad.	Componente: Vulnerabilidad - Capacidad de adaptación	  
Dimensión: Ecosistemas, servicios ecosistémicos y biodiversidad			
Descripción: El indicador describe características y atributos existentes en el área de estudio que favorecen la capacidad que poseen los ecosistemas para afrontar, los potenciales daños causados por la variabilidad y el cambio climático esperados. Está compuesto de cuatro subindicadores que son: Porcentaje del territorio en áreas protegidas e iniciativas de conservación registradas, Coberturas de bosque protegidas, Índice de eficiencia en el uso del agua e Inversión per cápita ambiental en el municipio.		Fórmula $ESB_{CA} = PT_{AAPP} + CB_{PROT} + IEUA + IPA_{MUN}$ Donde ESB_{CA} = Ecosistemas, servicios ecosistémicos y biodiversidad para Capacidad de Adaptación PT_{AAPP} = Porcentaje del territorio en áreas protegidas e iniciativas de conservación registradas CB_{PROT} = Coberturas de bosque protegidas $IEUA$ = Índice de eficiencia en el uso del agua IPA_{MUN} = Inversión per cápita ambiental en el municipio	
Fuentes de Información utilizadas: Áreas protegidas RUNAP - 2020. DANE, 2019. Inversión per cápita ambiental por municipio. IDEAM (2019). Estudio Nacional del Agua 2018. Bogotá: Ideam: 452 pp		Principales resultados: El mapa muestra que las cuencas en categorías muy altas y altas de este indicador se encuentran en los PNN Sierra de la Macarena, Tinigua, Cordillera de los Picachos y Serranía de Chiribiquete y al occidente del PNN Sumapaz. Las cuencas en categorías baja y muy baja se encuentran principalmente en los alrededores del PNN Serranía de Chiribiquete y en el sur de PNN Sumapaz, así como al este del mismo. El subindicador que más peso tiene dentro de este análisis es el de Coberturas de bosque protegidas.	

8

Nombre del Indicador:

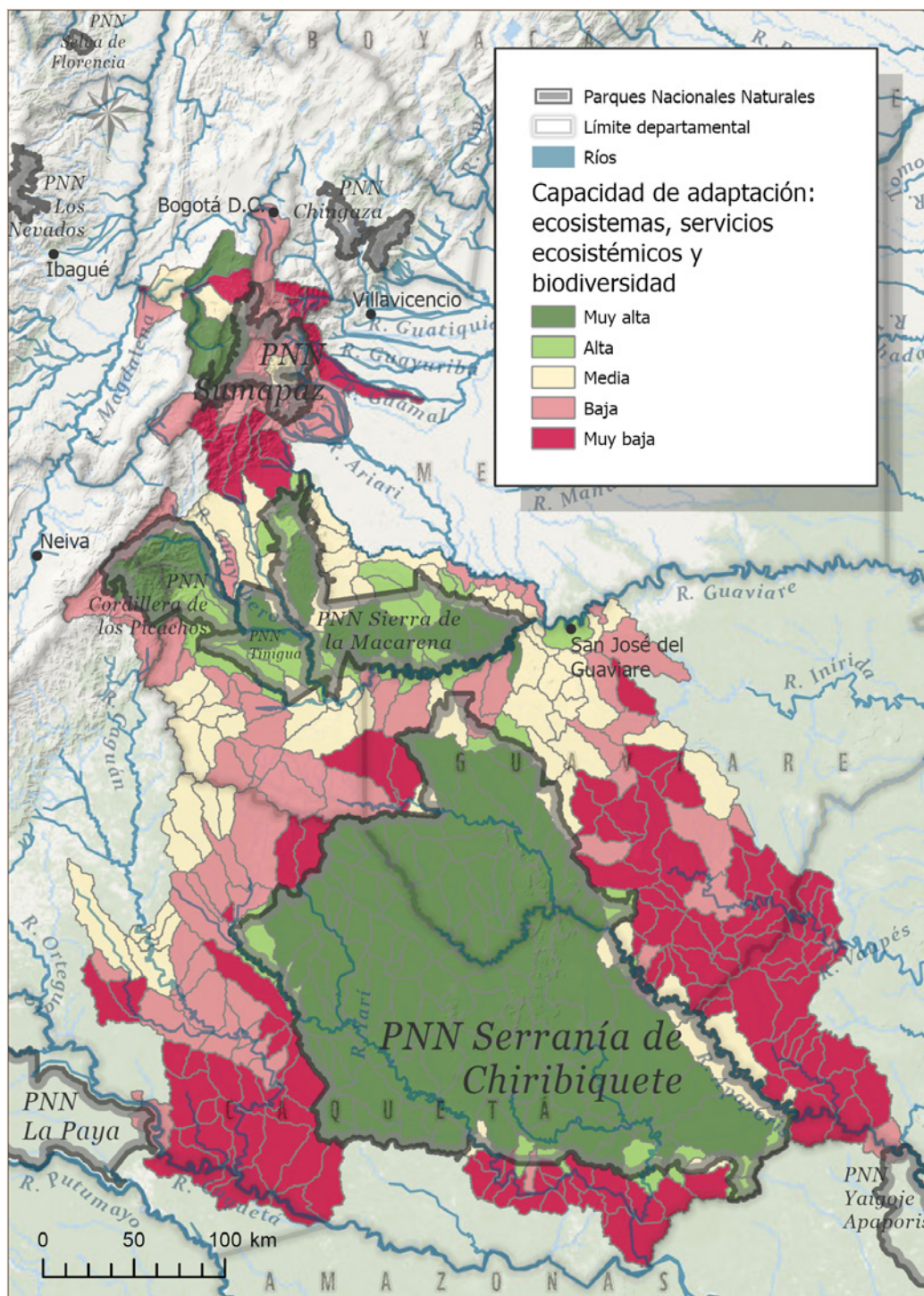
Capacidad de adaptación: ecosistemas, servicios ecosistémicos y biodiversidad.

Componente:

Vulnerabilidad
- Capacidad de adaptación



Mapa



Fuente: Elaboración propia.

9

Nombre del Indicador:

Vulnerabilidad Integrada: Modelo IPSL - Escenario 8.5

Componente:

Vulnerabilidad



Dimensión: Todas las dimensiones

Descripción:

El índice de vulnerabilidad climática está basado en indicadores que demuestran la predisposición y propensión que poseen las cuencas dentro del polígono de análisis a ser afectadas por un clima cambiante y por la variabilidad climática. La Vulnerabilidad también incluye el cálculo de la capacidad de adaptación. Para estimarlo fueron tenidos en cuenta tres dimensiones tanto para la sensibilidad/susceptibilidad como para la capacidad de adaptación: Ecosistemas, servicios ecosistémicos y biodiversidad, Comunidades y medios de vida e Infraestructura vial. Los indicadores de cambio se realizaron con base en el modelo IPSL-CM5ALR, trayectoria 8.5, periodo 2040 - 2070.

Susceptibilidad y Sensibilidad:

- Ecosistemas, servicios ecosistémicos y biodiversidad: Desarrollado a partir del análisis zonas de vida de Holdridge, susceptibilidad a remoción en masa, huella espacial humana, incendios, cambios en el almacenamiento de carbono, cambios en la oferta hídrica y zonas susceptibles a inundación y distribución potencial de especies.
- Comunidades y medios de vida: Desarrollado a partir del análisis de personas perjudicadas por inundaciones y remoción en masa por cada 100.000 habitantes, viviendas afectadas por inundaciones y remoción en masa, Cambio proyectado en oferta/demanda de agua para uso pecuario y Cambio proyectado en oferta/demanda de agua para uso agrícola.
- Infraestructura vial: Desarrollado a partir del análisis de susceptibilidad a inundación para la infraestructura vial, porcentaje de área de cuenca donde la susceptibilidad a la remoción en masa media, alta y muy alta presentarán un cambio mayor o igual al 10% en la oferta hídrica, Porcentaje de área de cuenca donde las áreas inundables presentarán un cambio mayor o igual al 10% en la oferta hídrica y susceptibilidad a remoción en masa de la infraestructura vial.

Capacidad de Adaptación:

- Ecosistemas, servicios ecosistémicos y biodiversidad: Esta dimensión incluye indicadores como Porcentaje del territorio en áreas protegidas e iniciativas de conservación registradas, Coberturas de bosque protegidas, Índice de eficiencia en el uso del agua e Inversión per cápita ambiental en el municipio.
- Comunidades y medios de vida: Incluye indicadores como Índice de desempeño integral municipal y departamental, Respuesta a la ola invernal, Asignación de recursos para el programa de enfermedades transmitidas por vectores - ETV, Índice de necesidades básicas insatisfechas, Inversión acumulada en reducción del riesgo, Inversión en conocimiento del riesgo, Inversión en adaptación al cambio climático e Inversión en mitigación del cambio climático.
- Infraestructura vial: Desarrollado a partir de un único indicador "km de red viaria por tipología de vía (primaria, secundaria) / Inversión en conservación de las vías".

Fórmula

$$VUL_i = \frac{(ESB + CM + IV)}{3} + CA$$

Donde

VUL_i = Vulnerabilidad en la cuenca i

ESB = Ecosistemas, servicios ecosistémicos y biodiversidad

CM = Comunidades y medios de vida

IV = Infraestructura vial

CA = Capacidad de adaptación

10

Nombre del Indicador:

Riesgo Integrado: Modelo IPSL - Escenario 8.5

Componente:

Riesgo



Dimensión: Todas las dimensiones

Descripción:

Este indicador corresponde a la integración de todos los indicadores calculados en el análisis.

Fórmula

$$Riesgo_i = A_i \times Vul_i$$

Donde

Riesgo_i = Es el riesgo integrado de la cuenca *i*

A_i = Es la amenaza de la cuenca *i*

Vul_i = Es la vulnerabilidad integrada de la cuenca *i*

Fuentes de Información utilizadas:

Elaboración propia basada en el marco conceptual del IPCC (2014 y 2019).

Principales resultados:

El mapa muestra que las categorías más altas de riesgo se encuentran hacia el sur y al este del PNN Serranía de Chiribiquete y en el corredor entre los PNN Tinigua y Sumapaz. De igual forma también hay un alto riesgo en el costado oriental de este último Parque Natural. La categoría de riesgo medio predomina en el polígono de análisis ubicándose dentro del PNN Serranía de Chiribiquete y al oeste y norte del mismo. En cuanto al riesgo bajo y muy bajo se ubican las cuencas dentro del PNN Serranía de Chiribiquete en las zonas oeste y norte del parque y en el PNN Sierra de la Macarena.

10

Nombre del Indicador:

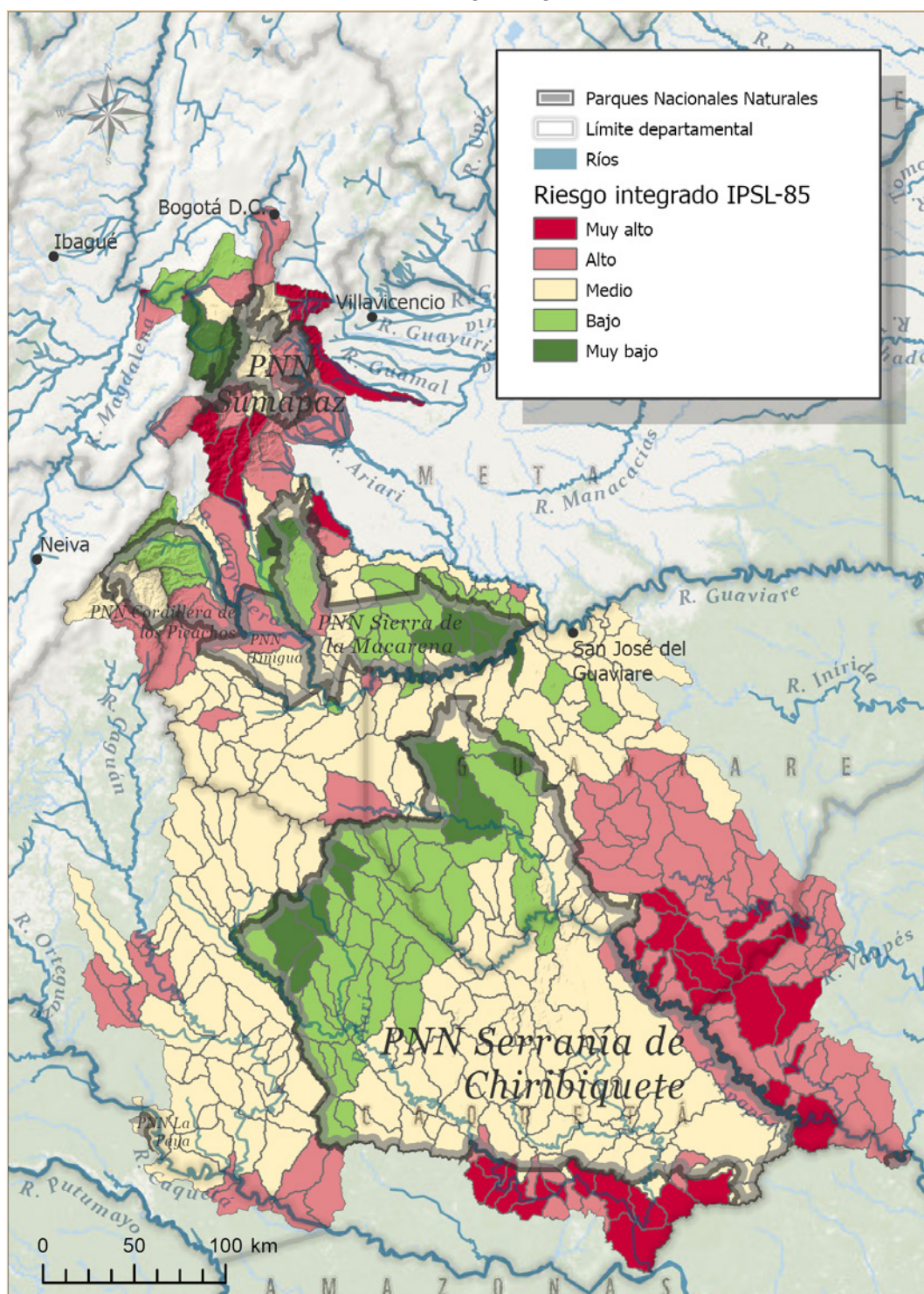
Riesgo Integrado: Modelo IPSL - Escenario 8.5

Componente:

Riesgo



Mapa de riesgo integrado



Fuente: Elaboración propia.



El proyecto Áreas Protegidas y Paz es liderado por WWF, apoyado por el Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania (BMU por sus siglas en alemán) y realizado en Alianza con Parques Nacionales Naturales de Colombia. Este proyecto contribuye a la gestión de seis áreas protegidas y su gobernanza territorial, mejorando las condiciones de vida de las personas y contribuyendo a la construcción de paz.



**ÁREAS
PROTEGIDAS
& PAZ.**



Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza,
Obras Públicas y Seguridad Nuclear

En alianza con



**PARQUES NACIONALES
NATURALES DE COLOMBIA**

