

# Antioquia un territorio para conservar



Esperamos que este trabajo contribuya al bienestar de las futuras generaciones de Antioquia.

## Gobernación de Antioquia

Sergio Fajardo  
Luz Ángela Peña  
Óscar Mejía  
Beatriz López

Secretaría del Medio Ambiente,  
Gobernación de Antioquia, piso 6,  
oficina 607. Teléfono: 383 8669  
ambienteant@gmail.com / www.facebook.  
com/ambienteant / @AmbienteAnt

## Jardín Botánico de Medellín

Clara Inés Restrepo Mesa  
Lina Patricia Pérez  
Kike Betancur

comunicaciones@jbotanico.org  
www.botanicomedellin.org / @jbotanicomed

## Equipo de Investigación

Grupo de Investigación en Servicios  
Ecosistémicos y Cambio Climático:  
Esteban Álvarez Dávila.

## Análisis de prioridades y distribución geográfica de especies

Zorayda Restrepo Correa, Sebastián Botero  
Cañola, Carlos Ortiz Yusti, Juan Pablo  
Tobón y Sebastián González-Caro.

Carlos Ortiz Yusti y  
Sebastián Botero Cañola

Gobernador de Antioquia.  
Secretaría de Medio Ambiente  
director de Información y Gestión Ambiental  
Secretaría técnica del Sistema  
Departamental de Áreas Protegidas de  
Antioquia (SIDAP)

Dirección  
Corrección editorial  
Diseño y diagramación

Coordinador

Investigadores

Edición cartográfica

Cítese como:

S. González-Caro, Z. Restrepo, C. Yusti, S. Botero, B. López, L. Posada, A. Peña, O. Mejía,  
E. Álvarez. 2014. Antioquia un territorio para conservar. Convenio 4600000674 Gobernación de  
Antioquia-Jardín Botánico de Medellín. Medellín, Colombia.

Cítese dentro de un texto como:  
González-Caro et al. GA-JBMED (2014).

Medellín, noviembre de 2014 / Edición digital disponible en: [www.antioquia.gov.co](http://www.antioquia.gov.co)

## Agradecimientos

Especialmente a la Secretaría del Sistema  
Departamental de Áreas Protegidas y de  
Medio Ambiente de la Gobernación de  
Antioquia por el apoyo técnico y financiero.  
Particularmente a Beatriz López, Laura  
Posada, Carlos Cadavid, Óscar Mejía y  
Sebastián Palomino por sus aportes.

Al Jardín Botánico de Medellín por su apoyo  
logístico. En especial a Clara Inés Restrepo,  
Kike Betancur, Lina Pérez y Yadis Álvarez.

A Juan Luis Parra Vergara, profesor  
asociado de la Universidad de Antioquia,  
por sus comentarios y aportes durante el  
proceso.

A Wilmar López, Mitchell Cárdenas, Ismael  
Pineda, Alejandro Gómez, Trino Restrepo,  
por su apoyo en la recopilación de  
información.

A todas las instituciones y personas que  
nos permitieron usar su información y  
contribuyeron al desarrollo de esta obra:  
Ricardo Callejas, Sergio Solari y Fernando  
Álzate (Universidad de Antioquia); Dino  
Tuberquia, Juliana Cardona (Universidad  
CES); Álvaro Cogollo y Doris Benítez  
(Herbario Joaquín Antonio Uribe, JBMED);  
Juan Lázaro Toro (Corantioquia); Dani  
Orrego (Instituto Tecnológico de Medellín);  
Sofía Vergara y María Berrío (Cornare);  
Esteban Hincapié (Parques Naturales  
Nacionales) y todos los investigadores y  
entidades que nos apoyaron y aportaron  
sus datos para los análisis.



JOSEFINA  
*Miltoniopsis vexillaria*



SAPITO ARLEQUÍN  
*Atelopus spurrelli*

## Tabla de Contenidos

1.	¿Por qué y cómo priorizar áreas para conservación?	8
2.	¿Cómo está Antioquia en términos de conservación?	11
2.1.	Antecedentes	11
2.2.	¿Cuál es la remanencia de los biomas en Antioquia?	11
2.3.	¿Cómo está el Sistema de Áreas Protegidas y cuáles ecosistemas representa?	12
2.3.1.	Sistema Departamental de Áreas Protegidas de Antioquia	12
2.3.2.	Representatividad	14
2.4.	Oportunidades e iniciativas de conservación en Antioquia	20
3.	¿Cómo está Antioquia en términos de diversidad biológica y servicios ecosistémicos?	21
3.1.	¿Cómo está el departamento en número de especies?	21
3.2.	Disponibilidad del recurso hídrico	25
3.3.	Acumulación de carbono en los bosques de Antioquia	25
4.	¿Cuál es la vulnerabilidad ambiental de Antioquia?	27
4.1.	Antecedentes	27
4.2.	Acceso humano, potencial agropecuario y urbano	28
4.3.	Avance de la deforestación 2000-2013 y el futuro de los bosques de Antioquia	30
4.4.	Cambio climático y efecto en los biomas de Antioquia	32
5.	Priorización de áreas para la conservación en Antioquia	35
6.	Análisis de la estructura del paisaje y conectividad de los bosques	47
7.	Portafolio de prioridades de conservación en Antioquia	51
7.1.	Nordeste alto	51
7.2.	Chocó antioqueño	52
7.3.	Suroriente (Sonsón)	54
7.4.	Serranía de San Lucas	56
8.	Referencias	58

# Índice de figuras

**Figura 1.** Esquema conceptual que indica acciones de conservación según la irreemplazabilidad y vulnerabilidad de un sitio. Con base en este esquema se pueden definir prioridades para la conservación en una región, según sus necesidades. Adaptado de Brooks et al. (2006). **9**

**Figura 2.** Número total de especies en Antioquia para todos los grupos taxonómicos usados en este análisis (A). Número de especies amenazadas en Antioquia (B). Número de especies endémicas en Antioquia (C). El amarillo representa valores altos de número de especies de cada categoría y el azul oscuro representa valores bajos. Los colores no son comparables entre los diferentes mapas en términos absolutos. Se resalta el bajo número de especies en el cañón del río Cauca para todos los grupos, analizados en su conjunto. **23**

**Figura 3.** Probabilidad de la amenaza a partir de la combinación de acceso humano, potencial agrícola y urbano. **28**

**Figura 4.** Probabilidad de deforestación, según el modelo de regresión logística. El modelo no cuenta con temporalidad, por lo cual se espera que a una tasa de 25.000 ha año<sup>-1</sup>, los sitios con más de 0,5 se deforestan en los siguientes 5 años. **30**

**Figura 5.** Velocidad del Cambio Climático en Antioquia (Loarie et al., 2009). **33**

**Figura 6.** Esquema descriptivo de la metodología de la Sociedad para la Conservación de la Vida Silvestre (WCS, por sus siglas en inglés). **38**

**Figura 7.** Esquema descriptivo de la metodología de Zonation. **39**

**Figura 8.** Esquema descriptivo de la metodología de partición de la diversidad, propuesta en este estudio. **40**

**Figura 9.** Prioridades de conservación para Antioquia, combinando la irreemplazabilidad obtenida por diferentes métodos y la vulnerabilidad. WCS (A), Zonation (B), partición de la diversidad (C), combinación de las metodologías (D). **42**

**Figura 10.** Diagrama de cajas que muestra las diferencias entre los métodos, representados en colores. Se observan diferencias entre los métodos para cada grupo taxonómico analizado. Además se observan diferencias para cada grupo. **44**

**Figura 11.** Rutas y corredores de conectividad entre núcleos de bosques y áreas naturales. **48**

**Figura 12.** Área definida como prioridad en el Nordeste alto. **51**

**Figura 13.** Área definida como prioritaria en el Chocó antioqueño. **53**

**Figura 14.** Áreas definidas como prioritarias en la región de Sonsón, suroriente del departamento. **54**

**Figura 15.** Acercamiento de otras regiones circundantes a la región de Sonsón que los análisis resaltan como prioridades de conservación, en los municipios de San Francisco y San Luis (Río Claro). **55**

**Figura 16.** Áreas prioritarias para la conservación de la Serranía de San Lucas, en lo que alberga Antioquia. **56**

# Índice de Tablas

**Tabla 1.** Remanencia de los biomas presentes en Antioquia, basados en coberturas vegetales del Instituto Alexander von Humboldt (2007). “%Natural”, porcentaje de Antioquia que cubre el bioma en su estado natural; y “%Remanencia”, porcentaje de remanencia del bosque al año 2007. **11**

**Tabla 2.** Representatividad de ecosistemas en Antioquia, basada en coberturas vegetales del Instituto Alexander von Humboldt (2007). “% Natural”: porcentaje de Antioquia que cubre el bioma en su estado natural. “% Rep”: porcentaje de representatividad actual del ecosistema en el Sistema Departamental de Áreas Protegidas (SIDAP). **19**

**Tabla 3.** Variables utilizadas para el análisis de amenazas a los ecosistemas y presiones a la conservación. Las variables que mostraron un efecto significativo se destacan en negrilla. **29**

**Tabla 4.** Promedio de la velocidad del cambio climático en los biomas presentes en Antioquia (Loarie et al., 2009). **32**



PAUJIL  
*Crax albertii*

# 1. ¿Por qué y cómo priorizar áreas para conservación?

La pérdida de diversidad biológica y procesos ecosistémicos están entre los mayores impactos de las actividades humanas en las últimas décadas. La transformación de los hábitats naturales, la contaminación, la sobreexplotación de recursos, además de la aceleración del cambio climático global, que ha amplificado sus efectos, son algunas de las consecuencias de estas (Chapin et al., 2000). Por esta razón se realizó la Convención de Diversidad Biológica (CBD, por sus siglas en inglés) para unificar criterios sobre los cambios en la diversidad y plantear estrategias para disminuir su pérdida. Una de estas es el mantenimiento de áreas protegidas. Para definir los sitios donde se establecen dichas áreas protegidas se han establecido dos criterios fundamentales de evaluación: su irremplazabilidad y su vulnerabilidad (Brooks et al., 2006).

La irremplazabilidad se refiere a la capacidad de un sitio para mantener poblaciones viables de la mayor cantidad de especies posibles, reduciendo así su probabilidad de extinción. Por tanto, sitios con mayor cantidad de especies endémicas y/o amenazas son altamente irremplazables (Orme et al., 2005), así como la capacidad de proveer servicios ecosistémicos mediante sus procesos ecológicos (Assessment, 2005).

Por otra parte, la vulnerabilidad se refiere a la probabilidad de desaparición de un sitio, debido a las acciones que amenazan su subsistencia. Las amenazas son todos aquellos fenómenos derivados de las actividades humanas como la extensión de la frontera agrícola, la minería intensiva, la sobreexplotación de los recursos naturales, contaminación industrial y doméstica, además de los cambios climáticos globales y locales que han avanzado en las últimas décadas (Brook, Sodhi, & Bradshaw, 2008).

Dependiendo de la irremplazabilidad y vulnerabilidad de un sitio se deben implementar acciones de conservación específicas. Los sitios de menor vulnerabilidad pueden ser más apropiados para reducir la probabilidad de extinción de las especies (Brooks et al., 2006): primero, por su mayor permanencia en el tiempo; segundo, por la posibilidad de adquirir grandes áreas (que son las más apropiadas para mantener de las poblaciones viables).

Además, aquellos sitios poco vulnerables y de baja irremplazabilidad (altamente reemplazables) son objetivos de restauración, áreas útiles para recuperar hábitat y, aún más importante, de servicios ecosistémicos. Estos sitios, generalmente, se encuentran cerca de las poblaciones humanas donde los servicios ecosistémicos son más necesarios, como el mantenimiento de las fuentes hídricas, la regulación climática y la producción de alimento (Colgan, Hunter, McGill, & Weiskittel, 2014). Estas son acciones proactivas que se pueden dar a largo plazo. Por otra parte, los sitios altamente vulnerables requieren de estrategias inmediatas

según su irremplazabilidad. Áreas reemplazables muy vulnerables requieren de estrategias de desarrollo sostenible, para llevar a cabo actividades económicas sin impactar el entorno (Tilman et al., 2001). Adicionalmente, estas actividades requieren de estudios de impacto ambiental detallados y adecuados planes de manejo. Finalmente, áreas de altamente vulnerables e irremplazables necesitan de acciones inmediatas como declaratorias de reservas, es decir, son prioridad para establecer un área protegida (Brooks et al., 2006) (Figura 1). Estas son acciones reactivas que deben ser gestionadas y ejecutadas en corto o mediano plazo.

Para cuantificar la irremplazabilidad, usualmente se utilizan diferentes indicadores que definen las características propias de un sitio. En el caso de la diversidad biológica, se mide el número de especies, la proporción de especies que se encuentran amenazadas y su composición específica (Ferrier & Guisan, 2006). Por tanto, son indicadores adecuados los endemismos o similitud del área de estudio respecto a su alrededor.

Sin embargo, estos criterios son dependientes de la escala de estudio. A escalas globales los análisis se generan en unidades de análisis de 10.000 km<sup>2</sup> o más (Orme et al., 2005), asumiendo la viabilidad de las poblaciones en cada unidad. Mientras que a escalas locales, la capacidad de mantener poblaciones deben ser rigurosamente incluidos para la definición de áreas de protección (Woodroffe & Ginsberg, 1998). Aunque es escasa la información sobre los rangos de hogar y la

dispersión de las especies, y se requieren otras alternativas (Taugourdeau, Villerd, Plantureux, Huguenin-Elie, & Amiaud, 2014).

Por otra parte, los indicadores de vulnerabilidad están asociados con medidas del crecimiento económico y demográfico de una región. Por ejemplo, modelos de uso del suelo, donde se establecen escenarios de crecimiento de la ganadería, la agricultura u otras actividades. Asimismo, se incluyen megaproyectos en desarrollo o planes de los mismos como potenciales impactos.

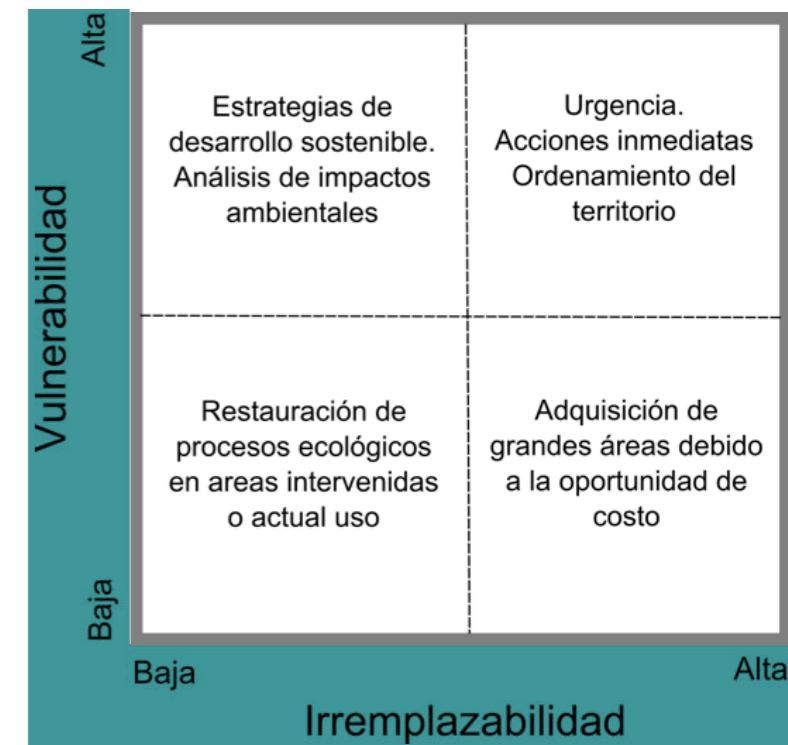


Figura 1. Esquema conceptual que indica acciones de conservación según la irremplazabilidad y vulnerabilidad de un sitio. Con base en este esquema se pueden definir prioridades para la conservación en una región, según sus necesidades. Adaptado de Brooks et al. (2006).

## 2. ¿Cómo está Antioquia en términos de conservación?

### 2.1. Antecedentes

Antioquia con solo el 5,4 % (63.612 km<sup>2</sup>) del territorio de Colombia, alberga cerca del 47 % de las especies reportadas para el país. Se ha registrado cerca del 30 % de las plantas vasculares (Idárraga & Callejas, 2011), el 49 % de las especies de mariposas —Nymphalidae— (Henao, 2006), el 30 % de los anfibios (Gutiérrez et al., 2003), el 52 % de especies de aves (Salaman, Donegan y Caro, 2009) y el 51 % de los mamíferos (Cuartas y Muñoz, 2003). Esto responde a su posición geográfica única. Contiene las selvas húmedas del Choco, al occidente; bosques secos, pantanos y manglares, al norte; y parte del sistema montañoso de los Andes. Además, es atravesada por las cuencas de los ríos Magdalena, Cauca, Atrato, Porce-Nechí y San Jorge. Se encuentra cerca al Istmo de Panamá, que conecta dos continentes. Todos estos factores históricos, geográficos y ambientales favorecen la acumulación y mantenimiento de especies (Ricklefs, 2004).

Asimismo, Antioquia es el departamento con mayor cantidad de especies amenazadas reportadas en los libros rojos de Colombia, 162 de las 1.258 especies (Salazar-Holguín, 2010). Esto puede ser consecuencia de la transformación del paisaje, solo cerca del 30 % (21.000 km<sup>2</sup>) del departamento corresponde a bosque natural o hábitat apropiado para la mayoría de las especies.

Actualmente, se reportan cifras de reducción de la cobertura forestal cercanas a 25.000 hectáreas anuales (ha año<sup>-1</sup>), siendo las subregiones del Nordeste y Noroccidente antioqueños las más afectadas en la última década (Hansen et al., 2013). La deforestación es mayor en los bosques de tierras bajas (0-1500 metros sobre el nivel del mar -m s. n. m.-), favorecida por una menor inclinación del terreno que facilita su accesibilidad (Sandel & Svenning, 2013).

Además, la cobertura vegetal es fundamental para la persistencia de las cuencas hidrográficas. Por ejemplo, 406 microcuencas del departamento se encuentran en acelerado proceso de erosión, amenazando la provisión de agua para las poblaciones vecinas (Gobernación de Antioquia, 2012). Mora & Muñoz (2008) muestran que las características de los suelos, la pendiente del terreno y su humedad, hacen de Antioquia una zona apropiada para la conservación de bosques y la explotación de recursos como el agua (Sandel & Svenning, 2013). Por lo cual se plantea que al menos el 57.8% debería mantenerse como bosques, sin embargo existe el 32.8%, es decir unas 1,5 millones de hectáreas se destinan a otras actividades.

### 2.2. ¿Cuál es la remanencia de los biomas en Antioquia?

La remanencia de bioma se entiende como el área natural que aún permanece intacta respecto a su extensión original. La mayoría de los biomas de Antioquia tiene menos del 40% de remanencia. El bioma Seco Tropical del Caribe es más transformado (5% de remanencia), seguido de los biomas del Magdalena y el Caribe (18%) y los biomas

del Pacífico y Atrato (28%). Sin embargo, el bioma Seco Tropical del Caribe tiene 1.000 km<sup>2</sup> más que los otros dos ecosistemas anteriores, es decir, que su transformación ha sido más acelerada. Los biomas bajos de los Andes tienen la mayor extensión natural en el departamento, sin embargo su remanencia es del 33 %. En contraste, el bioma de San Lucas (estribaciones de la Serranía de San Lucas) presenta una remanencia total (100%), según la información de coberturas en el país del Instituto Alexander von Humboldt (IAvH, 2007). Sin embargo, la transformación de esta región por minería y actividades ilegales (como los cultivos ilícitos) puede ser difícil de detectar con los métodos convencionales.

Tabla 1. Remanencia de los biomas presentes en Antioquia, basados en coberturas vegetales del Instituto Alexander von Humboldt (2007). “%Natural”, porcentaje de Antioquia que cubre el bioma en su estado natural; y “%Remanencia”, porcentaje de remanencia del bosque al año 2007.

Bioma	Área (km <sup>2</sup> )	%Natural	%Remanencia
Zonobioma seco tropical del Caribe	2.877	0,05	0,05
Helobiomas del Magdalena y Caribe	1.935	0,03	0,18
Helobiomas del Pacífico y Atrato	1.952	0,03	0,28
Orobiomas medios de los Andes	12.757	0,20	0,29
Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y el Caribe	13.693	0,22	0,31
Orobiomas bajos de los Andes	26.723	0,42	0,33
Halobioma del Caribe	283	0,00	0,42
Orobiomas altos de los Andes	960	0,02	0,47
Zonobioma húmedo tropical del Pacífico y Atrato	1.558	0,02	0,76
Orobioma de San Lucas	541	0,01	1,00

### 2.3. ¿Cómo está el Sistema de Áreas Protegidas y cuáles ecosistemas representa?

#### 2.3.1. Sistema Departamental de Áreas Protegidas de Antioquia

Actualmente, el Sistema Departamental de Áreas Protegidas (SIDAP) cuenta con siete áreas protegidas de carácter nacional. Entre estas existen tres parques nacionales naturales (PNN): Los Katíos (Patrimonio Mundial de la Humanidad), Las Orquídeas y Paramillo (cuarta estrella fluvial más importante de Colombia). También, cuenta con 18 áreas protegidas de carácter regional, que cubren un 8,9% del departamento. Cerca del 50% de estas áreas protegidas se encuentra como declaratorias de Distrito de Manejo Integrado (DMI), una figura legal que tiene limitaciones para garantizar la protección efectiva de los bosques y su biodiversidad (Álvarez y Cogollo, 2011).



OSO DE ANTEOJOS  
*Tremarctos ornatus*

En términos de su administración, el SIDAP Antioquia para su construcción territorial, parte del reconocimiento de las particularidades al interior de las subregiones que lo integran. Estas particularidades identifican nueve áreas homogéneas, denominadas subsistemas de gestión ambiental territorial para la conservación o subsistemas regionales de áreas protegidas, este último de acuerdo con los lineamientos dados en el artículo 8 del Decreto 2372 de 2010. Estos subsistemas son: Región Metropolitana, Región Central de Antioquia, Páramos y Bosques del Suroriente Antioqueño, Embalses del Oriente Antioqueño, Atrato Medio, Cauca Nechí, Marino Costero, Norte Antioqueño, y Cordillera Occidental (Gobernación de Antioquia, 2010).

La Región Metropolitana, comprende el Valle de Aburrá, donde se han declarado dos áreas protegidas: Área de Recreación Parque Ecológico Cerro Nutibara y el Parque Natural Regional Metropolitano Cerro El Volador. Ambas aportan un total de 137 ha protegidas (Gobernación de Antioquia 2010).

El Sistema Regional de Áreas Protegidas Parque Central de Antioquia (PCA), es una estrategia de gestión y ordenamiento urbano-regional. Comprende 50 municipios pertenecientes a la región Norte, Occidente, Suroeste, Oriente y Valle de Aburrá que, en conjunto, totaliza un área de 894.555 ha, compuesta por 31 áreas, ocho de estas en zonas para asegurar la oferta y regulación hídrica (Gobernación de Antioquia, 2010).

El Subsistema Páramo y Bosques del



Suroriente Antioqueño, abarca las regionales Bosques y Páramos, al interior de la división administrativa realizada por la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare (Cornare). En este subsistema de 37,72 km<sup>2</sup> se han conservado relictos boscosos que hacen parte de la reserva forestal de la Ley 2<sup>a</sup> de 1959. Actualmente, la entidad ambiental gestiona la declaratoria de la Cuchilla La Tebaida, en el municipio de San Luis, la delimitación del páramo mediante convenio con el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Así mismo, esta autoridad ambiental ha declarado las Reservas Forestales Protectoras Regionales Punchiná y San Lorenzo (Gobernación de Antioquia, 2010).

El Subsistema Región Embalses, está ubicado en las Regionales Aguas y Porce-Nus, también en la jurisdicción de Cornare, y se encuentra inmerso sobre la zonificación del aprovechamiento hidroeléctrico del Río Nare y Guatapé y Río Calderas. En este subsistema se declaró el DMI Embalse de “El Peñol” y la Cuenca alta del Río Guatapé. Comprende una superficie aproximada de 13.100 ha (Gobernación de Antioquia 2010).

El Subsistema Cordillera Occidental, se localiza sobre los municipios del Occidente y Suroeste antioqueños, teniendo como límite al departamento del Chocó, Río Cauca y, al sur, los departamentos de Caldas y Risaralda. Es uno de las zonas mejor representadas en el SIDAP, con la declaratoria de Áreas Protegidas de las Reservas Forestales Protectoras Nacionales del Páramo Urrao y de Frontino, los Parques Nacionales Naturales Paramillo y Las

Orquídeas, la Reserva Forestal Protectora Regional Farallones del Citará y los DMI Alto del Insor, Cerro Plateado Alto San José, Río Barroso y San Juan, Cuchilla Jardín-Támesis-Caramanta. Tales distritos, sumados a las áreas protegidas del SIDAP Risaralda y SIDAP Chocó, conforman un corredor que salvaguarda estos ecosistemas. (Gobernación de Antioquia 2010).

La subregión Marino-Costera, se ubica en la jurisdicción de la Corporación para el Desarrollo Sostenible de Urabá (Corpourabá). La entidad adelanta procesos de declaratoria de nueve áreas protegidas. Se cuenta con la zona denominada “Ensenada de Rionegro, los Bajos Aledaños, Las Ciénagas de Marimonda y el Salado”, bajo la categoría de DMI de los Recursos Naturales Renovables, así como el Parque Natural del Sistema Manglárico en el Delta del Atrato. Como tercera acción en este subsistema, se identifica la Reserva Forestal Protectora de los Humedales entre los Río León y Suriquí (Gobernación de Antioquia, 2010).

Para los demás subsistemas no se tienen planes estratégicos de acción formulados que den cuenta de las acciones en el marco de programas y proyectos específicos, por lo que no se tienen identificadas las actividades propias del SIDAP. Sin embargo, se resaltan algunas áreas que no se mencionan en los otros subsistemas: la Reserva Natural Bajo Cauca-Nechí, que cuenta con un área de 79.579 ha; el DMI Sistema Páramo y Bosques Altos Andinos del Noroccidente Medio Antioqueño, ubicado en el Cañón del Río Cauca, en una franja de elevación de 2.400-3.350 m s. n.

m.; y el DMI Divisoria de Aguas Aburrá-Río Cauca, con un área 28.015 ha (Gobernación de Antioquia, 2010).

El análisis de Álvarez y Cogollo (2011) señala que el actual SIDAP se considera insuficiente para mantener la diversidad biológica, dado que, en su carácter estricto de conservación, cubre apenas el 5% del Departamento y no necesariamente está localizado en áreas estratégicas para la conservación de biodiversidad. Por eso este estudio se planteó como objetivo identificar áreas prioritarias para la conservación de los bosques de Antioquia.

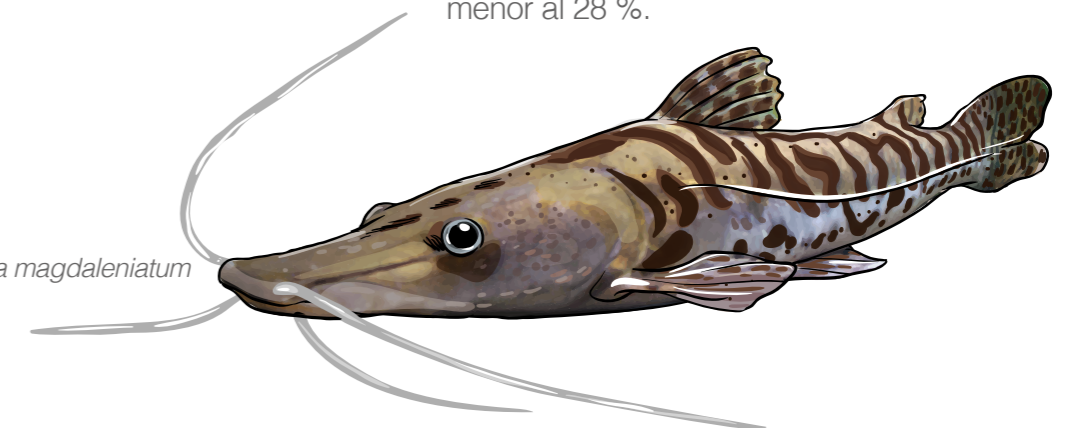
### 2.3.2. Representatividad

La representatividad es el porcentaje de los ecosistemas que se encuentran caracterizados en los actuales sistemas de áreas protegidas nacional y regional. Para estimar la representatividad se empleó el mapa de ecosistemas del IAvH (2007), generado con información de satelital y una escala 1:100.000.

El sistema nacional se compone de los parques naturales nacionales y, en lo regional, se refiere a ejercicios de definición de ecosistemas a una menor escala desarrollados por la Secretaría del Medio Ambiente (2007) y los sistemas de áreas protegidas regionales (por ejemplo, parques regionales, reservas de la sociedad civil, etcétera).

Ninguno de los 79 ecosistemas presentes en Antioquia se encuentran altamente representado (80 a 100 %) en la Sistema Nacional de Áreas Protegidas y sólo pocos ecosistemas se encuentran con un grado mayor al 80 % de representatividad en el sistema regional (Tabla 2). Los ecosistemas de bosques naturales del halobioma del Caribe (86,8 %), bosques naturales del orobioma alto de los Andes (52,4 %) y vegetación secundaria del orobioma alto de los Andes (52,4%) son los que se encuentran más representados en el sistema regional de áreas protegidas. Sin embargo, estos tres ecosistemas representan menos del 1 % del área de Antioquia, los demás ecosistemas tienen un porcentaje de representatividad menor al 28 %.

BAGRE RAYADO  
*Pseudoplatystoma magdaleniatum*



Ecosistema	Tipo	Área (km <sup>2</sup> )	% Natural	% Rep
Bosques naturales del helobioma del Caribe	Natural	66,92	0,00	0,87
Bosques naturales del orobioma alto de los Andes	Natural	453,38	0,01	0,52
Bosques naturales del orobioma medio de los Andes	Natural	3.718,05	0,06	0,28
Bosques naturales del orobioma bajo de los Andes	Natural	8.887,00	0,14	0,09
Manglar del Caribe	Natural	53,10	0,00	0,06
Bosques naturales del zonobioma seco tropical del Caribe	Natural	157,51	0,00	0,02
Bosques naturales del zonobioma húmedo tropical del Pacífico y Atrato	Natural	1.191,50	0,02	0,01
Bosques naturales del zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	Natural	4.297,01	0,07	0,01
Bosques naturales del helobioma Magdalena y Caribe	Natural	341,01	0,01	0,01
Bosques naturales del helobioma Pacífico y Atrato	Natural	538,37	0,01	0,00
Bosques naturales del orobioma de la serranía de San Lucas	Natural	541,17	0,01	0,00
Vegetación secundaria del orobioma alto de los Andes	Transformado	22,52	0,00	0,52
Hidrofitia continental del zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe.	Transformado	129,04	0,00	0,01
Vegetación secundaria del helobioma Magdalena y Caribe	Transformado	302,46	0,00	0,01
Aguas continentales artificiales del orobioma bajo de los Andes	Transformado	38,96	0,00	0,00
Aguas continentales artificiales del orobioma medio de los Andes	Transformado	135,48	0,00	0,00
Aguas continentales naturales del helobioma Magdalena y Caribe	Transformado	524,08	0,01	0,00
Aguas continentales naturales del helobioma Pacífico y Atrato	Transformado	275,23	0,00	0,00
Aguas continentales naturales del orobioma bajo de los Andes	Transformado	22,30	0,00	0,00
Aguas continentales naturales del orobioma medio de los Andes	Transformado	13,46	0,00	0,00
Aguas continentales naturales del zonobioma húmedo tropical del Pacífico y Atrato	Transformado	1,02	0,00	0,00
Arbustales del orobioma alto de los Andes	Transformado	296,27	0,00	0,00
Arbustales del orobioma bajo de los Andes	Transformado	8,60	0,00	0,00
Arbustales del orobioma medio de los Andes	Transformado	61,58	0,00	0,00
Arbustales del zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	Transformado	5,34	0,00	0,00
Áreas agrícolas heterogéneas del helobioma Magdalena y Caribe	Transformado	73,88	0,00	0,00
Áreas agrícolas heterogéneas del helobioma Pacífico y Atrato	Transformado	294,10	0,00	0,00
Áreas agrícolas heterogéneas del orobioma bajo de los Andes	Transformado	502,68	0,01	0,00
Áreas agrícolas heterogéneas del orobioma medio de los Andes	Transformado	494,47	0,01	0,00
Áreas agrícolas heterogéneas del zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	Transformado	670,09	0,01	0,00
Áreas agrícolas heterogéneas del zonobioma húmedo tropical del Pacífico y Atrato	Transformado	123,95	0,00	0,00
Áreas agrícolas heterogéneas del zonobioma seco tropical del Caribe	Transformado	672,01	0,01	0,00
Áreas mayormente alteradas del orobioma medio de los Andes	Transformado	1,75	0,00	0,00
Áreas urbanas del helobioma del Caribe	Transformado	1,14	0,00	0,00
Áreas urbanas del helobioma Magdalena y Caribe	Transformado	5,68	0,00	0,00
Áreas urbanas del orobioma bajo de los Andes	Transformado	199,96	0,00	0,00
Áreas urbanas del orobioma medio de los Andes	Transformado	38,54	0,00	0,00
Áreas urbanas del zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	Transformado	54,85	0,00	0,00
Bosques plantados del helobioma Magdalena y Caribe	Transformado	8,20	0,00	0,00
Bosques plantados del orobioma alto de los Andes	Transformado	30,05	0,00	0,00
Bosques plantados del orobioma bajo de los Andes	Transformado	12,73	0,00	0,00
Bosques plantados del orobioma medio de los Andes	Transformado	269,71	0,00	0,00
Bosques plantados del zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	Transformado	15,12	0,00	0,00
Cultivos anuales o transitorios del helobioma del Caribe	Transformado	52,00	0,00	0,00
Cultivos anuales o transitorios del helobioma Magdalena y Caribe	Transformado	136,42	0,00	0,00
Cultivos anuales o transitorios del helobioma Pacífico y Atrato	Transformado	2,17	0,00	0,00
Cultivos anuales o transitorios del orobioma alto de los Andes	Transformado	14,38	0,00	0,00
Cultivos anuales o transitorios del orobioma bajo de los Andes	Transformado	2.246,09	0,04	0,00
Cultivos anuales o transitorios del orobioma medio de los Andes	Transformado	915,49	0,01	0,00
Cultivos anuales o transitorios del zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	Transformado	1.141,21	0,02	0,00
Cultivos anuales o transitorios del zonobioma seco tropical del Caribe	Transformado	487,98	0,01	0,00
Cultivos semi-permanentes y permanentes del orobioma bajo de los Andes	Transformado	710,03	0,01	0,00
Cultivos semi-permanentes y permanentes del orobioma medio de los Andes	Transformado	71,07	0,00	0,00
Cultivos semi-permanentes y permanentes del zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	Transformado	159,46	0,00	0,00
Cultivos semi-permanentes y permanentes del zonobioma húmedo tropical del Pacífico y Atrato	Transformado	37,24	0,00	0,00
Herbáceas y arbustivas Costeras del helobioma del Caribe	Transformado	14,33	0,00	0,00
Herbáceas y arbustivas costeras del helobioma Pacífico y Atrato	Transformado	181,95	0,00	0,00
Herbáceas y arbustivas costeras del zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	Transformado	154,80	0,00	0,00
Herbazales del orobioma alto de los Andes	Transformado	56,60	0,00	0,00
Hidrofitia continental del helobioma Magdalena y Caribe	Transformado	10,20	0,00	0,00
Hidrofitia continental del helobioma Pacífico y Atrato	Transformado	617,92	0,01	0,00
Hidrofitia continental del zonobioma húmedo tropical del Pacífico y Atrato	Transformado	0,39	0,00	0,00
Lagunas costeras del helobioma del Caribe	Transformado	16,06	0,00	0,00
Pastos del helobioma del Caribe	Transformado	79,15	0,00	0,00
Pastos del helobioma Magdalena y Caribe	Transformado	530,97	0,01	0,00
Pastos del orobioma alto de los Andes	Transformado	86,43	0,00	0,00
Pastos del orobioma bajo de los Andes	Transformado	4.577,98	0,07	0,00
Pastos del orobioma medio de los Andes	Transformado	4.796,28	0,08	0,00
Pastos del zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	Transformado	4.425,94	0,07	0,00

Ecosistema	Tipo	Área (km <sup>2</sup> )	% Natural	% Rep
Pastos del zonobioma húmedo tropical del Pacífico y Atrato	Transformado	11,84	0,00	0,00
Pastos del zonobioma seco tropical del Caribe	Transformado	904,52	0,01	0,00
Vegetación secundaria del helobioma Pacífico y Atrato	Transformado	42,34	0,00	0,00
Vegetación secundaria del orobioma bajo de los Andes	Transformado	9.516,87	0,15	0,00
Vegetación secundaria del orobioma medio de los Andes	Transformado	2.240,62	0,04	0,00
Vegetación secundaria del zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	Transformado	2.636,79	0,04	0,00
Vegetación secundaria del zonobioma húmedo tropical del Pacífico y Atrato	Transformado	191,78	0,00	0,00
Vegetación secundaria del zonobioma seco tropical del Caribe	Transformado	655,26	0,01	0,00
Zonas desnudas del helobioma Magdalena y Caribe	Transformado	1,68	0,00	0,00
Zonas desnudas del zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	Transformado	3,20	0,00	0,00

Tabla 2. Representatividad de ecosistemas en Antioquia, basada en coberturas vegetales del Instituto Alexander von Humboldt (2007). “% Natural”: porcentaje de Antioquia que cubre el bioma en su estado natural. “% Rep”: porcentaje de representatividad actual del ecosistema en el Sistema Departamental de Áreas Protegidas (SIDAP).

#### 2.4. Oportunidades e iniciativas de conservación en Antioquia

La oportunidad está dada por aquellos lugares en que podría ser más fácil establecer un área protegida, ya sea porque existe una iniciativa anterior o porque es un terreno baldío del Estado. En el presente estudio, las oportunidades se definieron como las zonas donde existen iniciativas de conservación y se encuentran los bosques de la Ley 2ª. Las iniciativas de conservación son los territorios donde las diferentes corporaciones autónomas han reconocido facilidades o necesidades para la conservación de la biodiversidad. En ese orden de ideas, existen diez iniciativas de conservación en Antioquia, que suman 8.747,5 km<sup>2</sup> de extensión y representan el 13,81 % del área del departamento.

### 3. ¿Cómo está Antioquia en términos de diversidad biológica y servicios ecosistémicos?

#### 3.1. ¿Cómo está el departamento en número de especies?

A pesar del amplio conocimiento de la diversidad en Antioquia, su distribución espacial no ha sido analizada cuidadosamente (Álvarez y Cogollo, 2011). En ese sentido, la riqueza de especies de un sitio puede entenderse como la superposición de sus rangos geográficos. Los mapas de tales rangos geográficos para cada especie pueden ser delineados por expertos en cada grupo taxonómico, con base en registros de presencia de las especies o generados con modelos de distribución de especies (C. Graham & Hijmans, 2006). Esta última, es una opción

alternativa de generar los mapas, a partir de información secundaria que, generalmente, está incompleta (R. P. Anderson, Peterson, & Gómez-Laverde, 2002), pero es el patrón más común en regiones tropicales, donde el esfuerzo de muestreo es escaso (Kamino et al., 2012).

Así las cosas, el presente estudio construyó mapas de diversidad de especies utilizando como unidad de análisis los rangos de distribución geográfica de las especies presentes en Antioquia. Dado que no todos los grupos de fauna y flora localizados en el departamento tienen información disponible o ajustada a una escala apropiada, se procedió de la siguiente manera: i) se construyeron rangos de distribución para aquellos que no están disponibles y contaban con información apropiada, ii) se ajustaron los mapas disponibles a una escala menor. Los grupos taxonómicos usados como indicadores de la diversidad biológica en este estudio fueron: Vertebrados terrestres (Aves, Anfibios, Mamíferos), Palmas y Cordoncillos (plantas del género *Piper*).

La selección de estos grupos es importante para los resultados finales y se dispone de buena información de registros en el departamento. La mayoría tiene rangos geográficos conocidos y datos sobre los ecosistemas y rangos de elevación. En el caso de los Cordoncillos, Ricardo Callejas Posada detalló el conocimiento que se tiene del grupo en Antioquia. Asimismo, el estado de amenaza y vulnerabilidad de los grupos ha sido evaluado, según los criterios definidos por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés), excepto

los cordoncillos, lo que permite realizar análisis detallados sobre sus patrones de diversidad.

Por otra parte, en estos grupos se encuentran muchas de las especies empleadas como objetos de conservación en otros estudios de la región, por ejemplo, el Oso de Anteojos (*Tremarctos ornatus*). Sin embargo, reconocemos la falta de incluir otros grupos fundamentales en la priorización de la conservación de la diversidad en Antioquia como son las Magnolias (MAGNOLIACEAE), siendo el departamento uno de las regiones de mayor diversidad de este grupo. Sin embargo, no tiene información suficiente para tener resultados comparables con los otros grupos taxonómicos.

Debido a que la información de cada grupo taxonómico se encuentra en diferentes repositorios y formatos, se utilizaron diferentes protocolos de adquisición y depuración de datos:

Para los grupos de vertebrados terrestres se cuenta con mapas de los rangos geográficos delineados mundialmente por expertos para cada especie, los cuales se encuentran disponibles en los repositorios de la IUCN (<http://www.iucnredlist.org/technical-documents/spatial-data>). Estos mapas fueron creados a escala global, por lo cual su resolución no es apropiada para análisis locales. Para disminuir este sesgo, ajustamos estos mapas usando información sobre rangos de elevación y biomas de donde se ha reportado cada especie. Este tratamiento permite tener mapas de distribución más precisos de cada una de las especies para el área de estudio.

MARIMONDA  
*Ateles geoffroyi*



En el caso de las palmas, se digitalizaron los rangos de distribución geográfica publicados en Henderson, Galeano, y Bernal (1995). Debido a los errores que se comenten al delinear estos mapas, se ajustaron usando el mismo procedimiento mencionado, de acuerdo con información de Rodrigo Bernal y Gloria Galeano, especialistas en palmas.

Para los cordoncillos, se consolidó una base de datos con registros de localidades a lo largo de su rango de distribución dentro y fuera de Antioquia, usados para construir los modelos de la distribución potencial. Para este propósito existen diferentes técnicas, seleccionando el algoritmo de máxima entropía, *MaxEnt* (S J Phillips, Anderson, & Schapire, 2006), uno de los métodos más aceptados de modelación ecológica en la actualidad (Elith et al., 2006).

En el proceso de modelación se usaron los valores recomendados por defecto en el programa. Para realizar el ajuste del modelo se empleó una selección aleatoria del 75 % de los puntos de presencia, el 25 % restante, fue utilizado para evaluar el modelo. El resultado es un mapa continuo de probabilidad (entre 0-1), pues es necesario definir un umbral para determinar presencia y ausencia de la especie estudiada. Para obtener los mapas de distribución de cada especie se aplicó el valor mínimo acumulado de entrenamiento como valor de corte (Steven J. Phillips, Anderson y Schapire, 2006).

Una vez delimitados los rangos geográficos de las especies y ajustados a escala apropiada, generamos mapas de riqueza

de especies sobre una cuadrícula en el departamento de Antioquia con un tamaño de celda de 1 km<sup>2</sup>. Con esta metodología se obtuvo el número y la composición de especies en cada celda. Con esta matriz se elaboraron mapas de riqueza de especies para cada uno de los grupos usados y para el total. De la misma forma, se generaron mapas de número de especies amenazadas y endémicas para los grupos que disponían de esta información (Orme et al., 2005).

Los patrones de riqueza de especies, observados para los tres grupos de vertebrados analizados, son concordantes, en general y muestran picos de riqueza en las regiones de Urabá, Bajo Cauca, Nordeste y Magdalena Medio (Figura 2A). Las zonas de mayor riqueza de especies para los grupos de vertebrados coinciden con zonas de tierras bajas, principalmente, sobre la vertiente oriental de la Cordillera Central, entre la Cordillera Central y la Serranía de San Lucas, y en la vertiente occidental de la Cordillera Occidental. Para los tres grupos, las zonas de bosques andinos y el valle del río Cauca son las que menor número de especies presentan (Figura 2B).

Por su parte, las palmas presentan zonas de alta riqueza de especies en las regiones de Urabá, la vertiente occidental de la Cordillera Occidental, en general, y los bosques andinos de la Cordillera Central. En contraste, hay zonas de baja riqueza en el valle geográfico del río Cauca y zona norte del Urabá, en el bosque seco tropical. Los Cordoncillos presentan zonas de alta riqueza de especies en la mayor parte de los bosques andinos de la Cordillera Central, la región del Valle del Magdalena y Urabá.

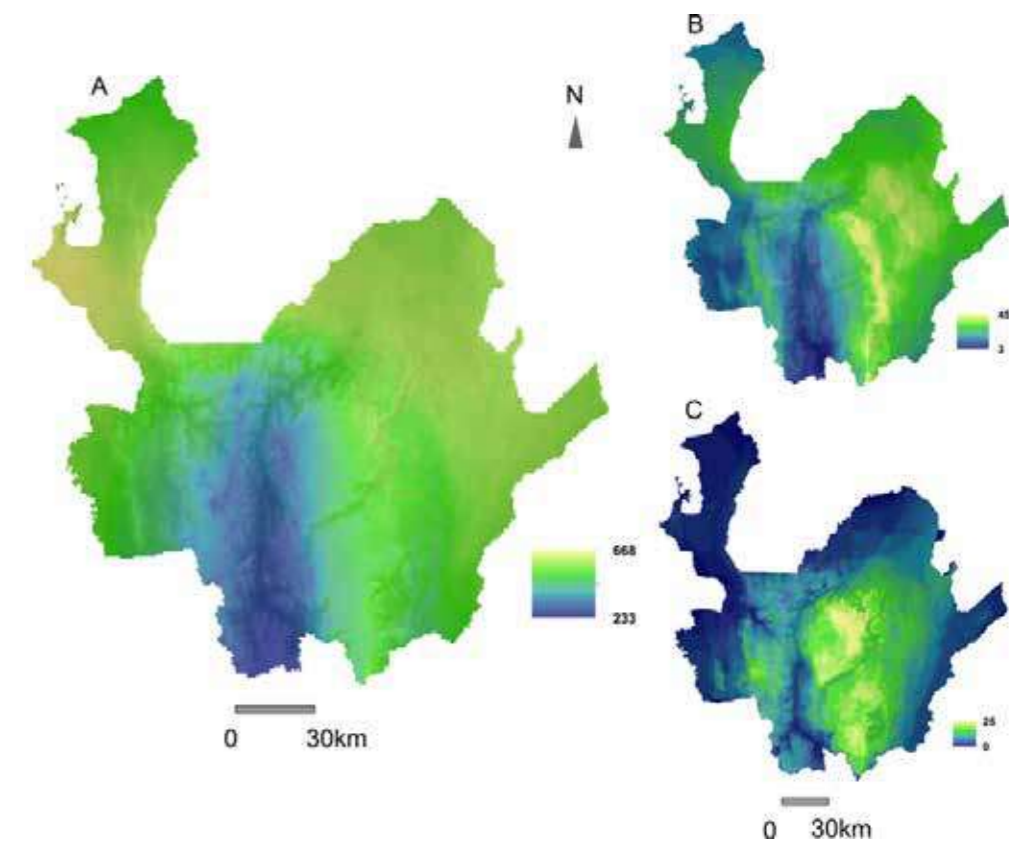
Al calcular la riqueza de especies con los grupos de vertebrados y plantas, encontramos que la mayor riqueza de especies se concentra en la región de Urabá, en los municipios de Chigorodó, Turbo, Apartadó y Carepa, los cuales podrían concentrar, potencialmente, más de 620 especies de los grupos estudiados. Otra zona de gran acumulación de especies se puede encontrar entre las regiones Bajo Cauca y Nordeste, principalmente, en los municipios de Anorí, Cáceres, Zaragoza y El Bagre, donde se concentran hasta 600 especies.

La mayor concentración de especies amenazadas se puede encontrar en las zonas de bosques Alto Andinos, tanto en la Cordillera Central como la Occidental, y la vertiente oriental de la Cordillera Central, lo que se relaciona con la alta degradación de los hábitats naturales de estas zonas. Adicionalmente, muchas de las especies de estos territorios tienden a presentar rangos de distribución reducidos, incluso una

buena parte de ellas es endémica (Rahbek et al., 2007). La mayor cantidad de especies amenazadas se halla en las regiones de Oriente, Norte y parte de Nordeste, donde existen áreas que acumulan más de 40 especies amenazadas de todos los grupos. Estas zonas corresponden, principalmente, a los municipios de Angostura, Yolombó, Alejandría, Guadalupe, San Rafael, San Carlos, Granada, Sonsón y Nariño.

En cuanto a especies endémicas, las zonas con mayor número de especies se localizan en las subregiones Norte y Oriente antioqueñas. Se aprecian áreas con más de 20 especies endémicas, particularmente, en los municipios de Angostura, Yarumal, Carolina del Príncipe, Santa Rosa de Osos, El Carmen del Viboral, Sonsón, Guatapé y El Peñol. Asimismo, en el municipio de Urrao (Suroeste), se evidencia otra zona con alta concentración de endemismos, donde se encuentran más de 15 especies endémicas (Figura 2C).

Figura 2. Número total de especies en Antioquia para todos los grupos taxonómicos usados en este análisis (A). Número de especies amenazadas en Antioquia (B). Número de especies endémicas en Antioquia (C). El amarillo representa valores altos de número de especies de cada categoría y el azul oscuro representa valores bajos. Los colores no son comparables entre los diferentes mapas en términos absolutos. Se resalta el bajo número de especies en el cañón del río Cauca para todos los grupos, analizados en su conjunto.

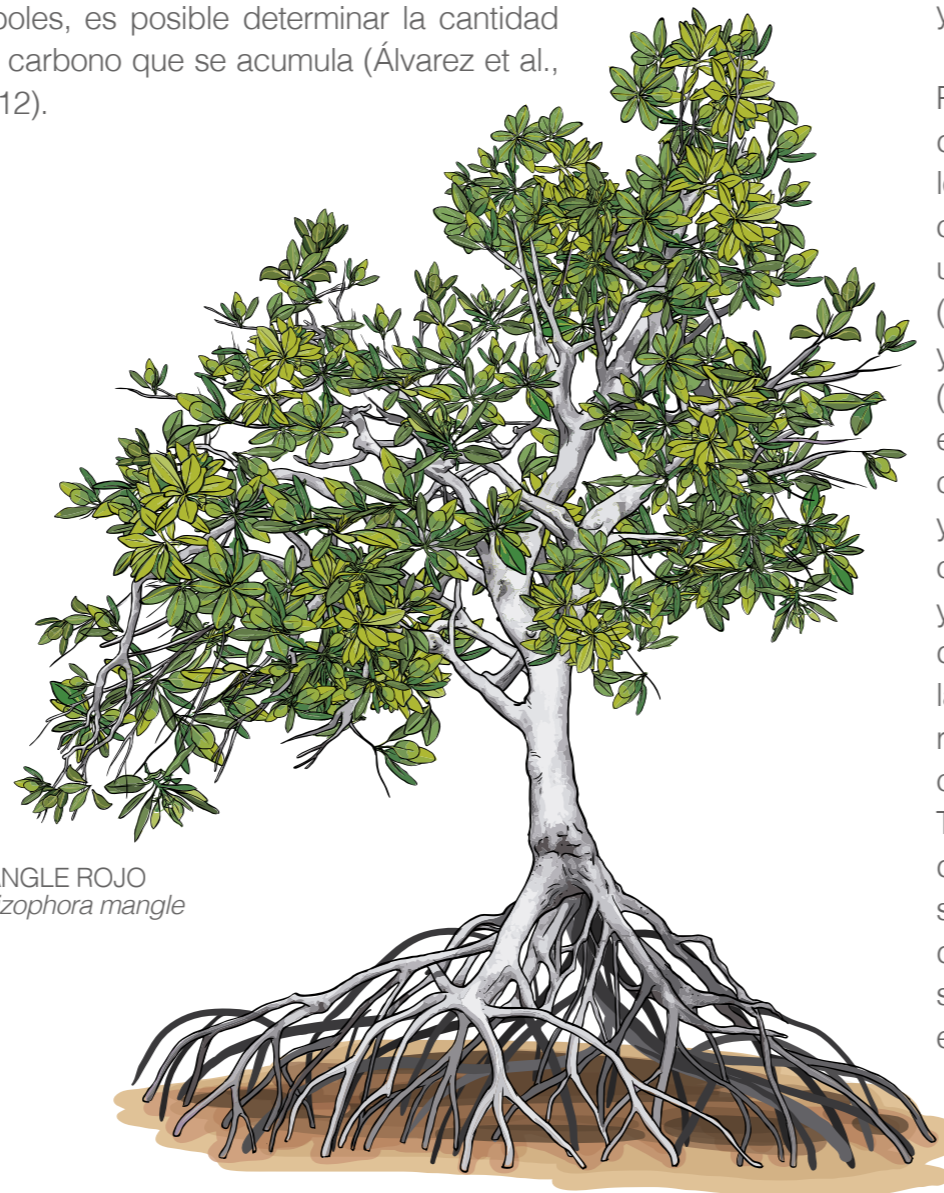


### 3.2. Disponibilidad del recurso hídrico

El aprovisionamiento de agua es la cantidad de este recurso disponible para el consumo humano, equivalente a su disponibilidad en el territorio por precipitación. La cantidad disminuye debido a la actividad de las plantas conocida como evapotranspiración y el agua que, finalmente, queda disponible será más o menos aprovechable, dependiendo de la topografía del terreno. Debido a que la pendiente afecta la escorrentía, sitios más pendientes son más propensos a dejar fluir el agua. De este proceso resulta que algunos sitios tienen mayor capacidad de aprovisionamiento. Sin embargo, no todos prestan de igual manera el agua, por lo cual ponderar su servicio por la cercanía a poblaciones humanas es necesario para, efectivamente, resaltar la importancia de los sitios como prestadores del recurso hídrico. El recurso hídrico superficial se concentra, básicamente, en cuatro regiones en el territorio antioqueño: Ituango-Pescadero, Páramo de Belmira, Sonsón (Oriente) y en las estribaciones de la vertiente oeste de la Cordillera Occidental. A pesar de estar muy localizadas y reconocidas previamente, se aprecia que la primera tiene una presión enorme por su uso para el megaproyecto hidroeléctrico Ituango, las otras dos zonas de páramo son empleadas en parte como fuente hídrica para el Valle de Aburra, donde está la mayor cantidad de la población de Antioquia, y la última región es muy aislada y sería difícil movilizar desde allí el agua hacia otras regiones. Estos puntos son claves a la hora de considerar la conformación de un sistema de áreas protegidas pensado en también mantener los servicios ecosistémicos mínimos para los antioqueños.

### 3.3. Acumulación de carbono en los bosques de Antioquia

La acumulación de carbono por los árboles y, en general, comunidades vegetales resulta esencial para la regulación del clima global. Esta acumulación es resultado del proceso de fijación de carbono mediante la fotosíntesis y su posterior acumulación en diferentes tejidos vegetales. Para árboles ha sido ampliamente estudiado dicho fenómeno, y se conoce que la mayor cantidad del carbono se acumula en el tronco y que el concentrado en otras partes del árbol es proporcional al acumulado en este. Por lo cual, si se conoce la estructura del bosque y la distribución de tamaños de árboles, es posible determinar la cantidad de carbono que se acumula (Álvarez et al., 2012).



MANGLE ROJO  
*Rhizophora mangle*

Con ese fin, se utilizaron 18 parcelas de una hectárea (1 ha) a lo largo de Antioquia, en un rango de elevación de entre 500 y 2900 m s. n. m., teniendo una buena representatividad de la variación climática en el departamento. Cada parcela cuenta con un inventario de los árboles donde se registra su diámetro a la altura del pecho (DAP). Además, se otorgó un valor de la densidad de la madera (DM) a cada especie, usando la base de datos de densidad de la madera global (Zanne et al., 2009). Con estos datos se calculó la biomasa de cada individuo, usando ecuaciones alométricas ajustadas para la región (Álvarez et al., 2012). Luego se sumaron todos los individuos por parcela y se obtuvo el valor de biomasa total.

Para construir modelos predictivos de la distribución de la biomasa acumulada en los árboles se usaron variables climáticas como predictores. Las variables que se usaron son: evapotranspiración potencial (ETP), evapotranspiración actual (ETA) y el promedio de precipitación anual (PPA). A partir de estas, se derivaron dos estimadores de la disponibilidad de agua, conocidos como índice de déficit de agua y balance hídrico. El déficit de agua fue calculado como la diferencia entre la ETP y la ETA, como indicador de la efectividad del uso del agua. Por otra parte, se empleó la proporción de agua disponible, según la regulación hídrica de las plantas, es decir, cuántas veces es mayor la PPM a ETP. Todas estas variables tienen una resolución de un kilómetro cuadrado (1 km<sup>2</sup>). Su selección se explica por los reportes previos de cómo el déficit de agua (por ejemplo, las sequías) aumentan la mortalidad y reduce el crecimiento de los árboles, teniendo un

efecto significativo sobre la acumulación total de biomasa (Stegen et al., 2011).

También se utilizaron indicadores de la cobertura vegetal recientemente publicados (Hansen et al., 2013) como porcentaje de la vegetación mayor a 5 m de altura en 30 m<sup>2</sup>. Para evaluar la relación entre las variables de disponibilidad de agua y vegetación con la biomasa de cada parcela se realizaron modelos lineales múltiples. Para controlar la autocorrelación espacial se utilizaron modelos lineales generalizados. Los dos análisis muestran resultados similares, por lo cual solo se presentaron los resultados de las regresiones lineales (Biomasa = 5,26 \* (ETP)<sup>0.0011</sup>).

Teniendo en cuenta que el carbono se incrementa con la cobertura vegetal y con la disponibilidad de agua, el análisis concluye que los bosques de Anorí, Amalfi y la Serranía de San Lucas son las áreas que acumulan mayor cantidad de carbono en los árboles. Sin embargo, en general, el modelo predice que en la mayoría de Antioquia los bosques tienen una alta capacidad de mantener carbono, pero la alta tasa de deforestación no permite que estos bosques funcionen como sumideros apropiadamente. Por tanto, áreas como el Valle del Magdalena o Urabá, que podrían acumular grandes cantidades de carbono pero son pastos en la actualidad, se constituyen en objetivos claves para proyectos de restauración con miras a financiaciones internacionales como los bonos de carbono.

Por último, hay que tener en cuenta que la biomasa acumulada en los árboles no es el único compartimiento de los ecosistemas

que acumula carbono, los suelos recogen grandes cantidades de carbono y tiende a ser mayor en tierras altas. Por ejemplo, en los páramos, explícitamente en los humedales, los sumideros de carbono logran acumular 10 veces más que una hectárea de bosque tropical, por lo cual el potencial como sumidero de los páramos de Antioquia no ha sido estudiado cuidadosamente (J.C. Benavides, conversación personal).

## 4. ¿Cuál es la vulnerabilidad ambiental de Antioquia?

### 4.1. Antecedentes

La base de la economía de Antioquia reside en los servicios, la industria, la agricultura y la minería, siendo el segundo departamento más industrializado de Colombia. La producción manufacturera se concentra en el Valle de Aburrá y en el altiplano de Rionegro, zonas donde se concentra más de la mitad de la población antioqueña y presentan los más altos índices de ingresos, empleo y calidad de vida, en contraste con los altos índices de pobreza que se tienen en las demás subregiones. Sin embargo, estos niveles de desarrollo van acompañados de grandes impactos sobre el medio ambiente agua, aire, fauna, flora y suelo (Gobernación de Antioquia, 2012).

Para la agricultura se destina el 9,4 % del 11,3 % destinado para este propósito por Planeación Departamental; algo similar ocurre con las aguas y otros usos donde solo se utiliza el 1,2 % del 12,8 % planificado.

Esto dista del 17,9% del territorio planificado para uso de pastos, pero actualmente se emplea el 53,2 %, es decir, más de 2 millones de hectáreas son usadas en ganadería extensiva u otras actividades de pastoreo.

Esta realidad ha modificado los paisajes rurales de la zona andina, y debe reconocerse como un proceso de grandes repercusiones ambientales y sociales (Murgueitio et al., 2008). Por ejemplo, el grado de la compactación se incrementa significativamente con el pisoteo de animales, reduciendo el flujo del agua y facilitando la erodabilidad (Murgueitio et al., 2008). Aristizábal y Hermelín (2008) analizaron el impacto de la ganadería sobre la erosión, mostrando que esta actividad debería estar restringida a áreas con pendientes menores de 32 grados de inclinación. La ganadería extensiva, con cargas de menos de una cabeza por hectárea para algunas regiones del departamento (especialmente en la zona Andina), requiere de al menos 45 ha en potreros para generar dos salarios mínimos por unidad familiar. Esto significa la destrucción de 13.050 toneladas de masa vegetal de bosques ( $290 \text{ ton ha}^{-1}$ ), con la consecuente pérdida de materia vital para la protección de suelos, agua, biodiversidad, paisaje y captura de  $\text{CO}_2$  (Murgueitio et al., 2008).

Adicionalmente, el departamento se encuentra en desarrollo, buscando incrementar su productividad y competitividad frente a otras regiones del país. Antioquia cuenta con una infraestructura inapropiada para las necesidades crecientes de un mundo globalizado; tiene 1.494 km de vías primarias, otros 4.700 km

de carreteras secundarias y 11.204 km de terciarias (intramunicipales).

Sin embargo otros modos de transporte son subutilizados. Es el caso de la red férrea nacional que atraviesa al departamento y la navegabilidad de los ríos más importantes, respectivamente a cargo del Instituto Nacional de Vías (Invías) y la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena (Cormagdalena). Los puertos de Antioquia, marítimos o fluviales, incluyendo a Puerto Berrío (Magdalena Medio) y Turbo (Urabá), no son responsabilidad de la Gobernación. Los aeropuertos del departamento están a cargo de la Aeronáutica Civil (Aerocivil) concesionados, de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) o de los municipios (Gobernación de Antioquia, 2012).

En esta medida las denominadas Autopistas de la Prosperidad tienen un gran alcance e impacto, con más de 1.200 kilómetros de longitud, siendo uno de los proyectos de infraestructura vial de cuarta generación (4G) más importantes para Colombia. Abarcan gran parte de la región Noroeste del país interconectando los principales centros de producción de sur a norte como el Valle del Cauca, el Eje Cafetero, Antioquia, la Ruta del Sol, la Transversal de las Américas, la Costa Atlántica y el Pacífico (Autopista para la Prosperidad, 2013).

Por otra parte, se desarrollan megaproyectos que aprovechan las condiciones geográficas del territorio, como la central hidroeléctrica Ituango. Para su embalse se inundará 3.800 hectáreas, tendrá una capacidad instalada para generar 2.400 megavatios de energía,

a partir de diciembre de 2018, generando el 17 % de la electricidad demandada por el país (Cachón, 2014). Este proyecto desviaría uno de los ríos más importantes para Antioquia, el Río Cauca, que recorre el departamento de sur a norte y representa un eje de la dinámica hidrológica del territorio. Este río hace parte del complejo hidrográfico Magdalena-Cauca que soporta el 70 % de la población nacional, concentra la actividad industrial y cafetera y aporta aproximadamente el 10,6 % de la oferta hídrica del país (Mejía, 2008).

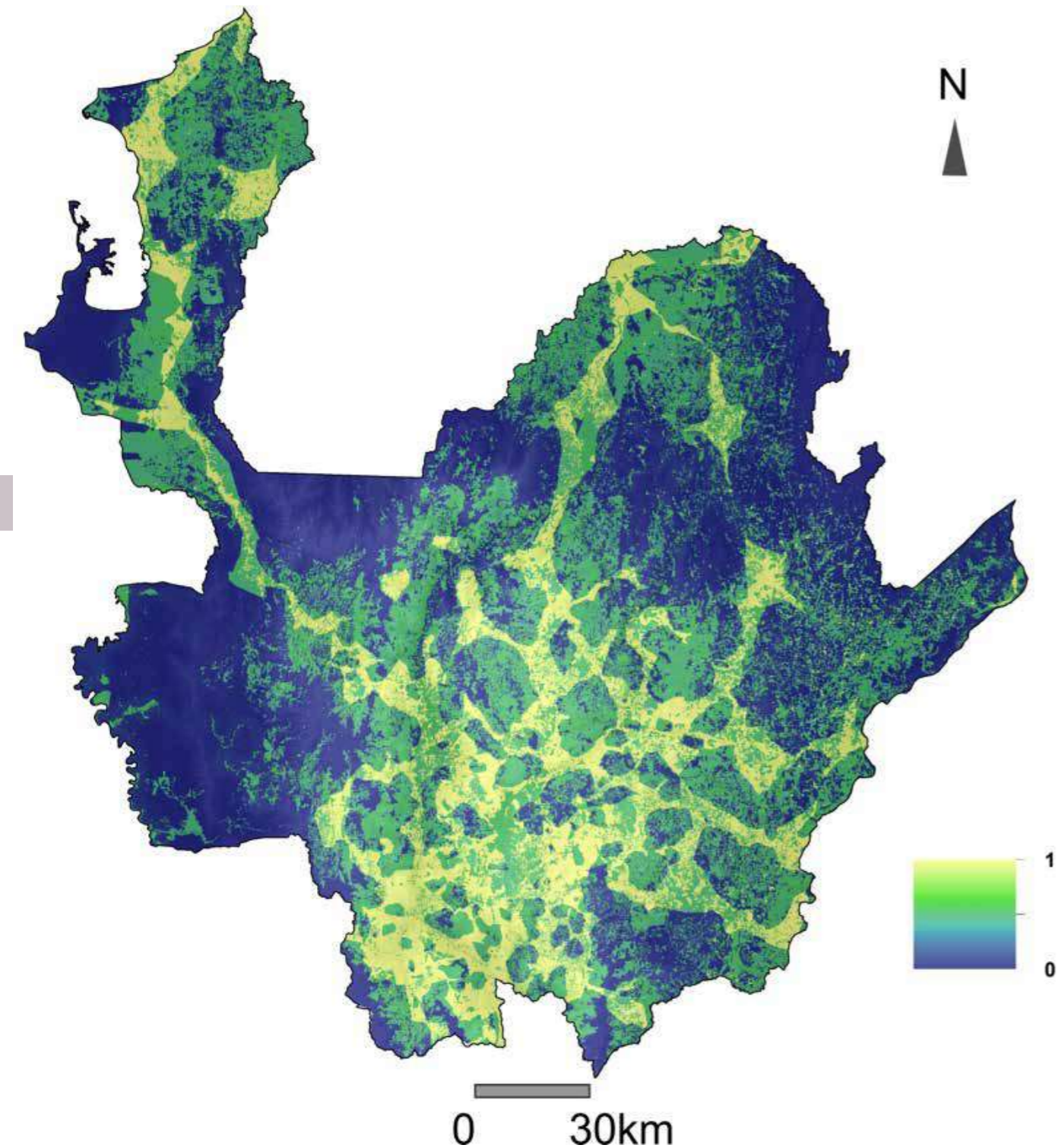
### 4.2. Acceso humano, potencial agropecuario y urbano

El acceso humano se entiende como la capacidad que tiene la población humana para acceder a un lugar. Los sitios de más fácil acceso tienen una mayor probabilidad de estar amenazados, dado que presentan más oportunidades para desarrollar actividades económicas y extracción de recursos naturales. Gran parte del acceso humano a diferentes lugares de la geografía está modulado por la topología del terreno, sitios con altas pendientes o complejos topográficamente, que limitan la accesibilidad.

Con base en lo anterior, se estimó la probabilidad de acceso a partir de la ubicación de los asentamientos humanos, las vías y los ríos navegables en Antioquia. En general, hay pocos lugares con baja probabilidad de acceso humano, pero cumplen con esta condición zonas en la vertiente occidental de la Cordillera Occidental y entre la vertiente oriental de la Cordillera Central y la Serranía de San Lucas. Obviamente, presentan altas

probabilidades de acceso las regiones de Valle de Aburrá, Oriente, Norte y Suroeste, donde se encuentran las mayores zonas pobladas (Figura 3).

Figura 3. Probabilidad de la amenaza a partir de la combinación de acceso humano, potencial agrícola y urbano.



Por otra parte, el potencial de desarrollo urbano, minero, agrícola y pecuario, son causas de gran parte de la deforestación en Colombia y en el departamento, generando la expansión de la frontera agrícola frente a los bosques naturales. En el análisis, estos factores estuvieron incluidos como aquellas zonas que, potencialmente, presentan una vocación agrícola, pecuaria y agropecuaria. Así mismo, se incluyó la potencial expansión de los centros urbanos y su influencia directa e indirecta, y las posibles zonas donde se puede llevar a cabo la minería.

Al tener en cuenta todas las variables de amenaza descritas, se calculó el grado de amenaza que presenta actualmente la biodiversidad del Departamento. Las zonas más amenazadas se encuentran principalmente, como se estimaría, en las áreas cercanas a los centros poblados y sus zonas de influencia directa e indirecta. Por tanto, se concluye que las mayores amenazas se presentan principalmente sobre los bosques andinos de las regiones Valle de Aburrá, Oriente Cercano, y Urabá.

Como era de esperarse, la mayor concentración de amenazas para la biodiversidad está asociada a los centros poblados y a la capacidad humana de acceder a los diferentes territorios. Es así como las regiones de Valle de Aburrá, Oriente, Suroeste y Norte presentan gran cantidad de su extensión en las categorías “Amenazadas” o “Altamente Amenazadas”. El grado de amenaza más alto se extiende hacia las regiones de Occidente y Urabá desde el Valle de Aburrá, mediante la vía Medellín-Turbo y hacia las región de Bajo Cauca, por la vía Medellín-Caucasia.

### 4.3. Avance de la deforestación 2000-2013 y el futuro de los bosques de Antioquia

Para entender el proceso de deforestación en Antioquia, Orrego (2009) utilizó un modelo econométrico que contrastó la deforestación con factores biofísicos y socioeconómicos. Tal estudio mostró cómo la distancia a las carreteras y la pendiente del terreno (variable topográfica estrechamente relacionada con el acceso humano) son factores determinantes del avance de la deforestación en el periodo 1980-2000. Por otra parte, diferentes estudios han sugerido que áreas con pendientes altas y/o topografías complejas pueden ser sitios claves para la conservación de la biodiversidad puesto que no están expuestos a procesos de deforestación por la dificultad de acceso. Además que estos sitios tienen características particulares, donde se generan variedad de microclimas manteniendo diferentes especies (Sandel y Svenning, 2013).

Con el fin de identificar factores asociados a la deforestación en la última década en Antioquia y predecir las áreas con mayor probabilidad de ser deforestadas, de acuerdo con estas variables, se creó un modelo de regresión logística de la deforestación. Se identificaron los sitios de pérdida de bosques entre 2000 y 2012, empleando el mapa de deforestación de Hansen et al. (2013), con 30 m de resolución. Las variables explicativas evaluadas se relacionan con la cercanía a carreteras, topografía, presencia de cultivos ilícitos, comunidades negras e indígenas y áreas protegidas. Por último, se incluyó una variable de deforestación en la zona,

que mide la autocorrelación espacial de la deforestación.

Variable	Fuente	Significativa
Distancia a carreteras primarias	Lota II	No
Distancia a carreteras secundarias	Lota II	No
Distancia a carreteras terciarias	Lota II	No
Elevación	Elevación 90 m resolución (GLSDEM)	No
Pendiente	Elevación 90 m resolución (GLSDEM)	No
Rugosidad	Elevación 90 m resolución (GLSDEM)	Si
Presencia de cultivos ilícitos	Lota II	No
Presencia de comunidades negras	Lota II	Si
Presencia de comunidades indígenas	Lota II	No
Presencia de PNN	Lota II	Si
Presencia áreas protegidas regionales	Lota II	No
Presencia de reservas de la Ley 2ª.	Lota II	Si
Deforestación en pixeles de 5 km (Aurocorrelación espacial)	Hansen et al. (2013)	Si

Tabla 3. Variables utilizadas para el análisis de amenazas a los ecosistemas y presiones a la conservación. Las variables que mostraron un efecto significativo se destacan en negrilla.

Para construir el modelo se usó información de 10.000 puntos, puestos aleatoriamente en sitios con bosque remanente para el año 2000. Para cada uno de estos puntos se determinó su estado de deforestación y las variables mencionadas. Luego se corrieron regresiones logísticas binomiales por medio del algoritmo *Stepwise*, para seleccionar el mejor modelo según el Criterio de Información de *Akaike* (AIC). Este modelo se usó para predecir las áreas con mayor potencial de deforestación en Antioquia, dados los determinantes actuales de deforestación.

Se encontró que el modelo de deforestación mejor soportado por el AIC, es el que incluye deforestación en la zona, presencia de parques nacionales, reservas de la Ley 2ª, comunidades negras y rugosidad

del terreno. Al emplear este modelo para predecir la probabilidad de deforestación, se identifica que está muy asociada a las zonas de deforestación actual, dado que la deforestación alrededor de un sitio fue la variable más explicativa.

Este modelo muestra al Magdalena Medio como la zona con mayor probabilidad de deforestación. Además el Bajo Cauca y Nordeste también presentan predicciones altas de deforestación (Figura 4). Es de resaltar que la Cordillera Central y el Urabá no muestran probabilidades altas de deforestación, posiblemente, porque una parte importante de estas zonas fueron deforestadas antes de 2000, año de inicio de los datos que se emplearon para este análisis.

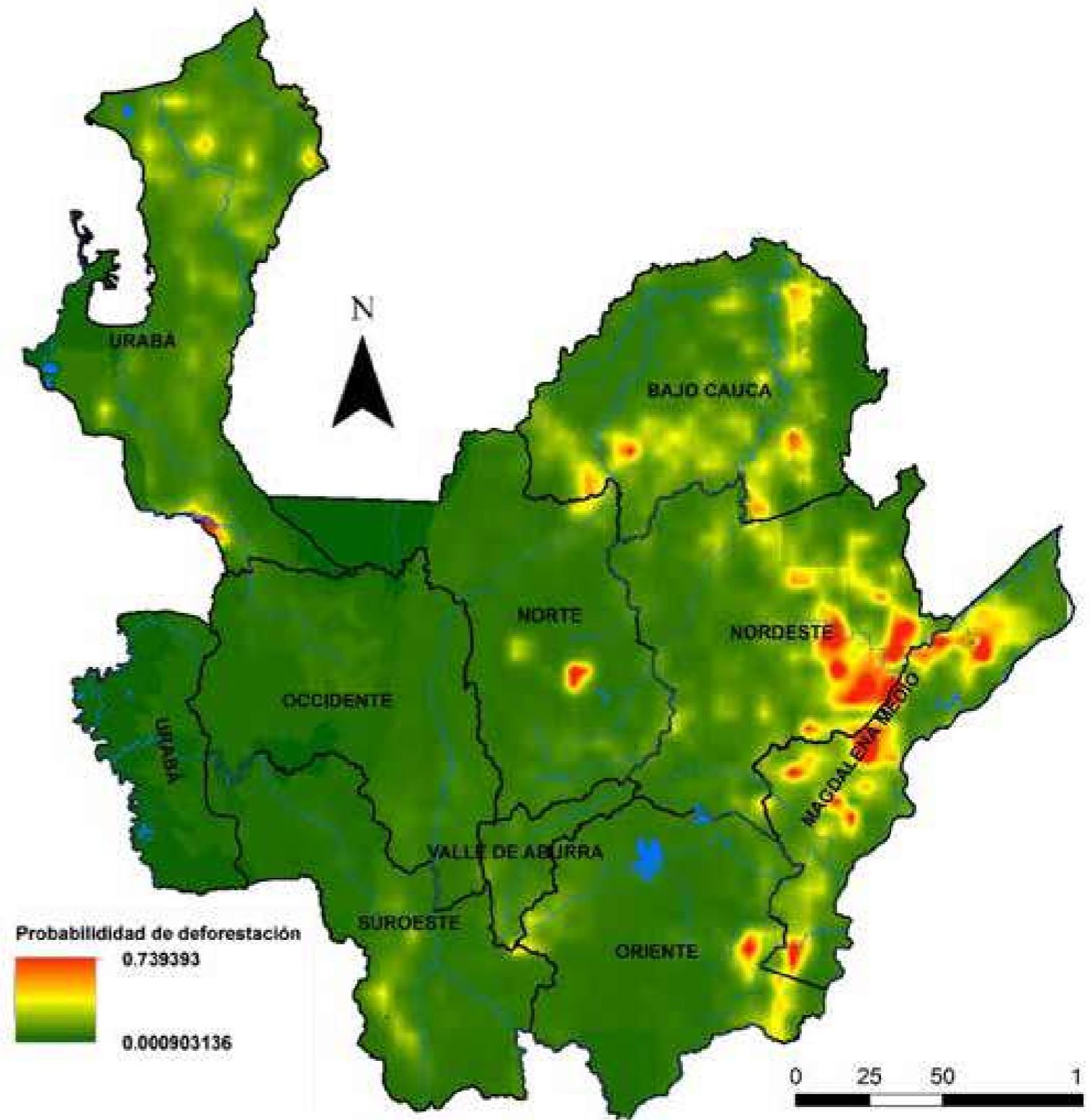


Figura 4. Probabilidad de deforestación, según el modelo de regresión logística. El modelo no cuenta con temporalidad, por lo cual se espera que a una tasa de 25.000 ha año<sup>-1</sup>, los sitios con más de 0,5 se deforestan en los siguientes 5 años.



#### 4.4. Cambio climático y efecto en los biomas de Antioquia

El cambio climático es una razón adicional para fortalecer el SIDAP-Antioquia. Con el fin de identificar las áreas más vulnerables al cambio climático en el departamento, se estimó un índice de velocidad de cambio en la temperatura. Para esto se empleó la aproximación de Loarie et al. (2009), en que se estima la velocidad (en kilómetros por año) que debe tener un organismo para encontrarse en un ambiente con una temperatura similar a la actual. Con ese fin se calculó la tasa de cambio espacial en la temperatura actual ( $C^{\circ} Km^{-1}$ ), para cada punto en el territorio, y la tasa de cambio temporal ( $C^{\circ} año^{-1}$ ), desde el presente hasta el año 2070; para esto se usaron modelos de escenarios climáticos a futuro. Así, la velocidad del cambio climático es la proporción de la tasa de cambio temporal y la tasa espacial.

Para determinar este índice, se empleó la capa de temperatura actual (1950-2000), de Hijmans et al. (2005), con una resolución de  $\sim 1 km^2$ , y el promedio de cuatro escenarios de temperatura para 2050 y 2070, según el CCSM (*Community Climate System Model*). Se calculó la tasa de cambio temporal como la pendiente de un modelo lineal de la temperatura, en función del tiempo para el presente y el promedio de 2050 y 2070 para cada sitio. La tasa de cambio espacial se estima con la diferencia en temperatura entre dos píxeles, sobre la distancia en kilómetros entre sus centroides. Este proceso se repite para los ocho píxeles contiguos y se promedia.

Posteriormente, se dividió la tasa temporal

por la tasa espacial y se obtuvo el índice de velocidad de cambio climático. Finalmente, se calculó el promedio de la velocidad de cambio climático para cada uno de los biomas presentes en Antioquia, con el fin de identificar los más propensos a sufrir cambios rápidos.

Se encontró que la tasa esperada de aumento de la temperatura es mayor para la región del Nordeste y Bajo Cauca antioqueño, mientras que la menor tasa se espera para las regiones Pacífica y Urabá. Por otro lado, la tasa de cambio espacial de la temperatura está altamente relacionada con la elevación y topografía del departamento, siendo mayor en el valle del Cauca, la Cordillera Occidental y el suroriente. Al estimar la velocidad del cambio climático, se encontró que se predice mayor para las zonas de tierras bajas como las del Bajo Cauca, Urabá, Pacífico y Magdalena Medio. Así mismo se identificaron en la Cordillera Central dos zonas con velocidad de cambio moderada, asociada con los altiplanos del norte y sur del Valle de Aburrá.

En cuanto a biomas, se determinó que los halobiomas del Caribe y Pacífico-Atrato son los que presentan una mayor velocidad de cambio climático, a pesar de tener una alta desviación estándar. Los orobiomas altos de los Andes son los que menor velocidad presentan. Es importante mencionar que este índice solo tiene en cuenta la velocidad a la que se mueve una temperatura dada, por lo que no incluye estimaciones del efecto de área disponible para que determinada temperatura siga estando en el territorio. En otras palabras, se ignora el hecho de que los ambientes de alta montaña no pueden

subir más ante el cambio climático por lo que subestima el riesgo para ecosistemas y biomas de altura.

Se estimó la acción combinada del cambio climático y la deforestación, dos de las principales amenazas para la biodiversidad, en el territorio. Para esto, se multiplicó la capa de velocidad de cambio climático por el modelo de deforestación predicho, y así obtener un índice relativo del efecto conjunto de estas amenazas sobre cada sitio. Tal análisis mostró que el Magdalena Medio es la zona que presenta mayor

amenaza combinada por extensión y magnitud, seguida del Nordeste y el sur de Urabá. El municipio de Yondó presenta un alto grado de amenaza combinada, lo cual es preocupante, dada la importancia en términos de biodiversidad y servicios ecosistémicos de esa jurisdicción, al poseer un significativo sistema de ciénagas y albergar un número importante de especies amenazadas de varios grupos taxonómicos.

Tabla 4. Promedio de la velocidad del cambio climático en los biomas presentes en Antioquia (Loarie et al., 2009).

Bioma	Área (km <sup>2</sup> )	Velocidad cambio climático promedio (Km año <sup>-1</sup> )	Desviación estándar
Halobioma del Caribe	219	12,28	9,15
Helobiomas del Magdalena y Caribe	2.297	11,9	11,16
Helobiomas del Pacífico y Atrato	2.249	13,31	9,94
Orobioma de San Lucas	639	1	0,85
Orobiomas altos de los Andes	1.122	0,4	0,49
Orobiomas bajos de los Andes	31.436	0,86	1,23
Orobiomas medios de los Andes	15.070	0,78	1,48
Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	16.158	6,65	8,31
Zonobioma húmedo tropical del Pacífico y Atrato	1.842	6,55	8,27
Zonobioma seco tropical del Caribe	3.395	3,88	4,37



periurbana con resultados de alta utilidad para los tomadores de decisiones (Gordon, Simondson, White, Moilanen, y Bekessy, 2009). Además ha servido para diseños regionales y nacionales de sistemas de áreas protegidas (Kremen et al., 2008).

Este método de priorización asigna un valor a cada sitio (píxeles, en este caso), de acuerdo con la proporción del área de distribución de los objetos de conservación que cada uno contiene, asignándole mayor valor a los píxeles que representen un mayor porcentaje de dicha área. A continuación, el programa remueve el píxel de menor valor y recalcula la proporción de la distribución de cada objeto. Este proceso se repite hasta haber eliminado la totalidad de los píxeles, lo que da un valor a cada píxel, dependiendo del orden en que se elimina y arroja un mapa jerárquico de prioridad de conservación con los porcentajes del área de estudio más importantes –por ejemplo, el último 10 % del área en ser removida está dentro del último 20 %– (Moilanen, 2007). Adicionalmente, el algoritmo empleado da un mayor valor a los sitios que se encuentran hacia el centro de las áreas de importancia, con lo que se busca seleccionar lugares donde el efecto de borde sea menor. Al ser el valor de cada sitio calculado con base en el porcentaje de área de la distribución de cada objeto de conservación en la zona de estudio, este método no solo prioriza sitios con mayor riqueza, si no también otros que protegen los objetos de distribución restringida (Moilanen, 2007).

### 5.1.3. Partición de la diversidad

La diversidad de una región no es el resultado

de la suma de la diversidad de todos los sitios (Whittaker, 1972) y existe una tasa de cambio de la diversidad entre cada uno de estos. Tal recambio es influenciado por las diferencias ambientales y geográficas entre los sitios (M. J. Anderson et al., 2011). Por tanto, conocer dónde son mayores estos cambios, permite conocer la respuesta de los ensamblajes de organismos al ambiente, en que estos cambios representarán diferentes biorregiones, análogas a los ecosistemas. Para entender los patrones de diversidad y su distribución en el espacio, los ecólogos han usado tres términos que hacen referencia a cambios de la diversidad, según la escala en la que se define: diversidad- $\alpha$ , diversidad- $\beta$  y diversidad- $\gamma$  (Whittaker, 1972).

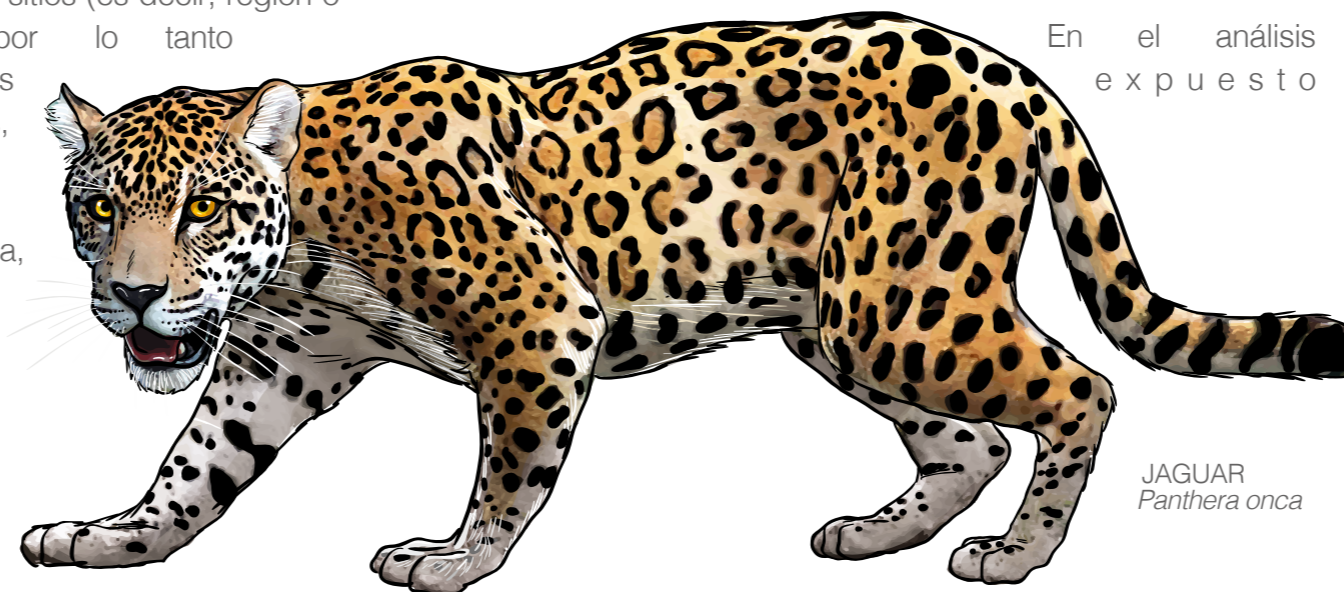
La diversidad- $\alpha$  define la los atributos de un ensamblaje de especies a escala local, es decir el área donde los organismos interactúan físicamente (McGill et al., 2007). La diversidad- $\beta$  hace referencia a los cambios entre dos sitios (es decir, comparación de la diversidad- $\alpha$ ), este recambio generalmente depende de la variación del hábitat, por ejemplo pasar de un bosque a una sabana, o la distancia geográfica que separa los dos sitios (M. J. Anderson et al., 2011). Por último la diversidad- $\gamma$  es la diversidad total de un conjunto de sitios (es decir, región o área de estudio), por lo tanto depende de las dos anteriores (Ricklefs, 2004).

Al recorrer Antioquia, se encuentra una gran variación geográfica y climática, que

resulta en diferentes ecorregiones, biomas y comunidades de especies. Por lo cual, se pueden encontrar zonas con especies únicas, sin ser, necesariamente, los más diversos. Por ejemplo, los páramos tienen un alto número de especies endémicas, pero la cantidad de especies que alberga es menor a la de un bosque húmedo tropical. De esta manera, pueden existir zonas con un número de especies relativamente bajo, si se compara con otras del departamento, pero pueden ser especies que no están presentes en ningún otro sitio.

Para evitar que las zonas con mayor número de especies resten importancia a zonas con menor riqueza, pero con ensamblajes únicos de especies, se definieron biorregiones y en cada una se localizaron las zonas con mayor concentración de especies. Una biorregión se configura, entonces, como un grupo de sitios que presenta una composición de especies similares entre sí y diferentes a otra biorregión. Para su delimitación se empleó la similitud o parecido biótico entre dos sitios: si presentan diferente composición de especies, pertenecen a biorregiones diferentes y, por ende, se complementan para conformar la diversidad regional (Ferrier, 2002).

En el análisis  
e x p u e s t o



JAGUAR  
*Panthera onca*

previamente, se combinaron los atributos de la diversidad- $\alpha$  (atributos locales) y la diversidad- $\beta$  (recambio de especies), para maximizar la conservación de la diversidad- $\gamma$  (diversidad de Antioquia). Las agrupaciones se generaron según la similitud entre sitios, por lo cual dos grupos, así tengan diferente número de especies en conjunto, mantendrán más especies que aquellos con mayor número de especies (Figura 13).

Estas agrupaciones tienen una semejanza conceptual con los ecosistemas, pues su área es determinada por el parecido en atributos bióticos, los cuales pueden o no responder a la variación climática, geológica, entre otras (Ferrier, 2002). Sin embargo, la definición de ecosistema asume que todos los organismos responden de la misma forma. Por lo cual, conocer si este supuesto es cierto permite, o no, usar los ecosistemas como punto de partida para la planeación sistemática de la conservación regional (Ferrier, 2002), .

En este análisis se agruparon celdas de la cuadrícula, construida a partir de los rangos de distribución, con una composición de especies similar, la cual fue medida con el índice de recambio de especies de Sorensen. Este índice otorga valores de cero (0) a sitios con una composición de especies igual, y uno (1) a sitios que se componen de especies totalmente diferentes (M. J. Anderson et al., 2011). Una vez calculado este índice para cada uno de los pares posibles de celdas en la cuadrícula definida, se agruparon celdas en conjuntos por su parecido, mediante un análisis de conglomerados. La significancia de

los grupos formados fue probada con un análisis de similitudes (ANOSIM; Clarke, 1993). Cada grupo de celdas formados se espacializó para visualizar cada una de las regiones con una similar composición de especies (Ferrier & Guisan, 2006).

Para asegurar que cada conjunto de especies o ensamblaje particular fuera representado en los análisis de diversidad y prioridades de conservación, se calculó, independientemente, la importancia de cada uno de los sitios (celdas) dentro de cada biorregión. Las celdas más importantes fueron designadas como aquellas que presentan la mayor cantidad de especies dentro de cada biorregión. Así, por ejemplo, celdas con cinco (5) especies en una región donde el máximo de especies por sitio es cinco (5), recibe el mismo valor de prioridad que celdas con veinte (20) especies en regiones donde el máximo de especies es veinte (20). Así se elimina el riesgo de prescindir de sitios con pocas especies en el ámbito departamental, pero de gran diversidad local.

Las regiones definidas por el recambio de especies (complementariedad) para cada grupo taxonómico usado, permite diferenciar, efectivamente la alta variación en ecosistemas del territorio de Antioquia. Los ecosistemas representados por Vertebrados son más similares entre sí, que los representados por las Palmas. Se resaltan diferencias marcadas entre las cordilleras y entre las vertientes de las cordilleras, lo que implica que para maximizar la conservación de especies a escala del departamento, al menos una parte de cada una de estas regiones debe estar protegida. Por otra parte, las Palmas caracterizan los ecosistemas secos de una mejor manera que los otros grupos, remarcando algunos enclaves secos de las montañas.

Mediante esta metodología se resaltan varios puntos clave. Primero, se encontró que la definición de biorregiones es divergente entre los tres grupos, principalmente entre Anfibios y Aves-Mamíferos. Esto es un resultado interesante que puede estar relacionado con sus habilidades de dispersión y limitaciones fisiológicas (C. H. Graham, Moritz, y Williams, 2006). Si los anfibios tienen como requisito para su movimiento y reproducción estar cerca de cuerpos de agua, su diversidad recambia más rápidamente que las de otros grupos que se pueden mover más fácilmente, como Aves y Mamíferos. Debido a esto, tales grupos deberían considerarse como partes diferentes e incluirse de manera separada en la definición de los sitios prioritarios para la conservación.

En segundo lugar, este análisis muestra que para los grupos taxonómicos Aves y Mamíferos pueden resultar mejores áreas de reserva de gran tamaño, es decir, sistemas de parques. En cambio, para los Anfibios, pueden ser más relevantes reservas de menor tamaño, pero más frecuentes en el territorio, dado que se requiere cubrir muchas localidades para lograr conservar una porción representativa en Antioquia. Por ejemplo, un sistema de redes por medio de la cobertura de las cuencas que una las reservas de mayor tamaño, asegurando hábitats apropiados para las especies de diferentes grupos taxonómicos (Figura 7).

Para asegurar que cada conjunto de especies o ensamblaje particular fuera representado en los análisis de diversidad y prioridades de conservación, se calculó la importancia de cada uno de los sitios (celdas) dentro

de cada biorregión independientemente (Albuquerque et al., 2011). Las celdas más importantes fueron designadas como aquellas que presentan la mayor cantidad de especies dentro de cada biorregión. Por ejemplo, celdas con cinco (5) especies en una región donde el máximo de especies por sitio es cinco (5), recibe el mismo valor de prioridad que celdas con veinte (20) especies en regiones donde el máximo de especies es veinte (20). Así se elimina el riesgo de prescindir de sitios con pocas especies en el ámbito departamental, pero de gran diversidad local.

Siguiendo esta metodología, la definición de sitios con mayor diversidad difiere del número de especies. La riqueza está claramente influenciada por la elevación, siendo las tierras bajas las más diversas, mientras las zonas de elevación intermedias y altas (1500 m s. n. m. y mayores) presentan más número de especies endémicas. Esto sugiere que es el resultado del aislamiento de las poblaciones por la dificultad de moverse entre diferentes barreras climáticas ejercidas por la variación en la temperatura (Cadena et al., 2012; Gonzalez-Caro, Umana, Álvarez, Stevenson, y Swenson, 2014) –Figura 7–.

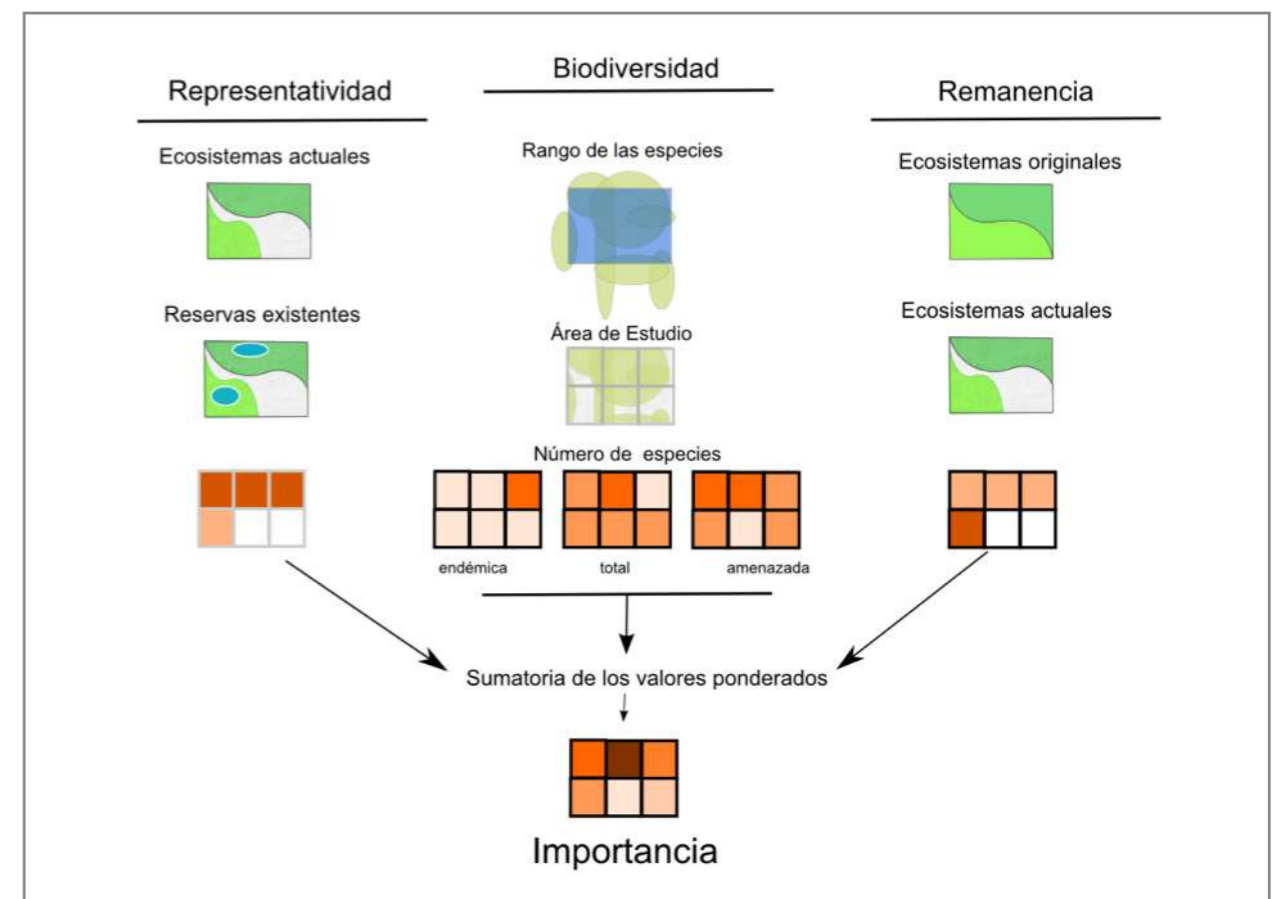


Figura 6. Esquema descriptivo de la metodología de la Sociedad para la Conservación de la Vida Silvestre (WCS, por sus siglas en inglés).

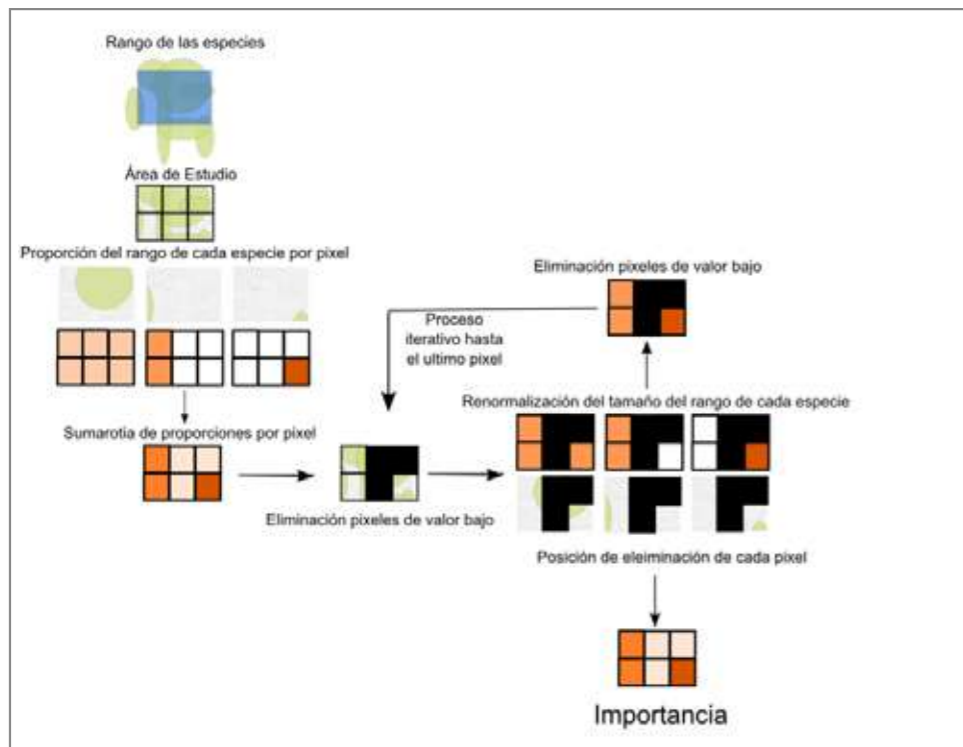


Figura 7. Esquema descriptivo de la metodología de Zonation.

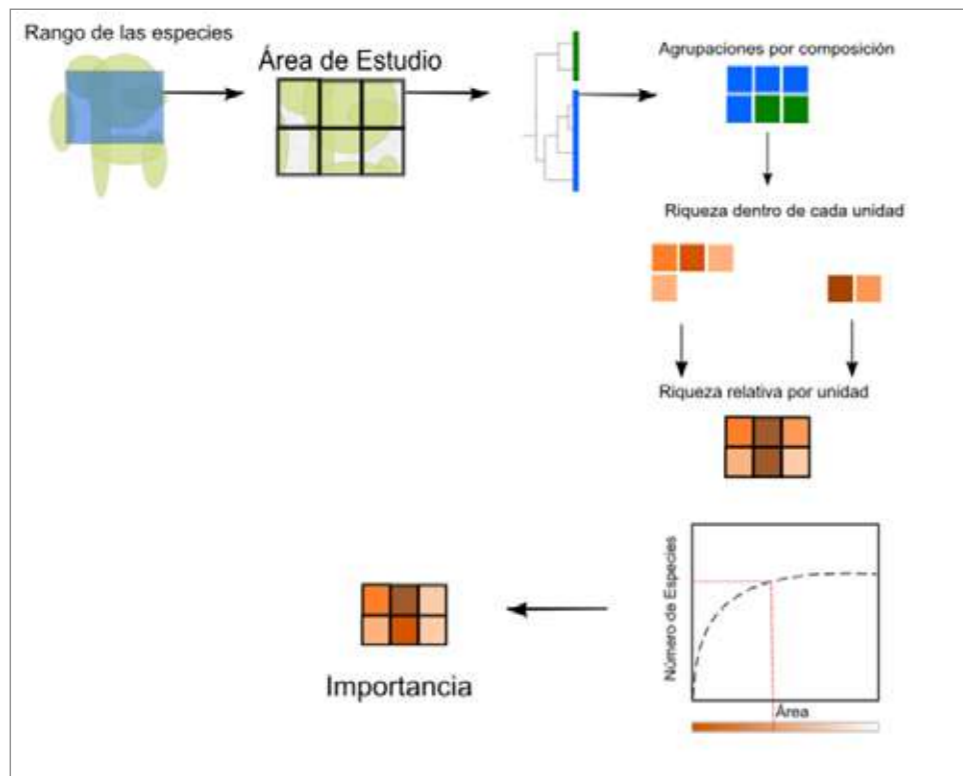


Figura 8. Esquema descriptivo de la metodología de partición de la diversidad, propuesta en este estudio.

### 5.2. Resultados de priorización en Antioquia

En primer lugar se definió una serie de áreas que deberían mantenerse en su estado natural (“Áreas Irrenunciables”; Beatriz López, conversación personal). Luego se comparó los resultados obtenidos a partir de las tres metodologías, destacando ventajas y limitantes de cada una de ellas. Finalmente, se proponen estrategias para la conservación de los bosques de Antioquia, aparte de las áreas protegidas (Figura 1).

#### 5.2.1. Definición de áreas irrenunciables

Partiendo de la encomienda de la convención de diversidad biológica de conservar, como mínimo, el 17 % de los ecosistemas y las prioridades nacionales de conservación, se usó la siguiente lógica:

i- Según la remanencia de los ecosistemas, se mantienen solo el 5 % de los bosques secos. Por tanto, esto ya debe ser considerado fundamental para la conservación, además de promover estrategias de restauración. Es decir 144 km<sup>2</sup> de bosque seco deben incluirse en las prioridades, equivalente al 0,22 % del área del departamento.

ii- La serranía de San Lucas es prioridad de conservación nacional, por lo cual se debe incluir, para procurar su conservación desde una administración regional y asegurar la apropiación de la misma. Se trata de 541 km<sup>2</sup> de bosque seco que deben incluirse de inmediato en las prioridades, un 0,85 % del territorio antioqueño.

iii- Los manglares del Caribe son un ecosistema estratégico que debe ser priorizado en su totalidad. Esto es 70 km<sup>2</sup> de manglares identificados y por incluir, un 0,001 % de Antioquia.

iv- Se tiene en cuenta que un 8,5 % del territorio del departamento, actualmente está en alguna de las categorías de protección del Sistema Departamental de Áreas Protegidas.

Así, se puede asumir que 9,67 % del territorio se encuentra priorizado y, por ende, los análisis realizados resaltan el 7,33% restante para alcanzar el 17 % del territorio a priorizar.

CAUNCE  
Godoya antioquiensis



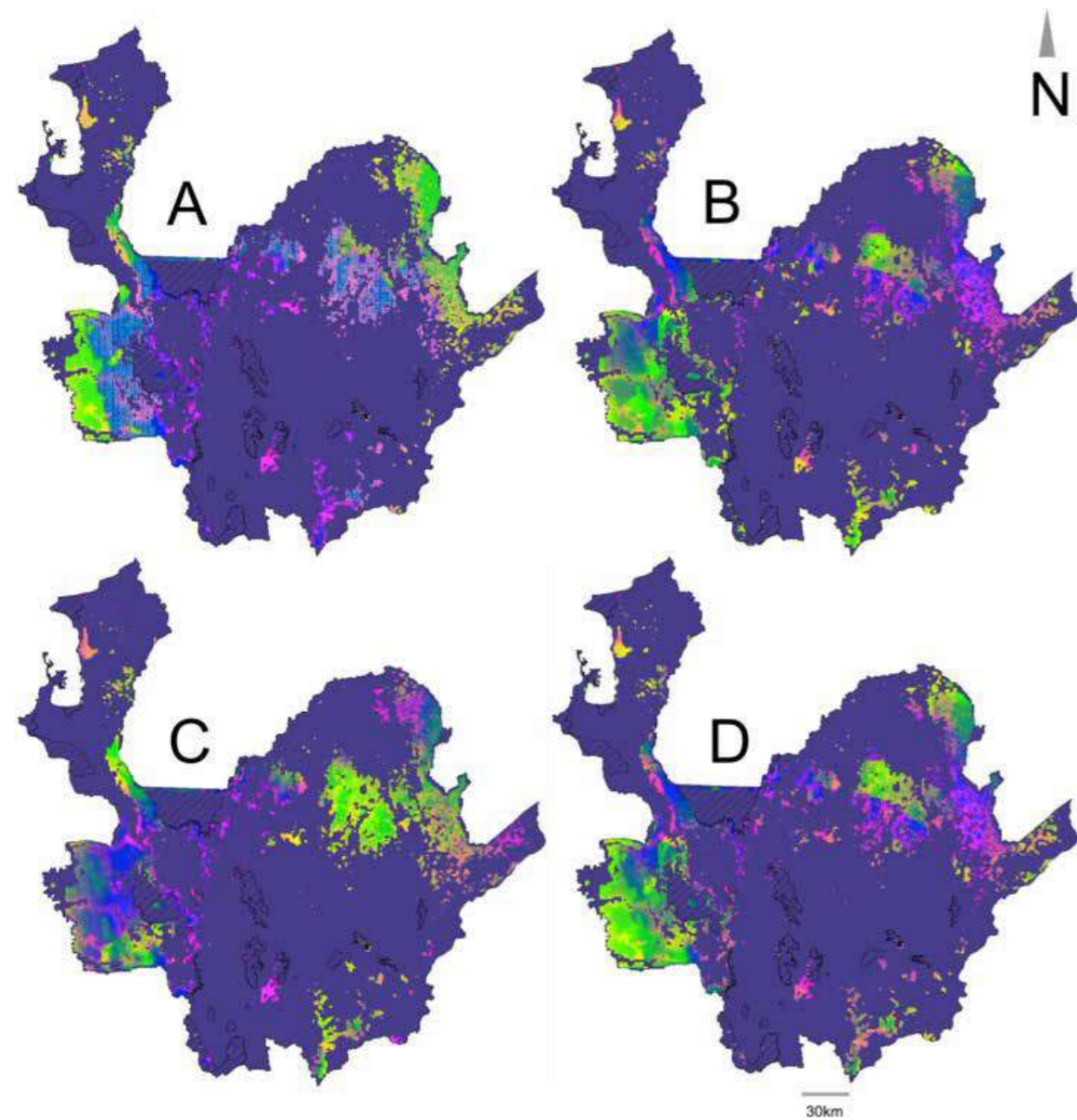
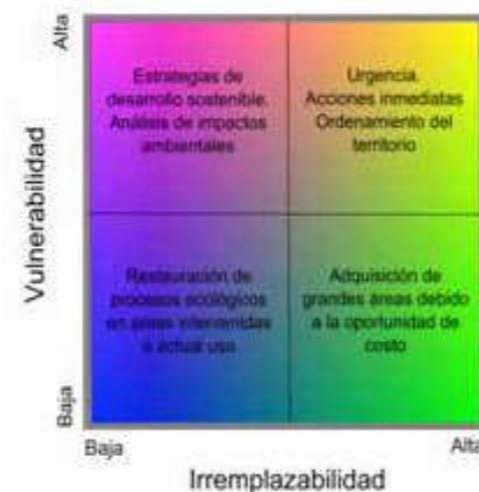


Figura 9. Prioridades de conservación para Antioquia, combinando la irremplazabilidad obtenida por diferentes métodos y la vulnerabilidad. WCS (A), Zonation (B), partición de la diversidad (C), combinación de las metodologías (D).



### 5.2.2. Comparación de metodologías

Como se expuso en el numeral anterior, cada una de las metodologías usadas tiene implicaciones ecológicas diferentes. Esto es apropiado, pues tener diferentes escenarios permite decisiones más efectivas. La comparación entre los tres métodos basados se presentó bajo el siguiente supuesto: las prioridades de conservación definidas en este estudio deben enfocarse, principalmente, en la protección de especies o ecosistemas presentes en el departamento y que su desaparición cambie drásticamente su distribución total.

Para aplicar este argumento se empleó la siguiente metodología: primero se calculó el área de cada rango de distribución para cada especie usada en análisis previos; luego se estimó el porcentaje de cada una dentro de Antioquia; por último, se estableció el porcentaje de cada especie dentro del SIDAP y de cada una de las propuestas, según los diferentes algoritmos aplicados. Esta medida permite saber cuál de todos los posibles incrementos en las prioridades de conservación facilita mantener una mayor proporción del rango de cada una de las especies. Tales rangos se calcularon para todas las especies y para cada uno de los grupos taxonómicos empleados. La comparación de la proporción de los rangos se realizó por medio de un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías, teniendo como categorías los diferentes métodos y grupos taxonómicos (Kremen et al., 2008). Con base en estos resultados, se observó que las metodologías presentan diferencias significativas en el área de cada especie que protegen. Si se parte del supuesto de que

las especies son los indicadores últimos de los ecosistemas, la conservación de cada ecosistema será diferente, según el método aplicado (Figura 10).

Una característica notoria entre las metodologías es la forma de seleccionar las especies internamente. Zonation y la partición de la biodiversidad hacen énfasis en especies restringidas al área de estudio, como las endémicas (que en términos administrativos son más claves). Por esta razón, ambos métodos maximizan la conservación de fragmentos en bosques de montaña, los cuales, además, son un ecosistema muy amenazado sobre el cual aún no se han tomado medidas. Por ejemplo, los bosques secos y los páramos son actualmente ecosistemas bandera de proyectos de conservación por su valor ecológico y su alta tasa de desaparición. Sin embargo, ecosistemas como los bosques de niebla u otras variaciones de los bosques andinos, no se encuentran debidamente protegidos en toda su extensión y se requieren más esfuerzos de conservación.

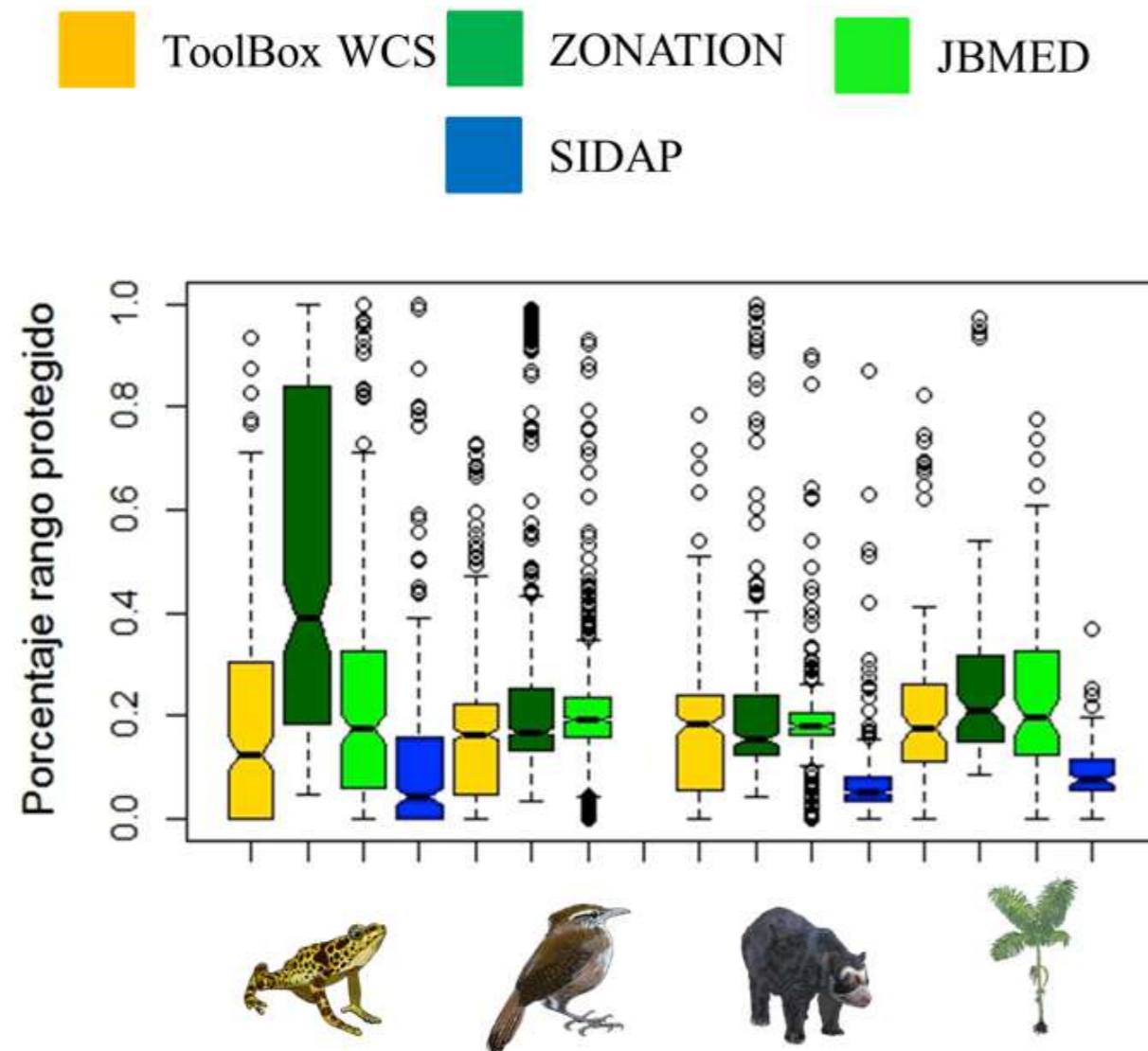


Figura 10. Diagrama de cajas que muestra las diferencias entre los métodos, representados en colores. Se observan diferencias entre los métodos para cada grupo taxonómico analizado. Además se observan diferencias para cada grupo.

### 5.2.3. Propuestas para la conservación de los bosques de Antioquia.

Actualmente, existen tres necesidades para la conservación de Antioquia: acciones de ordenamiento territorial y declaratorio de algunas áreas irrenunciables; el fortalecimiento de diferentes estrategias de conservación previamente establecidas, como los parques naturales, resguardos indígenas, entre otras; y el manejo sostenible de áreas de desarrollo.

Las áreas que requieren de acciones inmediatas son descritas detalladamente en el siguiente capítulo. Para esto se requiere el compromiso de las corporaciones ambientales y otras entidades involucradas, además del apoyo de instituciones privadas como empresas que coadyuven en la delimitación de las áreas, la formulación y puesta en marcha de planes de manejo, entre otros pasos. Entre estas áreas se encuentran: Serranía de San Lucas, Anorí Alto, Vigía del Fuerte y sus alrededores, los bosques de Sonsón y las estribaciones de la Serranía de Abibe. Además, resulta fundamental incrementar las áreas de los Parques Nacionales Naturales (PNN), asegurar su mantenimiento e incrementar su valor como zonas de conservación, por lo que representan para Antioquia.

Por otra parte, es clave aumentar el apoyo en áreas como Vigía del Fuerte y Murindó, que presentan una alta ocupación de resguardos indígenas y comunidades afrodescendientes, quienes permiten o facilitan la conservación por su manejo “adecuado” de los bosques. Sin embargo, es necesario incrementar la seguridad alimentaria y bienestar para

facilitar que estas estrategias tengan éxito en el largo plazo. Por tanto, es deseable establecer esquemas de desarrollo sostenible, por medio de estrategias que promuevan los recursos de los bosques, como frutas especiales y aceites poco usados. Esto permitiría que estas regiones se preserven.

Por otro lado, resulta necesario formar corredores biológicos para mantener la conectividad entre las áreas de conservación establecidas y las áreas que se pueden generar. Hay sitios claves para establecer tales corredores. Entre los bosques de Sonsón y el Alto de San Miguel, los cuales permiten mantener una estrella fluvial clave para el departamento. Asimismo, en la región norte de Antioquia, entre el Páramo de Belmira y los bosques de Anorí-Yarumal, donde existen relictos de bosques andinos en peligro crítico y mantienen la integridad ecológica de esta región. En este caso, se deben generar estrategias de desarrollo sostenible, como el silvopastoreo, que permitan ocupar la región Norte de manera adecuada, pues presenta una alta deforestación por cuenta de la ganadería intensiva, principalmente para leche.

## 6. Análisis de la estructura del paisaje y conectividad de los bosques

Uno de los factores más importantes en la pérdida de biodiversidad es la destrucción de hábitat que resulta en paisajes altamente fragmentados, donde los hábitats naturales se aíslan entre sí, a medida que avanzan procesos como la deforestación y cambio de usos del suelo. Dicha fragmentación compromete la sostenibilidad de las poblaciones naturales y servicios ecosistémicos al disminuir la conectividad ecológica, definida como el grado en que el paisaje facilita el movimiento entre parches o recursos (Taylor et al., 1993).

El mantenimiento o mejoramiento de la conectividad ecológica es uno de los objetivos más importantes en la conservación de las funciones ecosistémicas, ya que así se incrementa la dispersión de la fauna y flora silvestres, aumenta el flujo génico y la viabilidad poblacional, y se potencian los servicios ecosistémicos (Taylor et al., 1993; Mitchell et al., 2013). La conectividad del paisaje puede estudiarse mediante el arreglo y disposición de diferentes componentes del paisaje (por ejemplo, coberturas vegetales; Conectividad Estructural) y/o por medio de las respuestas de las especies a diferentes componentes del paisaje –Conectividad Funcional– (Galpern et al., 2011). Considerar la conectividad ecológica durante el diseño de áreas protegidas es muy importante, pues

definir una de estas áreas en un escenario de baja conectividad, conlleva a que no preserve a largo plazo poblaciones viables de ciertas especies (Calabrese y Fagan, 2004). Por esto se han desarrollado gran variedad de modos de medir la conectividad ecológica que, además de variar en el trasfondo teórico que las soportan, se pueden diferenciar en dos grandes facetas: el tipo de datos que requieren y el nivel de detalle que proveen (Calabrese y Fagan, 2004).

Para este estudio se realizaron análisis de conectividad ecológica para establecer las rutas de menor costo de conexión e identificar zonas mejor conectadas, como complemento al momento de definir áreas prioritarias para la conservación, entre las áreas naturales identificadas como núcleos y las áreas protegidas naturales actuales. Los análisis de conectividad estructural incluyeron: i) clasificar las áreas naturales remanentes en Antioquia; ii) definir una matriz de resistencia al movimiento; y iii) calcular corredores y rutas de menor costo que conecten las áreas de interés.

i) **Clasificación del paisaje:** como primer paso fue necesario identificar los diferentes elementos que componen el paisaje, mediante el análisis de las áreas naturales remanentes. En esta clasificación se utilizó el procedimiento propuesto por Vogt et al. (2006), basado en aplicar de operaciones morfológicas llamadas “erosión”, “dilación” y “esqueletización”. Se aplican sobre un mapa de tipo raster que representa zonas de bosque y no bosque en el departamento, clasificándolas en siete clases:

a. Núcleo: partes internas de las regiones boscosas o con cobertura natural.

b. Parche: áreas boscosas aisladas que son muy pequeñas para contener un núcleo de bosque.

c. Perforación: áreas despojadas de bosque que se encuentran dentro de una zona boscosa.

d. Corredor: áreas boscosas que no son suficientemente grandes para ser núcleos y que conectan, al menos, dos núcleos de bosque.

e. Bucles: corredores que conectan, en ambos extremos, con la misma área de núcleo boscoso.

f. Brazo de corredor: corredores que sólo conectan en un extremo con un área de núcleo boscoso.

g. Borde: áreas que marcan la transición de núcleo de bosque a no bosque. Para este análisis se definió 500 m como distancia de borde.

ii) **Matriz de resistencia al movimiento:** define la dificultad teórica que tienen los individuos de las especies de bosque y áreas naturales para moverse por determinadas partes del paisaje. En este caso, se utilizaron los mismos insumos usados para determinar las amenazas a la biodiversidad (acceso humano, potencial minero, urbano y agropecuario) más la pendiente topográfica y la fragmentación, para determinar el costo de movimiento (resistencia) de cada área particular del paisaje. Las áreas que concentran diferentes potenciales de desarrollo y mayor acceso humano, representan zonas de mayor dificultad de movimiento para las especies junto con zonas de mayor pendiente topográfica y mayor grado de fragmentación. La fragmentación puede ser descrita como la heterogeneidad espacial de los elementos boscosos que

componen el paisaje. Debido a la definición holística de la fragmentación, su medición puede llegar a ser compleja y, en muchos casos, ser específica a un grupo particular de especies. Para este estudio se utilizó el concepto de entropía, que en física describe el grado de desorden en un sistema.

iii) **Rutas de conexión y corredores de menor costo:** para identificar y mapear las rutas de menor costo entre las áreas núcleo se aplicó el complemento para ArcGIS *Linkage mapper* (McRae y Kavanagh, 2011). Este utiliza la matriz de resistencias para determinar corredores que menor costo acumulativo representen para los organismos al cruzar de un área núcleo a otra, produciendo mapas de resistencia total acumulada. La herramienta calcula rutas de bajo costo de movimiento y modela los corredores de menor costo entre los valores mínimos de resistencia, expresados en un gradiente de rutas acumulativas de bajo costo. Así, se calcularon los corredores y rutas de menor costo de movimiento entre áreas protegidas y entre los núcleos de bosque definidos en el paso i (Figura 11).



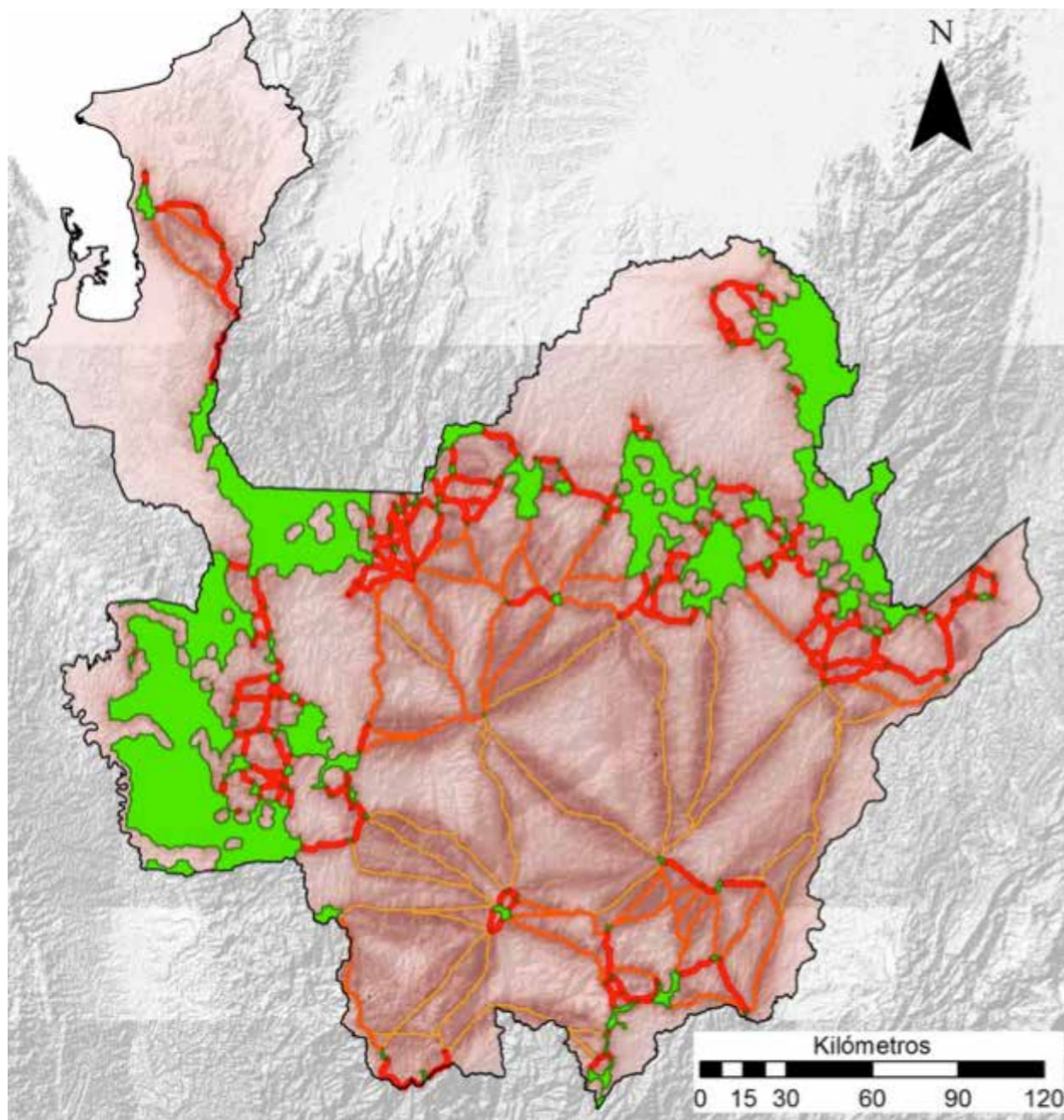


Figura 11. Rutas y corredores de conectividad entre núcleos de bosques y áreas naturales.

Al clasificar las áreas naturales del departamento, asumiendo como efecto de borde 500 metros, se categorizaron como corredores y fragmentos aislados la mayor parte de las áreas de bosque natural situadas hacia el centro del departamento, entre las regiones Valle de Aburrá, Oriente, Norte y Suroeste, principalmente. Por el contrario, la mayor parte de las áreas de bosque clasificadas como núcleos se sitúan en las regiones de Urabá, Nordeste y Bajo Cauca. Los principales núcleos boscosos se localizan en: la vertiente oeste de la Cordillera Occidental, la región de Urabá, en la cercanía del PNN Paramillo, en la región Occidente, en las estribaciones de la serranía de San Lucas, así como en los bosques de Amalfi y Anorí, (Nordeste) y Cáceres (Bajo Cauca); En la región Oriente se destacan los núcleos boscosos que conforman el Complejo del Páramo de Sonsón.

Como era de esperarse, las rutas de conectividad (menor costo) modeladas entre áreas protegidas mostraron mayor fuerza o importancia entre áreas cercanas en el espacio. Por ejemplo, presentan rutas de conectividad de bajo costo las áreas protegidas que rodean el Valle de Aburrá y las ubicadas en la región Suroeste, como la reserva protectora del Río Barroso y el Distrito de Manejo Integrado (DMI) Cuchilla Jardín-Támesis.

Las áreas protegidas del DMI Embalse de El Peñol y las reservas forestales protectoras de Punchiná y San Lorenzo, en el Oriente antioqueño, también presentan rutas de alta conectividad. Igual sucede, en Urabá, con el Parque Nacional Los Katíos y las reservas del Río León y los humedales entre los ríos

León y Suriquí. Se debe destacar que se establecen rutas de conectividad entre las áreas protegidas de las regiones Oriente y Magdalena Medio con el PNN Paramillo, en la región Norte, por medio de los bosques presentes en Amalfi, Anorí, Cáceres y Tarazá; aunque se trata de rutas de alto costo, soportan la importancia que tienen dichos bosques en la conservación de la biodiversidad de Antioquia.

En cuanto a la conectividad de los núcleos de áreas naturales, se observó un patrón similar al encontrado para la conectividad de las Áreas Protegidas. Las áreas que presentan mayor grado de conectividad se encuentran, nuevamente, en las regiones de Urabá y Occidente, además de Bajo Cauca, Norte y Nordeste, donde se encuentra la mayor cantidad de zonas boscosas del departamento.

Adicional a estas áreas, los núcleos ubicados en la región Oriente, que incluyen el complejo del Páramo de Sonsón, aunque presentan menor tamaño, también forman redes de conectividad importantes entre ellas. Al igual que el análisis realizado para las áreas naturales protegidas, se observa una desconexión entre las zonas boscosas ubicadas en Oriente del departamento con los núcleos ubicados en el Nordeste y en las estribaciones de la Serranía de San Lucas. En definitiva, al considerar los análisis realizados para las áreas protegidas y los núcleos boscosos, las áreas prioritarias para la conservación definidas en este estudio, además de aportar a la representación de la biodiversidad de fauna y flora de Antioquia, también se sitúan en zonas donde se hace clave el mantenimiento o mejoramiento de

la conectividad ecológica del SIDAP, como instrumento importante para la conservación de la biodiversidad a largo plazo.

## 7. Portafolio de prioridades de conservación en Antioquia

### 7.1. Nordeste alto

**Generalidades.** Esta área se localiza en el norte de la Cordillera Central de los Andes colombianos. Hace parte de la jurisdicción de los municipios de Anorí, Amalfi y, en menor proporción, Yarumal. Estos municipios concentran una de las extensiones de bosque más importantes del departamento (Anorí = 97.000 ha; Amalfi = 62.000; Yarumal = 12.800; total = 171.800 ha, aproximadamente; 2.72 % de Antioquia), constituyendo cerca del 8.2 % de los bosques antioqueños. Sin embargo, no existe ninguna figura de protección (nacional o local) que permita la continuidad futura de esta región.

Esta área se destaca por comprender diferentes ecosistemas a lo largo del gradiente de elevación, extendiéndose desde 1.500 m s. n. m. hasta 3.100 m s. n. m., aproximadamente. En este gradiente se encuentran diferentes ecosistemas, especialmente los bosques de niebla andinos, altamente amenazados. Además, es importante recordar que las áreas que abarcan gradientes de elevación son una estrategia clave para la mitigación-adaptación al cambio climático.

Tiene un área aproximada de 66.000 ha (39

% de los bosques de la región; 3,2 % de los bosques de Antioquia; 1,04 % del territorio departamental), y se encuentra cerca del río Porce. Estos bosques son importantes para el abastecimiento hídrico de la región, una de las que presenta mayor acumulación de agua: tiene una alta precipitación, permitiéndole mantener grandes cantidades de agua en sus cuencas, después de la evapotranspiración de las plantas. Por eso es una región usada para la producción de energía eléctrica.

**Importancia biológica.** Es una de las regiones donde los bosques se encuentran en un estado más cercano a lo natural en todo el departamento. Por lo cual tiene grandes extensiones con una alta integridad ecológica. También presenta una particularidad biogeográfica, pues concentra especies y subespecies endémicas del norte de los Andes. Algunos estudios sugieren que el valle del río Porce genera una barrera que separa poblaciones de las especies a lado y lado, lo que en el tiempo evolutivo lleva a la separación de estos grupos por la interrupción del flujo genético, es decir, que los individuos de estas poblaciones no se entrecruzan. Esta particularidad genera que la región sea muy importante para conservar los procesos evolutivos.

Otra razón para ser una región biológicamente relevante, es la presencia de diferentes ecosistemas a lo largo de la elevación, lo cual permite acumular especies propias de tierras bajas como de tierras altas. Sin embargo, las especies de tierras bajas que se encuentran en la región, generalmente, tienen rangos de

distribución amplios, algunas se expanden desde Méjico hasta Argentina.

Entre tanto, las tierras altas concentran una mayor cantidad de especies andinas de rangos restringidos, endémicas de Colombia o Antioquia, siendo más pertinentes para iniciativas regionales, partiendo de una premisa: especies endémicas o con una gran porción de su rango geográfico en el departamento requieren de acciones más urgentes, pues se tiene una responsabilidad mayor sobre estas. Sin embargo, especies de rangos geográficos amplios, como el jaguar (*Panthera onca*), en estado de amenaza, también deben ser tenidos en cuenta.

Por otra parte, es una región bien representada en colecciones biológicas. Pero, pese a su importancia biológica, ha sido poco muestreada y requiere más esfuerzos por parte de los investigadores para conocer su diversidad y los procesos ecológicos que se llevan a cabo allí.

**Vulnerabilidad.** Aunque tiene una tasa de deforestación promedio menor que la de Antioquia, en los últimos años comenzó un incremento de la pérdida de bosques. Esto se relaciona con actividades agrícolas, principalmente. Los embalses sobre los ríos son una fuente económica muy importante. Sin embargo su efecto en la diversidad de peces no se conoce con claridad (no incluida en este estudio).

La accesibilidad de esta región ha sido restringida por condiciones topográficas, pendientes superiores a 60 % en algunas partes, y por condiciones de orden público. Lo cual pudo haber contribuido al mantenimiento de las áreas boscosas intactas.

**Estatus.** Altamente importante y medianamente amenazado. Se requieren acciones inmediatas de ordenamiento del territorio para declarar áreas protegidas regionales.



Figura 12. Área definida como prioridad en el Nordeste alto.

## 7.2. Chocó antioqueño

**Generalidades.** Se localiza en la vertiente oeste, en el norte de la Cordillera Occidental de los Andes colombianos. Está distribuida en los municipios de Vigía del Fuerte y Murindó, principalmente. Estos municipios concentran la extensión más grande de cobertura continua de bosque en Antioquia (Vigía del Fuerte = 160.000 ha.; Murindó = 83.000; total = 243.000 ha, aproximadamente; 3.85% de Antioquia), constituyendo cerca del 11,7 % de los bosques antioqueños. Al igual que en otras regiones, no existe ninguna figura de protección (nacional o local) que permita mantener los bosques de esta región. Esta área se caracteriza por su alta precipitación respecto al resto del departamento. Al igual que otras regiones del Chocó, se pueden encontrar los bosques más prístinos de Antioquia. Tiene un área aproximada de 31.000 ha (12 % de los bosques de la región; 1.5 % de los bosques de Antioquia; 0.5 % de área del departamento).

**Vulnerabilidad.** Esta área contiene a los municipios de más baja deforestación reportada en el departamento durante la última década. Es de resaltar que la mayoría de municipios que no registran altas tasas de deforestación es porque tienen un mínimo de cobertura –es decir, deforestación antes del año 2000–, aunque no es el caso del Chocó antioqueño. Esto se debe al difícil acceso vial y topográfico que presenta la región. De ahí que el desarrollo económico es escaso y la pobreza predominante puede amenazar los bosques de manera no perceptible, por medio de cacería indiscriminada y entresacas de madera para su comercio ilegal. Por tanto, planes de desarrollo sostenible, como el comercio de productos del bosque, son

iniciativas claves para mejorar la calidad de vida de los habitantes, sin entrar en conflicto con los bosques y su diversidad. El orden público también ha tenido un papel en la región, aunque en menor medida.

**Estatus.** Altamente importante y raramente amenazado. Adquisiciones gubernamentales de grandes extensiones pueden ser realizadas debido al costo de oportunidad. Adicionalmente, el fortalecimiento de resguardos indígenas y comunidades negras puede favorecer la conservación. Esta región es fundamental por su importancia biológica real, que permanece desconocida.



PALMA MACANA  
Genero *Wettinia*

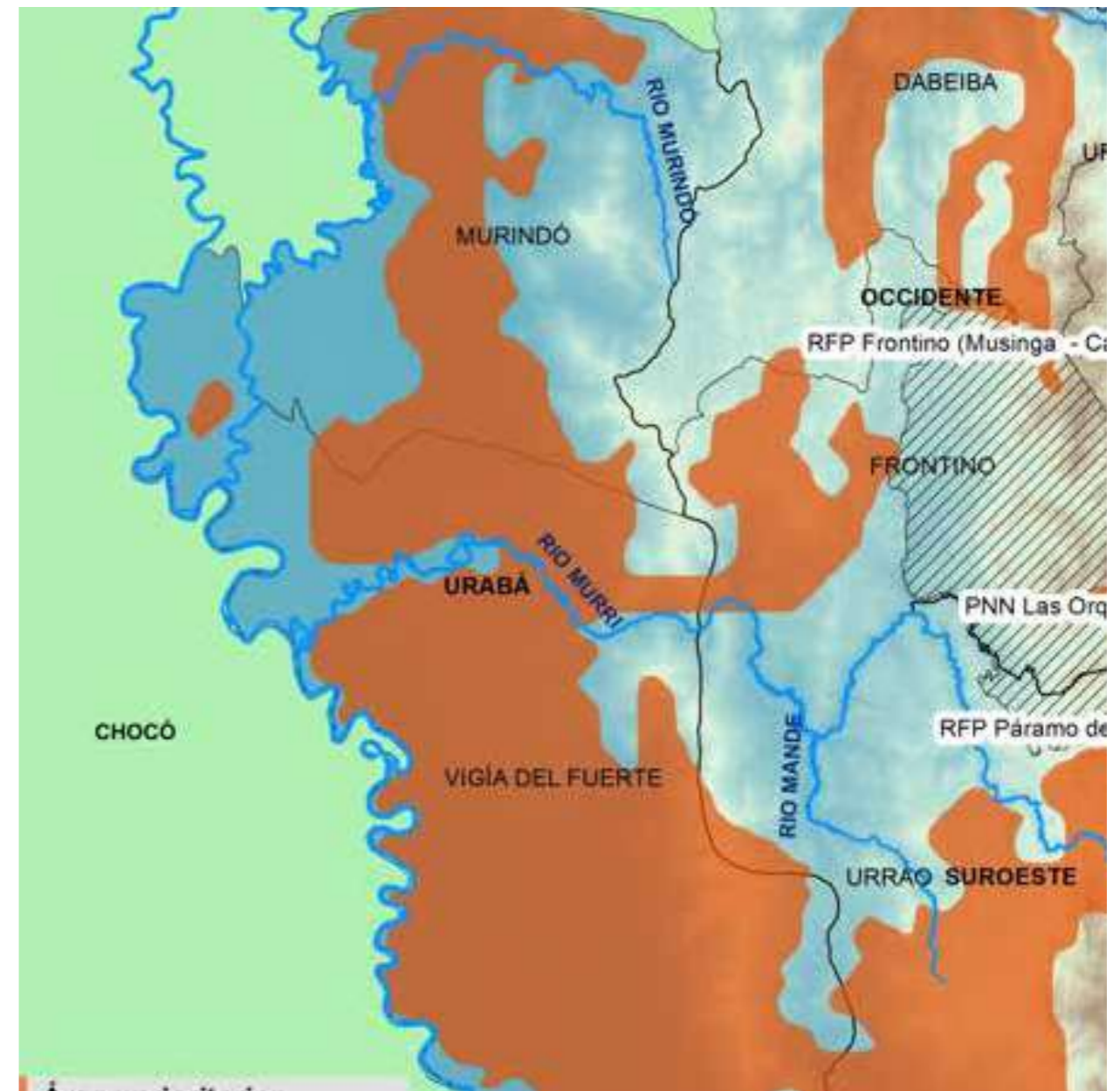


Figura 13. Área definida como prioritaria en el Chocó antioqueño.

## 7.3. Suroriente (Sonsón)

**Generalidades.** Esta región se ubica en el sur del departamento, en la vertiente oriental de la cordillera central de los Andes colombianos. Hace parte de los municipios de Nariño, Sonsón y Argelia, este último en menor proporción. Estas jurisdicciones concentran una porción importante de los

bosques andinos, aún presentes en el departamento. Aunque el ecosistema que ocupa una mayor proporción de Antioquia son los bosques andinos, se encuentran en estado crítico, tanto en el país como en el mundo. Por tanto, mantener la mayor cantidad de estos ecosistemas en su estado natural es necesario para las metas de conservación regionales, nacionales e internacionales. Estos bosques se

distribuyen en los municipios (Sonsón = 37.500 ha; Nariño= 11.600; Argelia = 7.500; total = 56.600 ha, aproximadamente; 0,9 % de Antioquia), constituyendo cerca del 1,8 % de los bosques antioqueños.

Tiene un área aproximada de 1.855 ha (3,2 % de los bosques de la región; 0,05 % de los bosques de Antioquia; 0,03 % del departamento). Esta área comprende diferentes tipos de bosques andinos, desde los del piedemonte hasta un pequeño páramo, en las partes altas de Sonsón. En esas condiciones, se trata de un ecosistema considerado como prioridad de conservación nacional y que requiere protección inmediata. Adicionalmente, se conecta con otros bosques conocidos como el Alto de San Miguel. De esta región, en conjunto con San Miguel, son una de las estrellas fluviales fundamentales del departamento. También es una de las regiones que presenta una mayor acumulación de agua, es decir, tiene una alta precipitación, permitiéndole mantener grandes cantidades de agua en sus cuencas después de la evapotranspiración de las plantas.

**Vulnerabilidad.** A pesar de tener una tasa de deforestación promedio menor que la registrada para Antioquia, en los últimos años ha comenzado un incremento de la pérdida de bosques. Esto se relaciona con actividades agrícolas, principalmente. Los embalses sobre los ríos son una fuente económica muy importante. Sin embargo, su efecto en la diversidad de peces no se conoce con claridad (no incluida en este estudio).

La accesibilidad de esta región ha sido restringida por condiciones topográficas, pendientes superiores a 60 % en algunas partes y por condiciones de orden público, lo cual pudo contribuir al mantenimiento de las áreas boscosas intactas.

**Estatus.** Altamente importante y medianamente amenazado. Se requieren acciones inmediatas de ordenamiento del territorio para declarar áreas protegidas regionales.

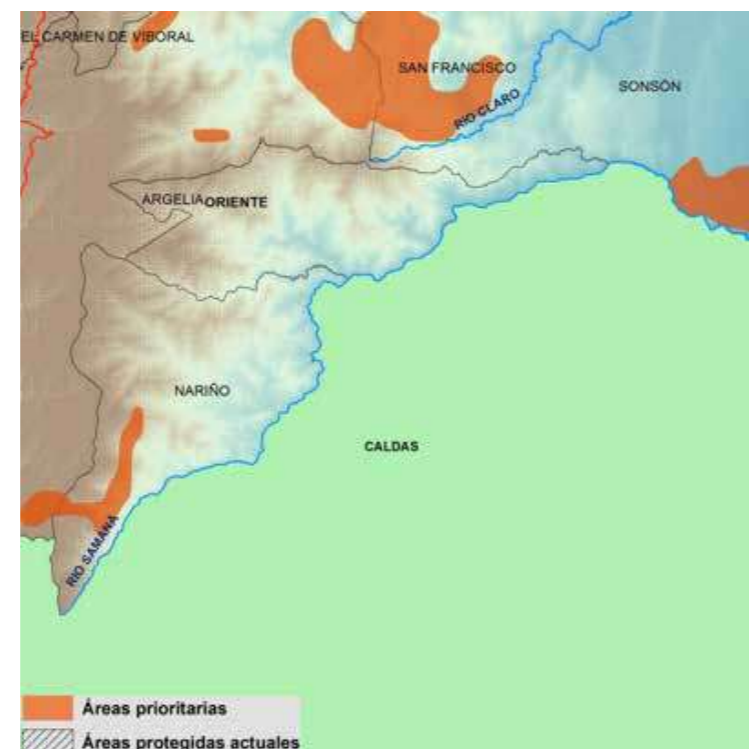


Figura 14. Áreas definidas como prioritarias en la región de Sonsón, suroriente del departamento.

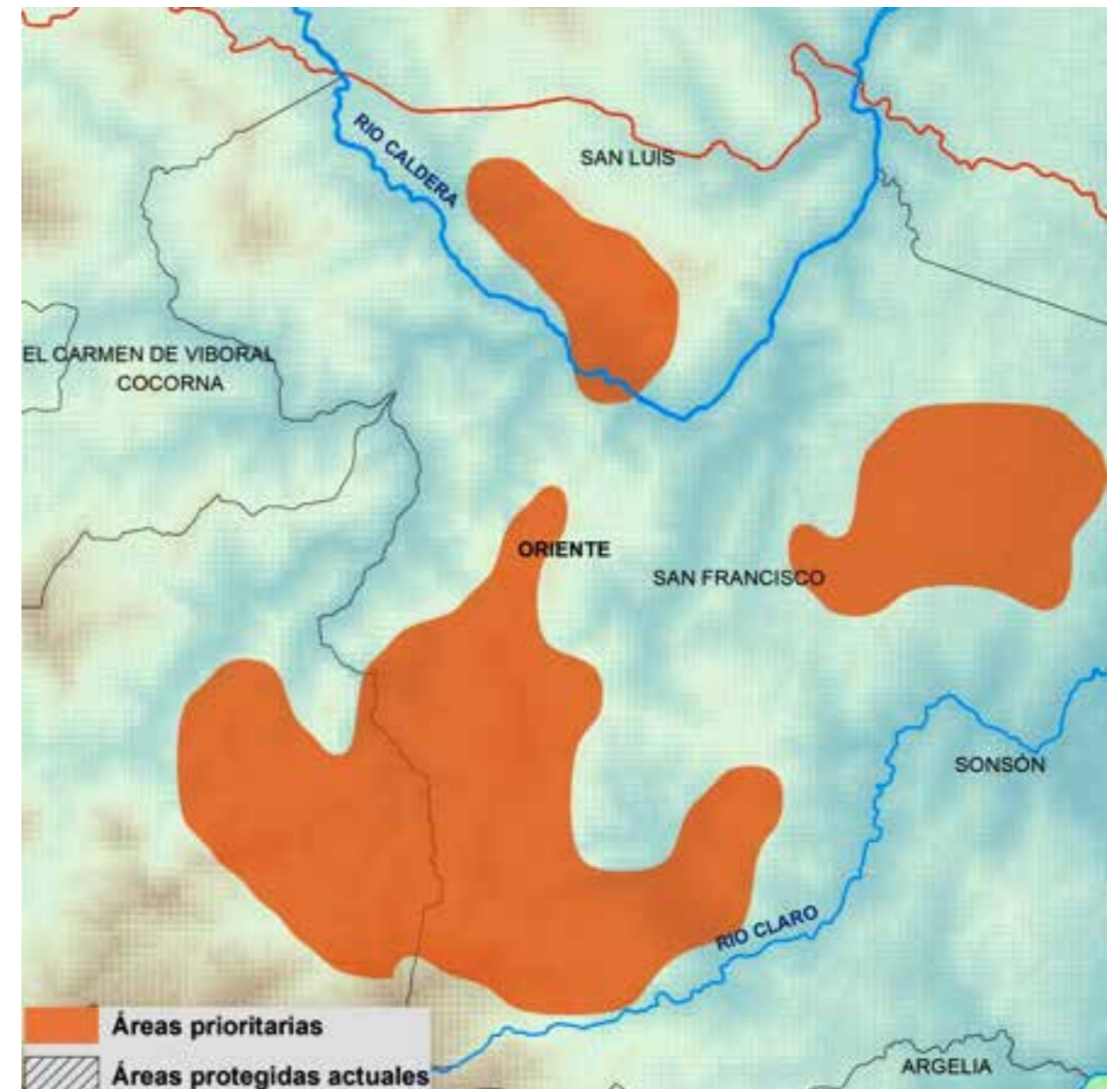


Figura 15. Acercamiento de otras regiones circundantes a la región de Sonsón que los análisis resaltan como prioridades de conservación, en los municipios de San Francisco y San Luis (Río Claro).

**7.4. Serranía de San Lucas**  
**Generalidades.** Esta región, de la cual Antioquia cubre la porción suroccidental, ha sido categorizada como una prioridad de conservación nacional, debido a la baja representatividad de sus ecosistemas en las áreas protegidas nacionales, su

riqueza biológica y ofrecer hábitat para un número importante de especies amenazadas. Antioquia alberga las estribaciones suroccidentales de este macizo, comprendiendo los municipios de Remedios, Segovia, El Bagre y Nechí, en alturas desde los 500 m s. n. m. hasta los 1200. Estos municipios conservan una porción significativa de sus bosques, llegando a tener hasta el 79 % de cobertura boscosa, en Segovia.

Esta región presenta una biodiversidad importante, con componentes del Chocó biogeográfico, el Caribe y la región andina. Adicionalmente, esta zona es hábitat clave para especies amenazadas y de importancia ecológica, como el churuco o mono barrigudo (*Lagothrix lugens*), el mono araña (*Ateles hybridus brunneus*) y la danta colombiana (*Tapirus terrestres colombianus*), siendo endémicas para Colombia esta especie y sus subespecies. De otro lado, la Serranía de San Lucas y las zonas boscosas continuas han sido identificadas como una unidad de conservación para el jaguar (*Panthera onca*), lo que es fundamental en el mantenimiento de poblaciones viables de la especie y en la conectividad entre las poblaciones de centro y Suramérica

Esta región presenta un vacío importante de información biológica, por lo que es de gran importancia aumentar los esfuerzos de muestreo.

**Vulnerabilidad.** Aunque la región presenta una accesibilidad baja, los municipios que cubren esta área presentan altas tasas de deforestación, especialmente Remedios, con una notable pérdida de bosque. Asimismo, la minería representa una amenaza importante para la biodiversidad de la zona.

**Estatus.** Importancia alta y amenaza media. Se requieren acciones inmediatas de ordenamiento del territorio para declarar áreas protegidas regionales.

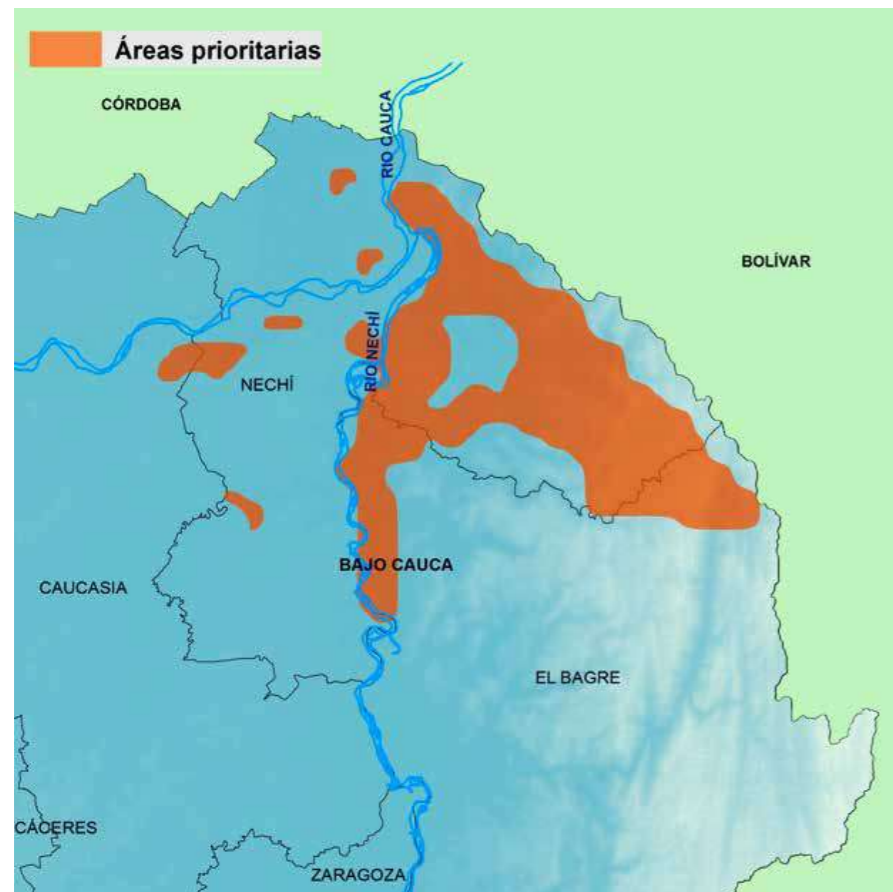


Figura 16. Áreas prioritarias para la conservación de la Serranía de San Lucas, en lo que alberga Antioquia.

## Referencias

- Álvarez, E., Duque, A., Saldarriaga, J., Cabrera, K., de las Salas, G., del Valle, I., ... Rodríguez, L. (2012). Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. *Forest Ecology and Management*, 267, 297–308. doi:10.1016/j.foreco.2011.12.013
- Álvarez, E., y Cogollo, Á. (2011). ¿Qué Tanta Biodiversidad Se Conserva En El Sistema de Áreas Protegidas de Antioquia ? *Eolo* 16: 1–7.
- Anderson, M. J., Crist, T. O., Chase, J. M., Vellend, M., Inouye, B. D., Freestone, A. L., ... Swenson, N. G. (2011). Navigating the multiple meanings of  $\beta$  diversity: a roadmap for the practicing ecologist. *Ecology Letters*, 14(1), 19–28. doi:10.1111/j.1461-0248.2010.01552.x
- Anderson, R. P., Peterson, A. T., y Gómez-Laverde, M. (2002). Using niche-based GIS modeling to test geographic predictions of competitive exclusion and competitive release in South American pocket mice. *Oikos*, 3–16.
- Aristizabal, A. F., y Michel Hermelin. (2008). Los caminos de ganado en las tierras altas del departamento de antioquia: una primera aproximación. *Boletín de Ciencias de la Tierra* (24).
- Assessment, M. (2005). *Ecosystems and human well-being*. Millennium Ecosystem Assessment. Recuperado de <http://www.who.int/entity/globalchange/ecosystems/ecosys.pdf>
- Brook, B. W., Sodhi, N. S., y Bradshaw, C. J. a. (2008). Synergies among extinction drivers under global change. *Trends in Ecology & Evolution*, 23 (8), 453–60. doi:10.1016/j.tree.2008.03.011
- Brooks, T. M., Mittermeier, R. a, da Fonseca, G. a B., Gerlach, J., Hoffmann, M., Lamoreux, J. F., ... Rodrigues, a S. L. (2006). Global biodiversity conservation priorities. *Science (New York, N.Y.)*, 313 (5783), 58–61. doi:10.1126/science.1127609
- Cadena, C. D., Kozak, K. H., Gómez, J. P., Parra, J. L., McCain, C. M., Bowie, R. C. K., ... Graham, C. H. (2012). Latitude, elevational climatic zonation and speciation in New World vertebrates. *Proceedings. Biological Sciences / The Royal Society*, 279 (1726), 194–201. doi:10.1098/rspb.2011.0720
- Calabrese, J. y Fagan, W. (2004) A comparison-shopper's guide to connectivity metrics. *Frontiers in Ecology and the Environment*.

Chapin, F. S., Zavaleta, E. S., Eviner, V. T., Naylor, R. L., Vitousek, P. M., Reynolds, H. L., ... Díaz, S. (2000). Consequences of changing biodiversity. *Nature*, 405(6783), 234–42. doi:10.1038/35012241

Clarke, K. (1993). Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, (1988), 117–143. Recuperado de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1442-9993.1993.tb00438.x/full>

Colgan, C., Hunter, M. L., McGill, B., y Weiskittel, A. (2014). Managing the middle ground: forests in the transition zone between cities and remote areas. *Landscape Ecology*, 29 (7), 1133–1143. doi:10.1007/s10980-014-0054-7

Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., ... Lehmann, A. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29 (2), 129–151.

Ferrier, S. (2002). Mapping spatial pattern in biodiversity for regional conservation planning: where to from here? *Systematic Biology*, 51 (2), 331–63. doi:10.1080/10635150252899806

Ferrier, S., & Guisan, A. (2006). Spatial modelling of biodiversity at the community level. *Journal of Applied Ecology*, 43 (3), 393–404. doi:10.1111/j.1365-2664.2006.01149.x

Galpern, P., Manseau, M. y Fall, A. (2011) Patch-based graphs of landscape connectivity: a guide to construction, analysis and application for conservation. *Biological Conservation*, 144, 44–55.

Gobernación de Antioquia. 2010. *Atlas de áreas protegidas*. Medellín, Antioquia, Colombia. — — —. 2012. *Plan de Desarrollo de Antioquia 2012 - 2015, Antioquia La Mas Educada*.

Gonzalez-Caro, S., Umana, M. N., Álvarez, E., Stevenson, P. R., y Swenson, N. G. (2014). Phylogenetic alpha and beta diversity in tropical tree assemblages along regional-scale environmental gradients in northwest South America. *Journal of Plant Ecology*, 7 (2), 145–153. doi:10.1093/jpe/rtt076

Gordon, A., Simondson, D., White, M., Moilanen, A., y Bekessy, S. A. (2009). Integrating conservation planning and landuse planning in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 91 (4), 183–194. doi:10.1016/j.landurbplan.2008.12.011

Graham, C. H., Moritz, C., y Williams, S. E. (2006). Habitat history improves prediction of biodiversity in rainforest fauna. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103 (3), 632–6. doi:10.1073/pnas.0505754103

Graham, C., y Hijmans, R. (2006). A comparison of methods for mapping species ranges and species richness. *Global Ecology and Biogeography*, 578–587. doi:10.1111/j.1466-822x.2006.00257.x

Hansen, M. C., Potapov, P. V, Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. a, Tyukavina, a, ... Townshend, J. R. G. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science* (New York, N.Y.), 342 (6160), 850–3. doi:10.1126/science.1244693

Henao, E. (2006). Aproximación a La Distribución de Mariposas Del Departamento de Antioquia (papilionidae, Pieridae Y Nymphalidae: Lepidóptera) Con Base En Zonas de Vida. *Museo de Historia Natural* 10, 279–312.

Henderson, A., Galeano, G., y Bernal, R. (1995). *Field Guide to the Palmas of the Americas*. Princeton, New Jersey.: Princeton University Press.

Idárraga, A, y Callejas, R. (2011). Análisis florístico de la vegetación del departamento de Antioquia. Edited by Mary Idarraga, Álvaro Ortiz, Rosa del Carmen Callejas, Ricardo Morello. *Flora de Antioquia: Catálogo ...*: 7–117.

Kamino, L. H. Y., Stehmann, J. R., Amaral, S., De Marco, P., Rangel, T. F., de Siqueira, M. F., ... Hortal, J. (2012). Challenges and perspectives for species distribution modelling in the neotropics. *Biology Letters*, 8 (3), 324–6. doi:10.1098/rsbl.2011.0942

Kremen, C., Cameron, a, Moilanen, a, Phillips, S. J., Thomas, C. D., Beentje, H., ... Zjhra, M. L. (2008). Aligning conservation priorities across taxa in Madagascar with high-resolution planning tools. *Science* (New York, N.Y.), 320 (5873), 222–6. doi:10.1126/science.1155193

Loarie, S. R., Duffy, P. B., Hamilton, H., Asner, G. P., Field, C. B., & Ackerly, D. D. (2009). The velocity of climate change. *Nature*, 462 (7276), 1052–5. doi:10.1038/nature08649

McGill, B. J., Etienne, R. S., Gray, J. S., Alonso, D., Anderson, M. J., Benecha, H. K., ... White, E. P. (2007). Species abundance distributions: moving beyond single prediction theories to integration within an ecological framework. *Ecology Letters*, 10 (10), 995–1015. doi:10.1111/j.1461-0248.2007.01094.x

McRae, B.H. & Kavanagh, D.M. (2011) Linkage Mapper Connectivity Analysis Software. Seattle, WA: The Nature Conservancy.

Mejía, Óscar. (2008). *El recurso hídrico en la jurisdicción de Corantioquia 1995-2007*. Medellín, Colombia: Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, Corantioquia, Primera edición.

Mitchell, M.G.E., Bennett, E.M. y Gonzalez, A. (2013) Linking Landscape Connectivity and Ecosystem Service Provision: Current Knowledge and Research Gaps. *Ecosystems*, 16, 894–908.

Moilanen, a. (2007). Landscape Zonation, benefit functions and target-based planning: Unifying reserve selection strategies. *Biological Conservation*, 134 (4), 571–579. doi:10.1016/j.biocon.2006.09.008

Mora, Maritza, y Juan Carlos. Muñoz (2008). Concentración de la propiedad de la tierra y producto agrícola en Antioquia *Ecos de Economía*, 12 (26), 71-108. Disponible en <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ecos-economia/article/view/714> .

Murgueitio, E., Ibrahim, M., Molina, C., Molina, E., Molina, J., Galindo, W., Zapata, A. et al. (2008). *Ganadería del futuro: investigación para el desarrollo*. Fundación CIPAV. Cali, Colombia.

Orme, C. D. L., Davies, R. G., Burgess, M., Eigenbrod, F., Pickup, N., Olson, V. a, ... Owens, I. P. F. (2005). Global hotspots of species richness are not congruent with endemism or threat. *Nature*, 436 (7053), 1016–9. doi:10.1038/nature03850

Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190 (3-4), 231–259.

Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190 (3-4), 231–259. doi:10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026

Rahbek, C., Gotelli, N. J., Colwell, R. K., Entsminger, G. L., Rangel, T. F. L. V. B., y Graves, G. R. (2007). Predicting continental-scale patterns of bird species richness with spatially explicit models. *Proceedings. Biological Sciences / The Royal Society*, 274 (1607), 165–74. doi:10.1098/rspb.2006.3700

Ricklefs, R. E. (2004). A comprehensive framework for global patterns in biodiversity. *Ecology Letters*, 7 (1), 1–15. doi:10.1046/j.1461-0248.2003.00554.x

Ríos-Franco, C. A., Franco, P., y Forero-Medina, G. (2013). *Toolbox para la identificación de áreas prioritarias para la conservación, Modelo SIG dinámico V1.0* (p. 24). Santiago de Cali: Wildlife Conservation Society Colombia - MacArthur Foundation.

Sandel, B., & Svenning, J.-C. (2013). Human impacts drive a global topographic signature in tree cover. *Nature Communications*, 4 (2474). doi:10.1038/ncomms3474

Stegen, J. C., Swenson, N. G., Enquist, B. J., White, E. P., Phillips, O. L., Jørgensen, P.

M., ... Núñez Vargas, P. (2011). Variation in above-ground forest biomass across broad climatic gradients. *Global Ecology and Biogeography*, 20 (5), 744–754. doi:10.1111/j.1466-8238.2010.00645.x

Taugourdeau, S., Villerd, J., Plantureux, S., Huguenin-Elie, O., y Amiaud, B. (2014). Filling the gap in functional trait databases: use of ecological hypotheses to replace missing data. *Ecology and Evolution*, 4 (7), 944–58. doi:10.1002/ece3.989

Taylor, P.D., Fahrig, L., Henein, K. y Merriam, G. (1993) Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 571–573.

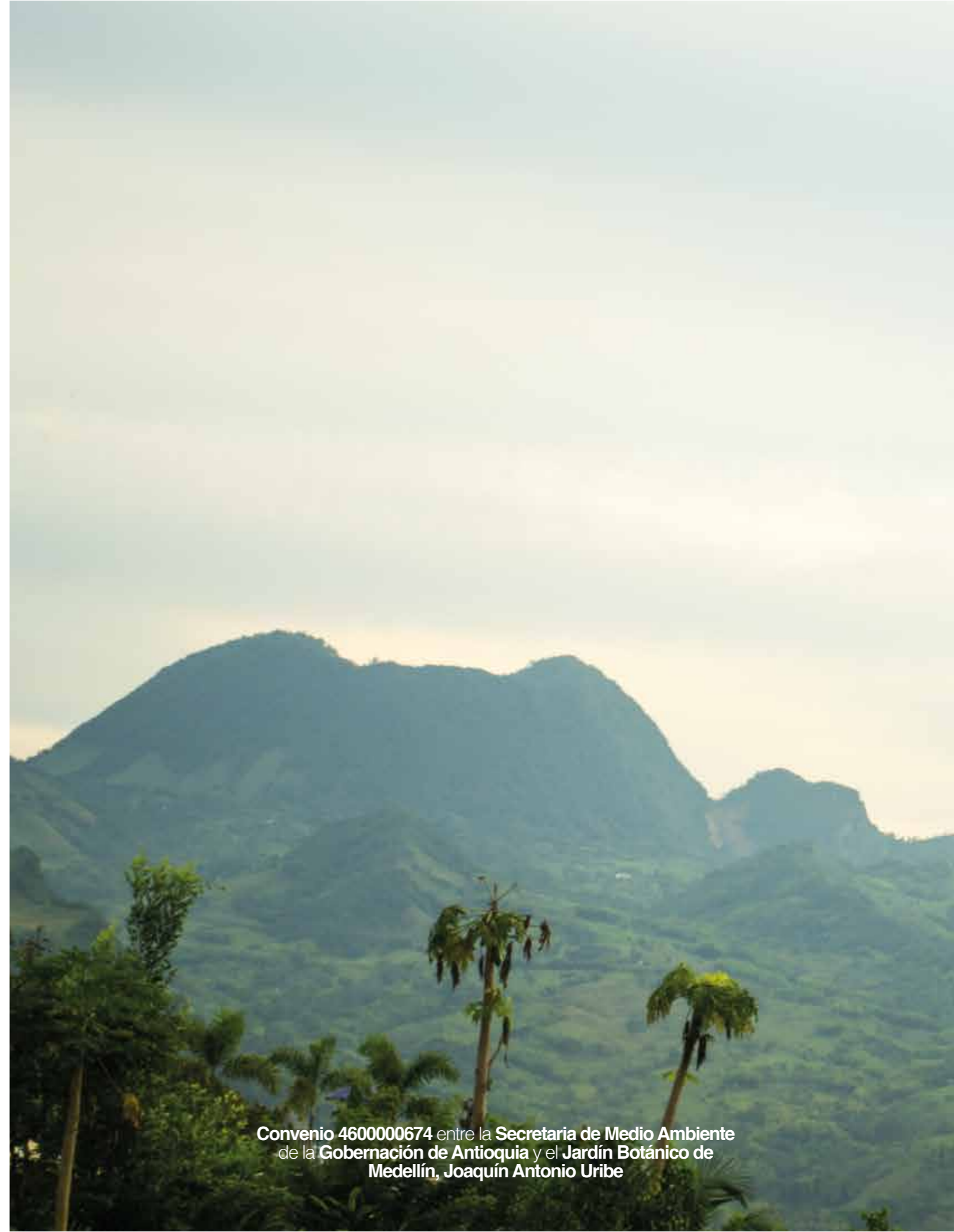
Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., D'Antonio, C., Dobson, a, Howarth, R., ... Swackhamer, D. (2001). Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science* (New York, N.Y.), 292 (5515), 281–4. doi:10.1126/science.1057544

Vogt, P., Riitters, K.H., Estreguil, C., Kozak, J., Wade, T.G. & Wickham, J.D. (2006) Mapping Spatial Patterns with Morphological Image Processing. *Landscape Ecology*, 22, 171–177.

Whittaker, R. (1972). Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 21 (2), 213–251. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/1218190>

Woodroffe, R., & Ginsberg, J. (1998). Edge effects and the extinction of populations inside protected areas. *Science* (New York, N.Y.), 280 (5372), 2126–8. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9641920>

Zanne, A. E., Lopez-Gonzalez, G Coomes, D. A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S. L., Miller, R. B., ... Chave, J. (2009). Global wood density database. *Dryad Digital Repository*. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.5061/dryad.234>.



Convenio 460000674 entre la Secretaría de Medio Ambiente  
de la Gobernación de Antioquia y el Jardín Botánico de  
Medellín, Joaquín Antonio Uribe