

# Biodiversidad

VOL.: 4/ NÚM. 1/ JUNIO 2019

EN LA

# PRÁCTICA

Documentos de trabajo del Instituto Humboldt

ISSN digital 2619-3124



EDICIÓN  
**CAMBIO CLIMÁTICO**

## Relaciones entre cambio climático y biodiversidad: producción de conocimiento

- Vulnerabilidad en sistemas socioecológicos del valle de Sibundoy
- Medios de vida en la cuenca del río Orotoy: capacidad adaptativa y vulnerabilidad al cambio climático
- Experiencias de WWF Colombia y socios para la adaptación y resiliencia en un clima cambiante
- Estrategia para el Monitoreo Integrado de los Ecosistemas de Alta Montaña en Colombia



Instituto de Investigación de Recursos Biológicos  
Alexander von Humboldt

# Biodiversidad EN LA PRÁCTICA

Documentos de trabajo del Instituto Humboldt

VOL.: 4/ NÚM. 1/ junio 2019, Bogotá D. C., Colombia

---



EDICIÓN  
**CAMBIO CLIMÁTICO**

## **Editor**

Germán Ignacio Andrade Pérez

## **Editora invitada**

María Eugenia Rinaudo Mannucci

## **Coordinación y asistencia editorial**

Cristina Rueda Uribe

Ana Marcela Hernández Calderón

## **Corrección de estilo**

Cristina Rueda Uribe

Ana María Rueda García

## **Diagramación**

Stefany Hernández Arrieta

Julián Güiza Cubides

## **Foto portada**

Felipe Villegas

## **Revisión traducciones**

Cristina Rueda Uribe

## **Información**

Instituto Alexander von Humboldt

Oficina de Comunicaciones

Teléfono: (1) 320 2767

<http://revistas.humboldt.org.co/index.php/BEP/index>

---



INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS  
BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT

## **Directora general**

Brigitte L. G. Baptiste Ballera

## **Subdirector de investigaciones**

Hernando García Martínez

Esta es una revista semestral, editada en Bogotá D.C., Colombia,  
por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos  
Alexander von Humboldt

# Biodiversidad EN LA PRÁCTICA

Documentos de trabajo del Instituto Humboldt

VOL.: 4/ NÚM. 1/ junio 2019, Bogotá D. C., Colombia



EDICIÓN  
**CAMBIO CLIMÁTICO**

## TABLA DE CONTENIDO



**Editorial**  
Brigitte Baptiste  
Página 1



**Construcción de vulnerabilidad en humedales altoandinos integrados con sistemas ganaderos. Evidencia a través de un modelo socioecológico de cambio entre 1980 y 2010, en el valle de Sibundoy, Putumayo, Colombia**  
Luis Fernando Mora y Germán Ignacio Andrade  
Página 2



**Elementos de enfoque y estudio de caso para abordar los servicios ecosistémicos en áreas protegidas de la Amazonia colombiana**  
Olga Lucía Albarracín-Álvarez, David Novoa-Mahecha y Sandra Milena Rodríguez-Peña  
Página 30



**Capacidad adaptativa y vulnerabilidad de la cuenca del río Orotoy ante el cambio climático, a partir del análisis de las variables de los medios de vida**  
Fabio Andrés Zabala-Forero e Isai Victorino  
Página 51



**Conocimiento científico de los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad continental: productividad de las instituciones colombianas y propuesta para un análisis integral**  
María Cecilia Londoño, Liliana Patricia Saboyá y Nicolás Urbina-Cardona  
Página 86



**Conservación de la biodiversidad en un contexto de clima cambiante: experiencias de WWF Colombia en los últimos diez años**

Melissa Abud-Hoyos, Luis Germán Naranjo, Jairo Guerrero, Oscar Guevara, César Freddy Suárez y Johanna Prüsmann  
Página 111



**Sinergias entre la Convención sobre Diversidad Biológica y la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el cambio climático desde una perspectiva de la agenda internacional**

María Claudia Vélez-Crismatt y Juan Sebastián Gómez-Martínez  
Página 141



**Construcción de una Estrategia para el Monitoreo Integrado de los Ecosistemas de Alta Montaña en Colombia**

Luis Daniel Llambí, María Teresa Becerra, Manuel Peralvo, Andrés Avella, Martín Baruffol y Liz Johanna Díaz  
Página 150



**Cambios proyectados a 2040 en los ecosistemas de la jurisdicción de Corantioquia de acuerdo con los escenarios de cambio climático del Ideam**

Luz Bibiana Moscoso-Marín, Natalia Arcila-Marín y Rosember Hernández-Restrepo  
Página 173



**Las ciencias forestales y la gestión de la biodiversidad: apuntes históricos para una reivindicación**

Rodrigo Echeverri-Restrepo  
Página 189



**Clima, ciudades y biodiversidad: revisión de producción científica**

Diana C. Useche, Juliana Durán-Prieto, Ingrith A. Zárate-Caballero, Darwin L. Moreno-Echeverry, Laura Velásquez y Pedro A. Camargo  
Página 212

# Biodiversidad EN LA PRÁCTICA

Documentos de trabajo del Instituto Humboldt

VOL.: 4/ NÚM. 1/ junio 2019, Bogotá D. C., Colombia



EDICIÓN  
**CAMBIO CLIMÁTICO**

## EDITORIAL

Como humanidad estamos construyendo una época de complejidad climática en la que los riesgos y la incertidumbre son cada vez más notorios. En este contexto, la vida sobre la Tierra expone su fragilidad ante los efectos del cambio climático, que se suman a otros motores directos e indirectos de transformación ambiental responsables del deterioro de los ecosistemas y sus contribuciones al bienestar.

Afortunadamente y cada vez con más frecuencia descubrimos vínculos positivos entre la gestión del cambio climático y la persistencia de la biodiversidad: a partir de la protección, conservación y uso sostenible de los ecosistemas, a menudo entendidos como “naturaleza”, se están implementando estrategias efectivas de adaptación, mitigación y gestión del riesgo en los territorios con la expectativa de generar procesos de gobernanza adaptativa y el diseño de sistemas de vida más sostenibles.

Necesitamos transitar hacia una nueva forma de pensamiento que nos libere de la adicción a los combustibles fósiles y que permita relacionarnos armoniosamente con el territorio y sus actores. Para ello, la gestión del conocimiento debe ser la clave para enriquecer la interfaz ciencia-política

y hacerla cada vez más eficiente. Como parte de un ejercicio que ayuda a ejemplificar lo anterior, compartimos con todos ustedes este compendio de reflexiones, análisis e historias acerca de la gestión de la biodiversidad y del cambio climático en Colombia.

En esta edición especial de Biodiversidad en la Práctica encontrarán variados artículos en donde verán reflejados esfuerzos interinstitucionales sobre temas como la capacidad adaptativa de la cuenca del río Orotoy en el Meta, la construcción de vulnerabilidad en el Putumayo, los cambios proyectados en los ecosistemas de Antioquia, la productividad científica en cambio climático por parte de instituciones colombianas, las experiencias de organizaciones como WWF en la gestión del cambio climático y los vínculos de la misma en la política pública nacional e internacional.

Les invito entonces a leer con detenimiento las reflexiones aquí compartidas y a seguir haciendo parte de la comunidad de publicaciones del Instituto Humboldt.

Brigitte Baptiste  
Directora General  
Instituto Humboldt

# Biodiversidad EN LA PRÁCTICA

Documentos de trabajo del Instituto Humboldt



ESPECIAL  
**CAMBIO CLIMÁTICO**

VOLUMEN 4 - NÚMERO 1 - 2019 - PP. 2-29

Recibido: 20 de abril de 2018

Aprobado: 4 de septiembre de 2018

**Luis Fernando Mora**  
Consultor Instituto de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt con maestría en Geografía  
lf.mora34@gmail.com

**Germán Andrade**  
Profesor-consultor Universidad de los Andes-facultad de administración  
gandrade@uniandes.edu.co



REFLEXIÓN

## **Construcción de vulnerabilidad en humedales altoandinos integrados con sistemas ganaderos. Evidencia a través de un modelo socioecológico de cambio entre 1980 y 2010, en el valle de Sibundoy, Putumayo, Colombia**

Vulnerability construction of high-Andean wetlands with cattle-raising systems: evidence from a socio-ecological model of change between 1980 and 2010 in the Sibundoy Valley, Putumayo, Colombia

### **RESUMEN**

El valle de Sibundoy se encuentra en la vertiente amazónica de los Andes de Colombia, en el departamento del Putumayo. Es un sitio de gran importancia social y ambiental. Para entender los cambios asociados con el desarrollo de la ganadería, se hizo un modelo socioecológico, que incluía variables estructurales del sistema, sus estados y trayectorias de cambio entre 1980 y 2010. Se encontró que a comienzos de 1980 en su parte plana, se conservaron el 95 % de sus humedales; a finales de los años ochenta se habían realizado intentos parciales por desecarlos; y con el establecimiento de un distrito de drenaje entre 1980 y 1990 la ganadería se consolidó como la principal actividad productiva. Los efectos de estas transformaciones generaron cambios estructurales en este sistema socioecológico, aumentando la vulnerabilidad y perdiendo su resiliencia frente a la variabilidad climática, manifiesta en el evento extremo de 2010 que afectó negativamente la actividad económica en la región. Con base en este modelo se proponen lineamientos de manejo adaptativo para este tipo de sistema socioecológico.

**Palabras clave:** Ganadería. Humedales altoandinos. Manejo adaptativo. Resiliencia. Sistemas socioecológicos. Variabilidad climática.

## ABSTRACT

The Sibundoy Valley, an area of great environmental and social importance, is located in the Amazonian slopes of the eastern Andes of Colombia in the department of Putumayo. In order to analyze the changes brought about by the development of the cattle-raising industry, a socioecological model was devised. This model included structural variables, states, and trajectories of change for the period of 1980 - 2010. We found that in the early 1980s the territory had a low degree of disturbance (95% of natural wetlands remained), and during the late 80s, when a drainage district was created, cattle became the most important economic activity. Over time this intervention generated strong environmental change: by 2010 the region had increased its vulnerability and lost its resilience to climate variability, as manifested in the extreme 2010 climatic events that caused strong negative impacts on the economy of the region. Based on the model developed, guidelines for adaptive management are proposed.

**Keywords:** Adaptive management. Cattle raising systems. Climate variability. High Andean wetlands. Resilience. Socioecological systems.

## INTRODUCCIÓN

El valle de Sibundoy es un territorio estratégico para la conservación, la producción de alimentos y el mantenimiento de los medios de vida de comunidades indígenas y campesinas (WWF, 2009). Allí se encuentra uno de los ecosistemas de humedal altoandino más importante del suroccidente colombiano, y hace parte de una región prioritaria para la conservación del Piedemonte Amazónico (WWF, 2009). El valle de Sibundoy con el 12,5 %<sup>1</sup> del área ganadera del departamento abastece el 76,5 % de la demanda de leche y derivados lácteos del Putumayo. El 85 % de su población (29.325 habitantes) está representado por comunidades campesinas e indígenas Inga y Kamëntsá, del cual 78,9 % trabaja en la producción lechera (Corpoamazonia, 2009) (Figura 1).

Los principales procesos de transformación en el valle de Sibundoy han sido el desarrollo de la ganadería a través del establecimiento de un distrito de drenaje y el cambio en la tenencia de tierra y la desecación de humedales. Por la importancia de la actividad ganadera en la economía regional y las formas de vida de la población, se hace necesario comprender la relación entre la adecuación del territorio para la

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

<sup>1</sup> Equivalentes a 14.033 ha de las 112.269 ha del total departamental (Corpoamazonia, 2006)

RESUMEN  
PALABRAS CLAVE  
ABSTRACT  
KEY WORDS  
INTRODUCCIÓN  
MARCO CONCEPTUAL  
METODOLOGÍA  
RESULTADOS  
DISCUSIÓN  
AGRADECIMIENTOS  
REFERENCIAS  
SOBRE LOS AUTORES

ganadería y los cambios en la vulnerabilidad y resiliencia social y ambiental. Los eventos extremos del clima en 2010-2011 se constituyen en una oportunidad para entender la relación entre vulnerabilidad y resiliencia. En este trabajo se propone un modelo socioecológico para analizar los estados y trayectorias de cambio ambiental asociados con el desarrollo de los sistemas ganaderos, como base para proponer lineamientos de manejo adaptativo.

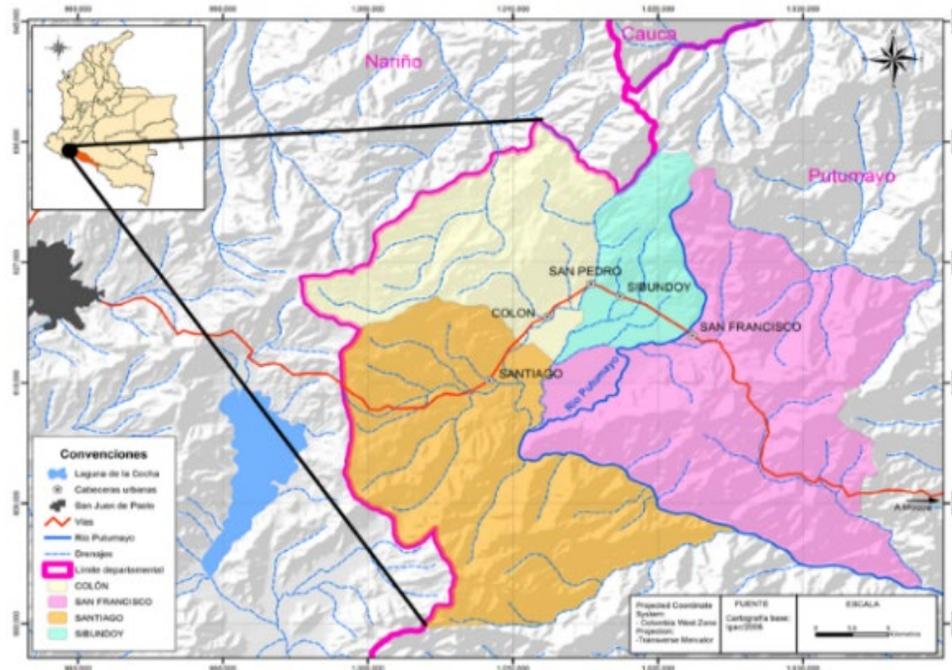


Figura 1. Localización geográfica del valle de Sibundoy en Colombia. Elaboración propia.

## MARCO CONCEPTUAL

### Sistemas socioecológicos (SSE)

En la mirada clásica de la ecología el ecosistema aparece como objeto de lo ecológico, y lo humano como una perturbación de su funcionamiento normal. Hoy se reconoce que lo humano ha sido parte integrante de los ecosistemas, los cuales se pueden entender a través del concepto de sistema socioecológico (SSE) (Holling, 2001). En estos se reconoce que la relación entre el ser humano y la naturaleza se manifiesta no solo como alteración de un sistema biofísico sino como un sistema nuevo con propiedades emergentes de autoorganización, en el cual las variables constitutivas no son ya solamente “biofísicas” o “sociales” sino el resultado de las interacciones entre estas. En este sistema la relación hombre-naturaleza comparte, interviene o interfiere la plataforma común de soporte de procesos y estructuras biofísicas y sociales (López y Montes, 2009) creando nuevos contextos ecosistémicos de interdependencia (Na-

ranjo, 2017). Los SSE tienen controles exógenos y variables internas en lo ecológico y lo social. La conjugación de variables estructurantes lentas y de respuesta rápida, como producto del cambio de su carácter ecológico y la acción humana, son la base de desarrollo del concepto de sistema socioecológico (Chapin *et al.*, 2009) (Figura 2). Los SSE son además sistemas complejos adaptativos (SCA) donde la complejidad emerge de un conjunto de procesos estructurantes que mantienen sus propiedades de autoorganización (Holland, 2005). Entender los sistemas socioecológicos como sistemas complejos adaptativos permite analizar relaciones entre los ecosistemas, sus funciones y el bienestar humano (Holling, 2001).

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

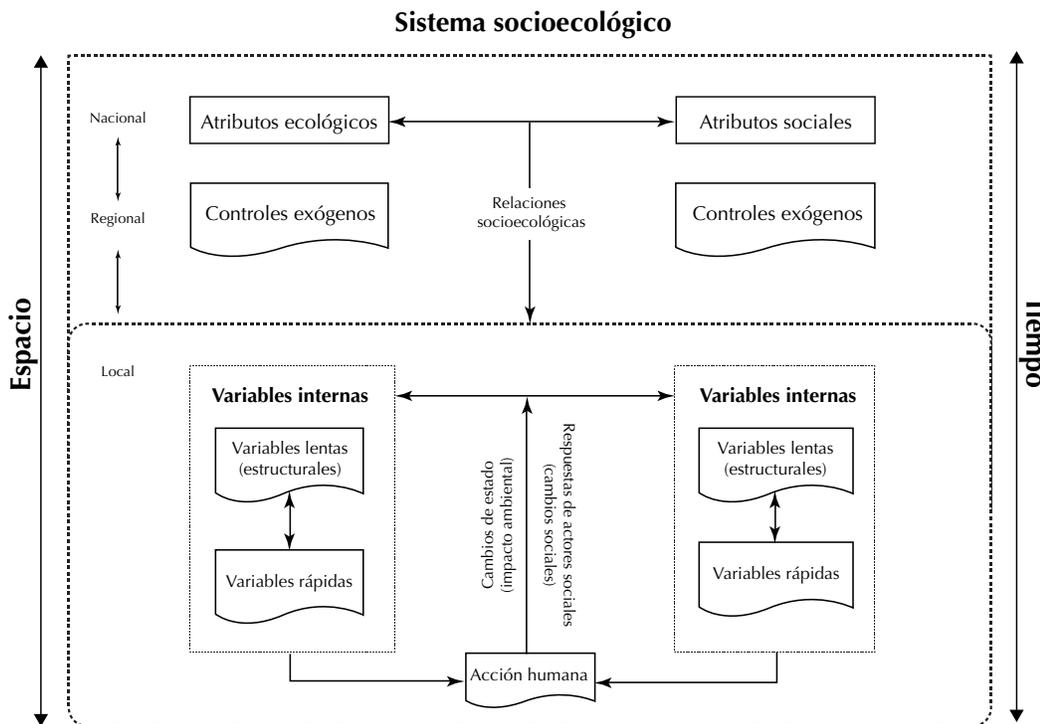


Figura 2. Diagrama conceptual del modelo general de componentes del SSE. De Chapin *et al.*, 2009

## Atributos y relaciones socioecológicas

La identidad socioecológica se define como el conjunto de procesos y relaciones (biofísicas y sociales) cuya interacción le confiere características estables, producto de la relación entre el sistema ecológico y el sistema social (Franco *et al.*, 2012). Históricamente las sociedades transforman el territorio en función de diferentes necesidades que cambian dependiendo del tipo de actores, intereses y de las condiciones biofísicas existentes (Mora, 2016). El paisaje es así producto de la evolución de interacciones complejas entre sus características biofísicas (clima, suelo, biota, etc.)

RESUMEN y humanas (demografía, economía, política, etc.) y cambia en respuesta a factores externos (como el clima o el mercado, por ejemplo) y procesos internos relacionados  
PALABRAS CLAVE (uso del suelo, tenencia de la tierra). La dinámica funcional y evolutiva de un SSE se  
ABSTRACT explica por la combinación de múltiples factores biofísicos y socioeconómicos que  
KEY WORDS se entrelazan (Carpenter y Walker, 2001).

## INTRODUCCIÓN **Variables lentas, relaciones e influencias**

MARCO CONCEPTUAL En los SSE operan variables lentas y rápidas (Reynolds y Stafford, 2002) que son  
METODOLOGÍA las determinantes en la dinámica de los sistemas humano-ambientales (Gunderson y  
RESULTADOS Holling, 2002). Reconocerlas es importante para identificar causas de cambio (Car-  
DISCUSIÓN penter y Walker, 2001).  
AGRADECIMIENTOS Hay cambios que generan transformaciones en su comportamiento, algunas irrever-  
REFERENCIAS sibles, dando lugar a diferentes estados del sistema. Las variables lentas (estructu-  
SOBRE LOS AUTORES rales) definen la vulnerabilidad del SSE ante cambios ambientales, pues sustentan  
procesos y funciones claves que mantienen el sistema operando, es decir le confieren  
resiliencia (Franco *et al.*, 2012). Los cambios en las variables lentas (estructurales)  
son perceptibles en el largo plazo: por ejemplo la oferta hídrica, la composición y  
función de la vegetación o la materia orgánica de los suelos o en plazos cortos por  
transformaciones severas. Las variables rápidas experimentan cambios en corto pla-  
zo, como la productividad, el rendimiento de carne o leche o la rentabilidad anual; y  
también se ven influenciadas por cambio en variables lentas.

## Estados y trayectorias de cambio

Los sistemas pueden tener múltiples estados estables (Carpenter y Walker 2001). Las variables lentas tienen puntos críticos (umbrales) más allá de los cuales el sistema se mueve de su estado inicial a otro nuevo (Reynolds *et al.*, 2007). La capacidad de un sistema para regresar al estado inicial o adaptarse a nuevas condiciones conservando sus propiedades de identidad como respuesta a la perturbación se llama resiliencia (Holling, 1973; Carpenter, 2001). La resiliencia depende del estado intensidad y tipo de disturbio en estrecha relación con la capacidad de sus variables lentas para absorber impactos (Carpenter y Turner, 2000). Cuando hay disminución de resiliencia se incrementan las posibilidades de cambio de estado con condiciones distintas al estado inicial (Gunderson, 2000). Las variables son afectadas por variables lentas y rápidas que operan a otras escalas y conforman el tipo de SSE (Carpenter y Turner, 2000). Conectar entre escalas espaciales y temporales diferentes dimensiones analíticas (ambiental, social, económico, político o cultural) es fundamental para comprender las causas del cambio en un SSE. Si se afectan los procesos de un nivel, el efecto repercute a niveles más altos como más bajos (Carpenter y Turner, 2000). Trabajar con una estructura jerárquica implica buscar explicaciones causales más

allá de los niveles inmediatos (Reynolds *et al.*, 2007). Proyectar en una escala espacio-temporal estos procesos permiten identificar posibles trayectorias de cambio, fundamentales para comprender la tendencia de transformación de las variables lentas que conforman el sistema.

## METODOLOGÍA

Se analizaron las condiciones históricas tanto biofísicas como sociales entre 1980 y 2010, que incidieron en el establecimiento de la actividad ganadera y la transformación en el valle de Sibundoy. La investigación se dividió en tres etapas: etapa 1: análisis del proceso de configuración y transformación histórica de los SSE ganaderos (identidad socioecológica); etapa 2: caracterización de los SSE ganaderos y; etapa 3: análisis de cambios ambientales en el valle de Sibundoy asociados a los SSE ganaderos (1980-2010). En la figura 3, se presenta el marco metodológico. Se caracterizó el funcionamiento de los sistemas ganaderos, identificando variables estructurales, relaciones, procesos, e influencias. Finalmente, se identificaron y analizaron los cambios ambientales que generaron en el valle de Sibundoy (Figura 3).

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

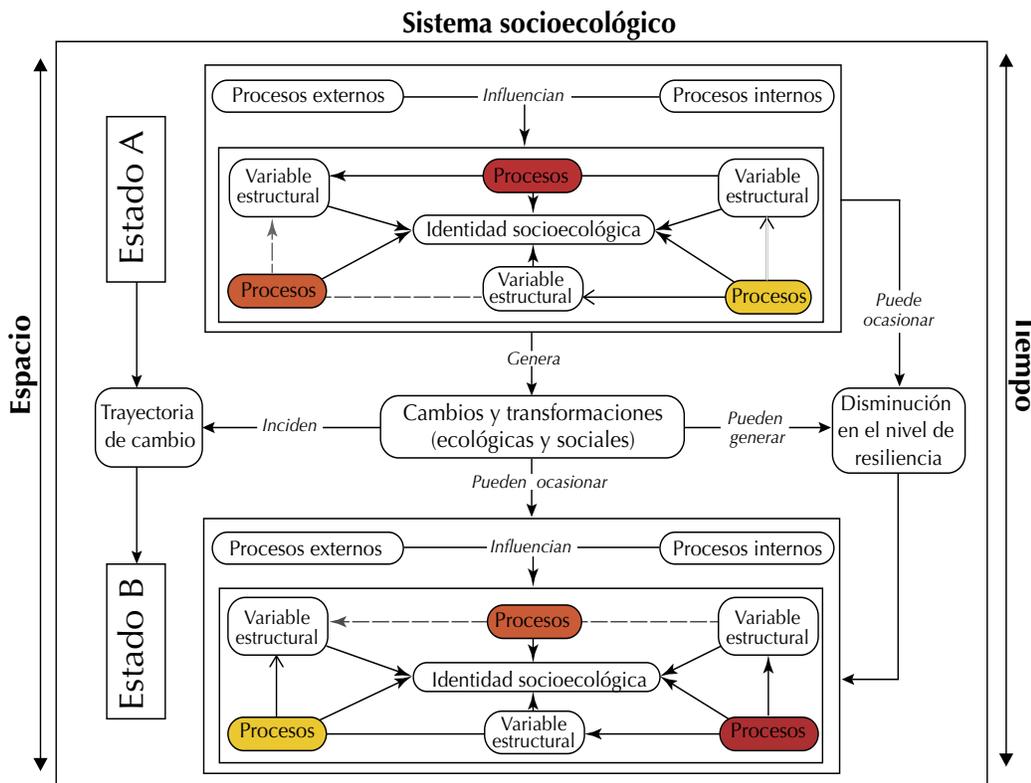


Figura 3. Relaciones entre los principales conceptos que fundamentan la presente investigación.

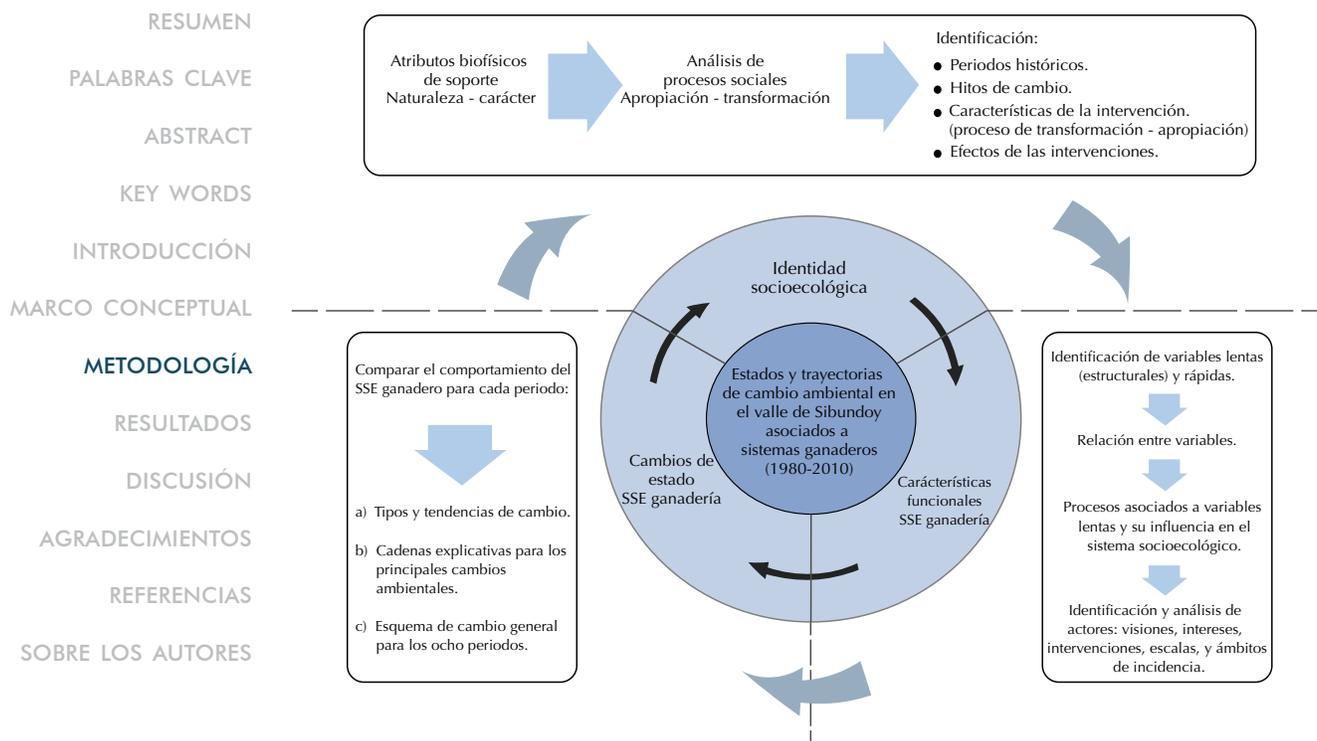


Figura 4. Esquema metodológico.

### Primera etapa de la investigación

Se analizó el proceso de conformación biofísica del valle de Sibundoy y posteriormente, los procesos sociales de ocupación y transformación asociados a sistemas ganaderos. Se consultaron documentos sobre la configuración social, económica y cultural en el valle de Sibundoy (Himat, 1968; Legrand, 1988; Charry, 1991; IGAC, 2008, Gómez y Moreno, 2002; Ingeominas, 2000). También se contó con el apoyo de relatos de habitantes y organizaciones. Se propuso cinco periodos de análisis que incidieron en los cambios estructurales del SSE ganadero que son: época prehispánica; poblamiento colonial (1535-1850); tierras de frontera (quina y caucho) (1850 a 1930); apertura de la vía Pasto-Mocoa (1931 a 1960) y reforma agraria e inicio de construcción del distrito de drenaje (1960 a 1980). En cada uno de estos periodos se identificaron los principales hitos de cambio, el tipo de intervenciones (sistemas de apropiación), sus objetivos, ámbitos espaciales (localización), y efectos acumulativos.

### Segunda etapa de la investigación

Se caracterizaron los SSE para los siguientes periodos: i) 1980-1990: intensificación en obras del distrito de drenaje y disminución de áreas de humedales, ii) 1990-2000:

conflicto armado, “nuevas tierras” e intensificación de la producción ganadera, iii) 2000-2010: cambio de actividad productiva e impactos derivados de la pérdida de resiliencia. En cada uno de ellos se definieron y analizaron las variables estructurales. Se contrastó el comportamiento de la ganadería con el conocimiento actual del territorio a través de entrevistas informales con pobladores locales. Se identificaron las variables estructurales y se analizaron las fuentes de información para su posterior caracterización con un modelo de funcionamiento. Se analizó y comparó el comportamiento de cada proceso a lo largo de los periodos definidos, y se elaboraron matrices que permitieron identificar las variables estructurales que más procesos y relaciones registraron como las que más incidían en el funcionamiento del sistema y la intensidad de esos procesos en cada periodo (rojo=muy fuerte, anaranjado= fuerte, amarillo=débil). La información se expresó gráficamente calculando para cada variable en valores porcentuales que definieron la intensidad de los procesos asociados (porcentajes de amarillos por filas, porcentajes de anaranjados por filas, porcentajes de rojos por filas). Los porcentajes totales para cada clase fueron sumados (Figura 5). Finalmente, se elaboraron las salidas gráficas respectivas como apoyo al proceso de interpretación.

- RESUMEN
- PALABRAS CLAVE
- ABSTRACT
- KEY WORDS
- INTRODUCCIÓN
- MARCO CONCEPTUAL
- METODOLOGÍA**
- RESULTADOS
- DISCUSIÓN
- AGRADECIMIENTOS
- REFERENCIAS
- SOBRE LOS AUTORES

Variables estructurales	Capacidad de drenaje (distrito de drenaje)	Distribución espacial de humedales	"Nuevas tierras" y concentración de propiedad	Oferta hídrica concentración de la propiedad	Cobertura vegetal	Dinámica	Capacidad natural de regulación hídrica	Intereses económicos, políticos - localización estratégica	Identidad cultural ganadera	Regulación climática	Saturación de suelos (capacidad de drenaje)	% de influencia en el SSE (suma de incidencia en el SSE)
Capacidad de drenaje		Disminución de fragmentación		Control superficial de flujo	Pérdida y fragmentación	Intensifica	Cambios estructurales alteran funcionalidad		Dinamiza la consolidación		Cambia cantidad e intensidad del flujo de entrada	15,9
Distribución espacial de humedales	Condiciona su construcción y funcionamiento		Limita ampliación	Control superficial de flujo	Incide en el nivel de intervención y fragmentación		Condiciona	Limita el desarrollo de intervenciones	Factor de cambio en la actividad ganadera SSE		Regula el volumen de agua que entra al suelo	15,9
Nuevas tierras y concentración de propiedad	Necesidad de ampliación y mejoramiento	Disminución y fragmentación			Pérdida y fragmentación	Intensifica	Modifica distribución superficial	Dinamiza procesos de intervención local	Dinamiza la consolidación			13,8

Figura 5. Matriz con variables estructurales según nivel de incidencia y afectación.

RESUMEN **Tercera etapa de la investigación**

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

Se analizó el estado de cambio en los sistemas ganaderos con una “base de datos” de variables, atributos, procesos e influencias. Se identificaron los cambios en las variables estructurales entre diferentes periodos, y posteriormente, se compararon y analizaron sus niveles de variación. En la mayoría de los casos fue posible su cuantificación, en otros se procedió a su análisis cualitativo. Se elaboró una matriz en la cual se calificó por variable y periodo el tipo y tendencia de cambio (Tabla 1).

Tabla 1. Convenciones empleadas para analizar los cambios ambientales.

Tipo	Alto	Tendencia	Alta al incremento	Media al incremento
	Medio		↑ 5	↻ 4
	Bajo		Alta a la disminución	Media a la disminución
			↓ 1	↻ 2

## RESULTADOS

### Atributos biofísicos de soporte

La naturaleza biofísica básica del valle de Sibundoy corresponde con su carácter general de lago de altiplano (Ingeominas, 1998), desarrollado en “una meseta o altiplanicie intermontana elevada, que se encuentra localizada entre dos o más cadenas montañosas recientes, con alturas superiores a los 1800 m s. n. m. (del Terciario o Cenozoico). En una depresión tectónica en una cuenca fluvio-lacustre donde se acumula material que se colmata hasta formar el altiplano” (Ingeominas, 1998). Esta situación generó condiciones particulares para el desarrollo de diversas zonas de vida y la existencia de ecosistemas como páramos y humedales.

### Atributos sociales y procesos de transformación-apropiación:

La dinámica ecológica generó una serie de condiciones (clima, relieve, vegetación, suelos) que permitieron los primeros procesos de poblamiento. La adecuación del territorio se realizó para solventar diferentes necesidades e intereses de cada época y grupo social, en aspectos estudiados por la etnografía y medicina tradicional (Fundación Cultural Putumayo, 2005), el crecimiento demográfico (Himat, 1968; Corpoamazonia, 2006), y la disponibilidad de tierras para procesos de colonización (Legrand, 1988; Charry, 1991; Gómez y Moreno, 2002) entre 1980-2010. En la tabla 2 se presentan los principales hitos en la historia, el tipo de intervenciones según los objetivos sociales, los ámbitos espaciales de las transformaciones y los efectos acumulativos.

Tabla 2. Hitos históricos determinantes en la llegada, consolidación y cambio de sistemas ganaderos. Valle de Sibundoy. Elaboración propia con base en Legrand, 1988; Charry, 1991.

Periodo	Hitos históricos de cambio	Principales características y/o objeto de la intervención	Efectos de las intervenciones
Época Prehispánica. 1000-1534	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Primer evento de migración de comunidades cazadoras-recolectoras, agricultoras y ceramistas del imperio Inca.</li> <li>- Transformaciones en el paisaje: "Tambos" y "callejones"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Obtención de alimento</li> <li>-Incremento de áreas agrícolas zona media del valle.</li> <li>-Adecuación del relieve para estabilidad de cultivos y condiciones de vivienda -Tambos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pérdida de cobertura arbórea</li> <li>-Modificación de pendientes con incidencia en los sistemas de drenaje</li> <li>-Mayor aporte de sedimentos a los humedales</li> </ul>
Poblamiento hispánico. 1535-1850	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Introducción de la ganadería</li> <li>-Conformación centros poblados</li> <li>-Despojo y apropiación de tierras</li> <li>-Llegada de doctrineros Franciscanos e implementación encomienda</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Estrategia de apropiación de tierras y sujeción mano de obra</li> <li>-Incrementa y diversifica producción agropecuaria</li> <li>-Implementan nuevos códigos culturales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Adecuar áreas ganaderas en zonas bajas</li> <li>-Deforestación y construcción de zanjas y canales de desagüe (humedales)</li> <li>-Cambia uso del suelo y estructura de tenencia de la tierra</li> <li>-Cambia la distribución espacial de la población.</li> </ul>
Finales siglo XIX e inicios siglo XX 1851-1930	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Tierras de frontera (Ley 61 de 1874)</li> <li>-Llegada misión Capuchina: conformación centros poblados.</li> <li>-Construcción de zanjas y canales de desagüe en áreas de humedales</li> <li>-Introducción de especies mejoradas de ganado</li> <li>- Apertura construcción camino de herradura Pasto-Mocoa (120 km)</li> <li>- Declaración del valle de Sibundoy como terreno baldío (Ley 106 de 1913)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Incrementar las áreas productivas</li> <li>-Asegurar la soberanía nacional</li> <li>-Consolidar el valle de Sibundoy como un centro abastecedor de materias primas y alimentos para el sur del país</li> <li>-Impulsar su "desarrollo", a través, de la entrega de tierras para su producción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mayor presión demográfica</li> <li>-Incremento en la demanda de recursos naturales (alimentos e insumos para construcción)</li> <li>-Pérdida de cuerpos de agua y biodiversidad</li> <li>-Sobreexplotación en el uso de la tierra</li> <li>-Cambios en la tenencia de la tierra</li> <li>-Aumento del impacto ambiental por la ganadería (suelos y aguas)</li> <li>-Mayor flujo poblacional y de maquinaria.</li> </ul>
Mediados siglo XX 1931-1960	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Guerra con el Perú</li> <li>-Creación de la Caja Agraria y fomento del crédito para actividades ganaderas</li> <li>-Inicios actividad minera (cal, teja y ladrillo)</li> <li>-Continua con el proceso de construcción de zanjas de drenaje</li> <li>-Titulaciones a pueblos indígenas</li> <li>-Conflictos por tenencia de la tierra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ampliación y mejoramiento de la vía Pasto-Mocoa</li> <li>-Fomento a la producción agropecuaria, a través, del crédito</li> <li>- "Despensa agrícola y pecuaria", como centro económico (mercado y servicios)</li> <li>-Reivindicar derechos de propiedad a pueblos indígenas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mayor intervención sobre humedales</li> <li>-Intensificación en la producción, y ampliación de áreas agropecuarias</li> <li>-Tecnificar la producción (pequeña agroindustria lechera)</li> <li>-Cambio en el régimen de tenencia de la tierra</li> <li>-Se empieza a consolidar el latifundio (predios mayores a 5 ha)</li> <li>-Pérdida acelerada de áreas de humedales- impacto ecológico</li> <li>-Incremento en la demanda de B y S ambientales.</li> </ul>
Siglo XX: 1961-1980	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Reforma agraria</li> <li>-INCORA reglamenta la construcción del distrito de drenaje (8500 ha inundables)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ampliación de las áreas de latifundio</li> <li>-Adecuar zonas inundadas (humedales) para procesos productivos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Cambio en el régimen de tenencia de la tierra.</li> <li>-Se empieza a consolidar el latifundio (predios mayores a 5 ha)</li> <li>-Pérdida acelerada de áreas de humedales- impacto ecológico</li> <li>-Incremento en la demanda de B y S ambientales.</li> </ul>

RESUMEN **Variables estructurales, procesos, influencias y actores en SSE ganaderos**

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

Para el SSE ganadero se identificaron 11 variables estructurales (Tabla 3). Entre cada una de estas variables existe un alto grado de interdependencia. Ninguna variable puede ser analizada sin considerar su relación con las demás. Aunque, la figura 6 solo muestra relaciones entre variables vecinas, es fundamental establecer que cada una tiene características propias y solo en la medida en que se interrelacionen unas con otras es posible comprender el funcionamiento del SSE ganadero.

Tabla 3. *Conceptos y enfoque en variables estructurales. Sistema socioecológico ganadero.*

Variable estructural	Concepto - enfoque
Regulación climática	Conjunto de condiciones climáticas (temperatura, precipitación, humedad relativa) que condicionan y controlan procesos biofísicos y ecológicos. Sus cambios pueden desencadenar alteraciones en las condiciones naturales y modificar diferentes escalas de la actividad humana
Oferta hídrica	Disponibilidad de agua que resulta del ciclo hidrológico: precipitación, evapotranspiración real, infiltración y escorrentía
Capacidad natural de regulación hídrica	Es la capacidad de un territorio para captar, distribuir y evacuar el agua de forma natural
Capacidad de drenaje (distrito de drenaje)	Conjunto de estructuras para captar y distribuir el flujo natural del agua modificando su comportamiento superficial. La capacidad de drenaje está asociada al volumen de agua que puede recibir, distribuir y evacuar de manera controlada, evitando desbordamientos e inundaciones
Nuevas tierras" y concentración de la propiedad	Nuevas áreas que se han generado producto de la desecación de los humedales. La concentración de la propiedad está asociada a la cantidad de tierra en manos de un grupo pequeño de propietarios
Distribución espacial de humedales	Extensión y grado de fragmentación de los ecosistemas de humedales y su variación espacio-temporal
Cobertura vegetal	Capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomasa con diferentes características fisonómicas y ambientales, desde pastizales hasta áreas cubiertas por bosques naturales. Incluye la biomasa asociada a pastos y cultivos
Saturación de suelos (capacidad de drenaje)	Estado hídrico del suelo. Contenido de agua o humedad en poros del suelo, el suelo saturado se caracteriza por tener una matriz porosa llena por algún fluido. Este fluido normalmente es agua (Reid, 1993). La capacidad de drenaje tiene que ver con su mayor o menor rapidez o facilidad para evacuar el agua por escurrimiento superficial y por infiltración
Intereses económicos, políticos (localización estratégica)	Conjunto de actores y visiones sobre un territorio específico. Se encuentran a escalas distintas (global, nacional, regional y local) e influyen en el tipo de intervenciones y transformaciones del paisaje
Dinámica demográfica:	Es el proceso de crecimiento de la población asociada a causas naturales y procesos migratorios
Identidad cultural ganadera	Conjunto de usos y costumbres asociadas a la producción ganadera. Incide en el nivel de organización social, dinámica económica, e influye en el establecimiento de formas específicas de uso y manejo de los recursos naturales



Figura 6. Variables estructurales del sistema socioecológico ganadero. Los tonos establecen la escala. Entre más oscuro el recuadro, la variable es más local. Categorías: global, regional, local.

En la Tabla 4 se presentan el conjunto de variables e influencias recíprocas en el ámbito de lo socioecológico.

Tabla 4. Variables estructurales y relaciones socioecológicas en sistemas socioecológicos ganaderos. Elaborado a partir de la metodología definida por Andrade, et al., 2012. \*RN= recursos naturales, SG= sistemas ganaderos.

Variables		Procesos asociados	Influencias de lo ecológico en lo social	Influencias sociales en lo ecológico	Interdependencias como sistema socioecológico
Clima	Regulación climática	Régimen de lluvias y condiciones de temperatura	Determinante de la adaptación y adecuación de SG	Posibles alteraciones de patrones micro-climáticos ( balance hídrico-humedad)	Dependencia del sistema ganadero ante variaciones climáticas
Hidrología	Oferta hídrica	Suministro de agua -Desarrollo del suelo -Erosividad sedimentación	Determina la disponibilidad de agua para usos humanos, y establecimiento de actividades productivas	Las intervenciones humanas sobre el recurso agua (oferta hídrica y distribución) ha modificado su circulación superficial, controlando sus flujos y “expulsándola” del ecosistema (distrito de drenaje)	La identidad socioecológica de los SG, depende de la modificación de los procesos hidrológicos
	Capacidad de drenaje (distrito de drenaje)	Condiciones de circulación de los flujos de agua en el territorio, estructuras de direccionamiento, modificación del flujo superficial			
	Distribución espacial (humedales)	Comportamiento espacio-temporal de las áreas de humedales			

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

Variables		Procesos asociados	Influencias de lo ecológico en lo social	Influencias sociales en lo ecológico	Interdependencias como sistema socioecológico
Suelos	Saturación de suelos (capacidad de drenaje)	Saturación y subsidencia del suelo	Incide en el uso del suelo, y establecimiento de actividades productivas	Detonante de cambios físico-químicos y alteraciones en la capacidad de los suelos para sostener sistemas ganaderos	La naturaleza de los suelos está altamente influenciada por cambio en capacidad natural de regulación hídrica y aumento e intensificación del área ganadera
Geomorfología	Capacidad natural de regulación hídrica	Capacidad natural de captar, distribuir y evacuar agua	Detonante de procesos que afectan el SSE: control de inundaciones	Transformación de los grupos humanos en el territorio incide en su capacidad de regulación	La modificación del paisaje genera cambios en las condiciones naturales para el desarrollo de SG
Cobertura vegetal		Oferta de forrajes aptos para consumo ganadero	Suministro de insumos básicos para desarrollo de actividades ganaderas. Incide en el tipo de SG.	Alteraciones funcionales en la dinámica biofísica del territorio.	Intervenciones humanas que generan cambios en la oferta de coberturas naturales necesarias para el funcionamiento del sistema
		Nivel de aprovisionamiento de otros RN para abastecer demanda Comportamiento espacial de las áreas en uso ganadero	Oferta de áreas para su adecuación como zonas productivas	Sus condiciones de estado están influenciadas por la demanda de mayores áreas para producción	
Intereses económicos, políticos –localización estratégica- nacional- regional		Dinámica histórica de ocupación del territorio Visiones nacionales y regionales del territorio	Condiciones biofísicas particulares inciden en procesos de ocupación y transformación territorial	Transformación del paisaje. Procesos de apropiación humana que desestabilizan proceso ecológicos	La construcción y modificación de la identidad socioecológica dependen altamente del tipo de visiones e intereses en el territorio
Identidad cultural ganadera		Usos y costumbres tradicionales asociadas	Las condiciones biofísicas inciden en el tipo de usos y costumbres culturales	Usos y costumbres asociados a ganadería inciden en el nivel de cambio ecológico	Los usos y costumbres son parte de la construcción de identidad socioecológica. La dinámica de grupos humanos y el estado ecológico del sistema incide en su cambio.
Dinámica demográfica		Aumento demográfico, comportamiento espacio-temporal	Condiciones biofísicas inciden en la llegada e incremento de población.	El incremento poblacional demanda de tierras e intensifica su producción. También, condiciona el nivel de intervención y transformación ambiental	Las características biofísicas inciden en establecimiento de grupos humanos. Con el tiempo, demandan tierra para solventar crecientes necesidades productivas. Modificando el paisaje, estableciendo sistemas específicos de tenencia.
"Nuevas tierras" y concentración de propiedad		Régimen de propiedad existente	La oferta de tierra incide en su nivel de fragmentación (tenencia de la tierra)		

\*RN= recursos naturales, SG= sistemas ganaderos.

## Caracterización funcional de los sistemas socioecológicos ganaderos

1980-1990: en este periodo aparecen nuevos actores y se acentúa la adecuación a los requerimientos de la ganadería, que se convierte en la actividad predominante en el valle de Sibundoy. Las variables estructurales se relacionan, constituyendo un estado funcional de sistema (Figura 7). La relación porcentual de dependencia de las variables se presenta en la Figura 7.

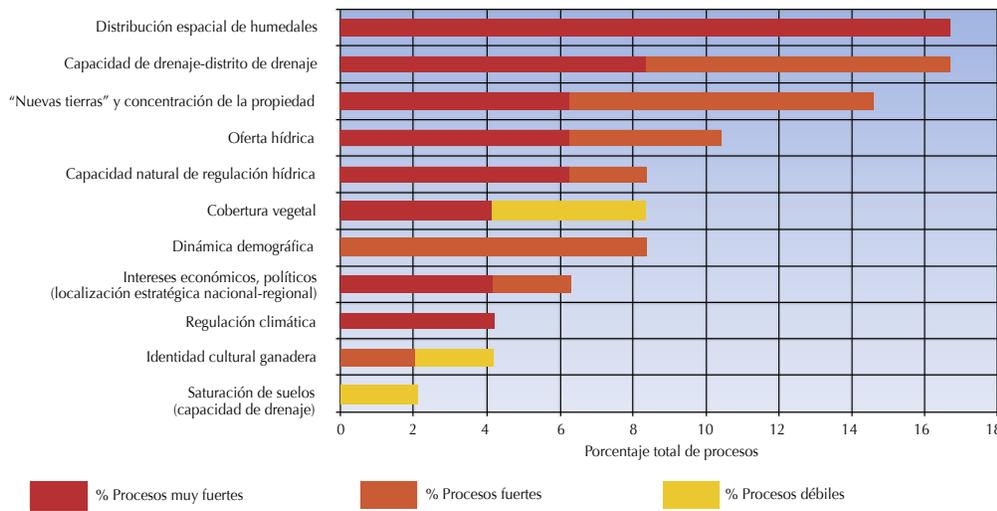


Figura 7. Nivel de influencias en variables estructurales, 1980-1990.

La Distribución espacial de humedales es la variable estructural con más influencia en el SSE (16,7 %) al influir fuertemente en 8 de las 10. Le sigue la Capacidad de drenaje-distrito de drenaje, "Nuevas tierras" y concentración de la propiedad, y en el cuarto lugar, la oferta hídrica con el 10,4 %. Las variables que menos influencia tienen son Identidad cultural ganadera con un 4,2 % y Saturación de suelos (capacidad de drenaje) con 2,1 %.

1990-2000: en este periodo los sistemas ganaderos se consolidan como la actividad productiva dominante del valle de Sibundoy. Se amplía el área ganadera que deviene la principal actividad económica y se generan conflictos por las nuevas tierras y el acceso al mercado. Aparecen problemas ambientales que afectan la estabilidad del sistema transformado.

En este periodo la totalidad de variables están en categorías de relación muy fuertes (rojo) y fuertes (anaranjado), y no se presentan procesos en categoría débil (amarillo); las variables Capacidad de drenaje-distrito de drenaje y Distribución espacial de humedales con 15,9 %, están influenciando a un mayor número de variables estructurales. Las variables "Nuevas tierras" y concentración de la propiedad (13,8 %), y las que menos influencia tienen son Regulación climática y Saturación de suelos-capacidad de drenaje (3,9 %) (Figura 8).

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

RESUMEN  
 PALABRAS CLAVE  
 ABSTRACT  
 KEY WORDS  
 INTRODUCCIÓN  
 MARCO CONCEPTUAL  
 METODOLOGÍA  
 RESULTADOS  
 DISCUSIÓN  
 AGRADECIMIENTOS  
 REFERENCIAS  
 SOBRE LOS AUTORES

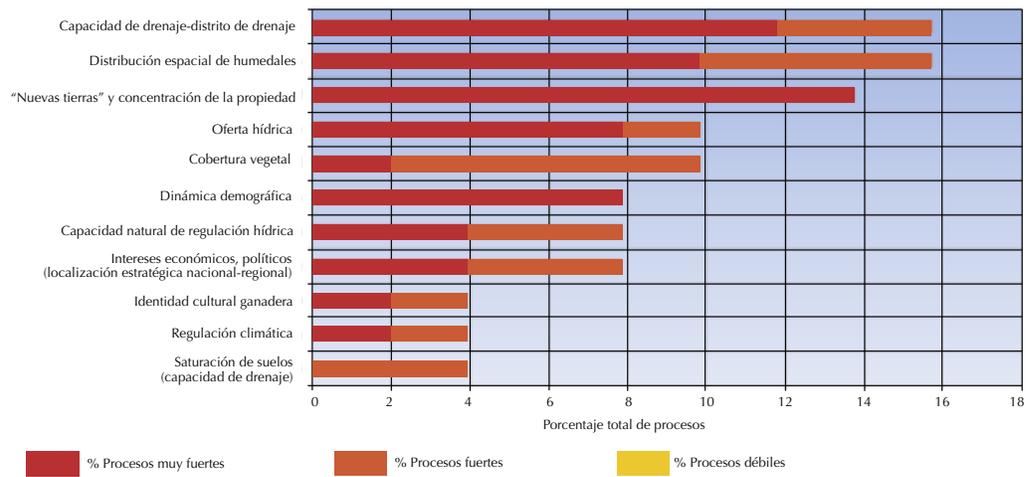


Figura 8. Nivel de influencias en variables estructurales, 1980-1990.

2000-2010: es un periodo de disminución de los sistemas ganaderos, producto de impactos acumulados que se manifiesta en problemas que afectan la actividad productiva, como la pérdida de fertilidad de los suelos, llevando a estos sistemas a un estado progresivo de sustitución por actividades agrícolas. El sistema biofísico, incluyendo las obras de adecuación realizadas, comienza a presentar problemas que afectan el conjunto de procesos ambientales, sociales, económicos y culturales. Para este periodo cabe destacar la estrecha relación entre las variables Capacidad de drenaje-distrito de drenaje y Distribución espacial de humedales, con un 15,7 % de las relaciones entre las variables con influencia en el funcionamiento del sistema. Las 2 variables que menos influencia tienen son Regulación climática e Identidad cultural ganadera con un 3,9 % (Figura 9).

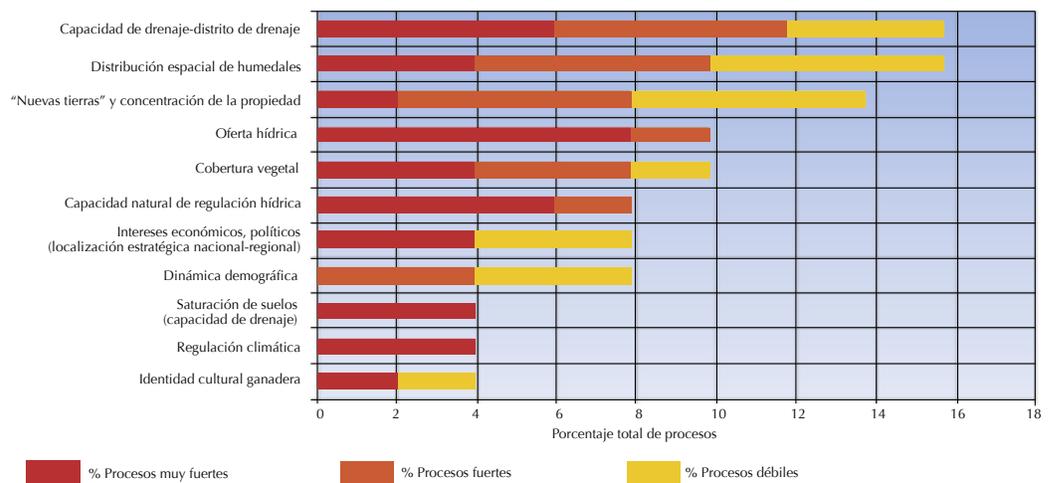


Figura 9. Nivel de influencias en variables estructurales, 2000-2010.

## Estados y procesos de cambio estructural para cada periodo

En la Tabla 5 se presenta una síntesis de los procesos y variables que caracterizaron el sistema a lo largo de los tres periodos analizados.

Tabla 5. *Hitos históricos determinantes en la consolidación y cambio de sistemas ganaderos en el valle de Sibundoy*

Periodo	Hitos históricos de cambio	Principales características y/o objeto de la intervención	Efectos de la intervención
1980-1990	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Intensificación en las obras y puesta en funcionamiento del distrito de drenaje.</li> <li>-Acelerada disminución de humedales</li> <li>-Aparecen “nuevas tierras” que progresivamente empiezan a ser adecuadas con fines productivos</li> <li>-Fuerte alteración de la capacidad natural de regulación hídrica</li> <li>-Incrementan procesos migratorios e intensifica la dinámica poblacional</li> <li>-Aumento en la demanda de leche y derivados lácteos de zonas bajas del departamento del Putumayo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Comienza un acelerado proceso de consolidación de la actividad ganadera. Se incrementa el área</li> <li>-Cambio en el sistema de tenencia de la tierra. Se empieza a consolidar la gran propiedad en la parte baja del valle</li> <li>-Sistema de circulación hídrica altamente dependiente de las condiciones de estado y capacidad de carga del distrito de drenaje</li> <li>-“Nuevas tierras” con altos niveles de saturación</li> <li>-Cambio en usos y costumbres tradicionales. La modificación del referente cultural biofísico y el crecimiento de la ganadería inciden en este proceso</li> <li>-Nuevos actores sociales con visiones e intereses de tipo económico y productivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Alteración de coberturas naturales, cambio en estructura físico-química del suelo, y pérdida en capacidad natural de regulación hídrica</li> <li>-Pérdida de humedales y de conectividad hidrológica</li> <li>-Incremento en la demanda de recursos naturales y elevados índices de deforestación</li> <li>-Incremento de la oferta de mano de obra</li> <li>-Ampliación y densificación de áreas urbanas</li> <li>-Cambios culturales y fuertes conflictos socioecológicos por tipo de visión. Por un lado, la percepción de un territorio con un alto valor ambiental y cultural a nivel local, y por otro, un área para adecuarse productivamente y contribuir al desarrollo económico del departamento</li> <li>-Conflictos por el acceso y tenencia de la tierra entre campesinos e indígenas locales y colonos</li> <li>-Protestas para impedir ampliación del distrito</li> </ul>
1990-2000	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Acelerada disminución de humedales.</li> <li>-Ampliación y mantenimiento (limpieza y dragados intermitentes) del distrito de drenaje</li> <li>-A finales del periodo, el distrito evidencia problemas estructurales que afectan su capacidad de carga (inundaciones-sedimentación de canales)</li> <li>-Continúa el aumento en la demanda de leche y derivados lácteos de zonas bajas del departamento del Putumayo</li> <li>-Intensificación en los procesos de compra, adecuación de tierras e incremento en la producción ganadera</li> <li>-Nacimiento de una pequeña industria láctea</li> <li>-Conflicto armado-Plan Colombia-desplazamientos, extorsiones-Abandono de fincas al finalizar el periodo</li> <li>-Masiva llegada de nuevos actores y el cambio de visión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Consolidación de la actividad ganadera</li> <li>-Compra de tierra por grandes propietarios. La producción ganadera se convierte en monopolio de latifundistas</li> <li>-Se tecnifica la producción. Fomento de la agroindustria</li> <li>-Consolidación de cadenas de comercialización</li> <li>-Introducción de especies de pasto para mejorar calidad del ganado y derivados</li> <li>-Posicionamiento de este territorio como la despensa agrícola para el Putumayo</li> <li>-Auge económico va de la mano con la llegada de grupos armados ilegales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Inundaciones al final del periodo, sedimentación de canales</li> <li>-Conflicto por uso del suelo, pérdida de biodiversidad, alteración en la capacidad natural de regulación hídrica, disminución de humedales</li> <li>-Sistema socioecológico altamente dependiente del distrito de drenaje</li> <li>-Vulnerable ante cambios en el régimen hidrológico</li> <li>-Auge económico, mayor dinámica y dependencia económica, conformación de elites ganaderas</li> <li>-Monocultivo de pastos, sustitución masiva de cultivos tradicionales</li> <li>-Incrementa la dinámica poblacional. La necesidad de mano de obra (interna o externa), genera fuertes conflictos sociales</li> <li>-Conflictos socioecológicos asociados al control y manejo de la producción ganadera</li> <li>-Identidad socioecológica fuertemente ligada a la producción ganadera</li> <li>-Disputa de grupos armados por control territorial</li> </ul>

<p>2000-2010</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Se detiene la ampliación del distrito y las acciones se focalizan en ampliar su capacidad de carga (constantes dragados)</li> <li>-Problemas de inundaciones.</li> <li>-Humedales altamente reducidos y fragmentados</li> <li>-Disminución en las áreas ganaderas y sustitución por cultivos como fríjol</li> <li>-Apoyo y fortalecimiento a los procesos de conservación local. Área de importancia mundial para la conservación</li> <li>-Proyecto: Variante San Francisco-Mocoa. IIRSA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Excesivos dragados para aumentar la capacidad hídrica de los cauces y canales</li> <li>-Presión de grandes propietarios por mantener funcionando el distrito y no afectar su producción</li> <li>-Se declara la zona como un área de interés mundial para la conservación (valle de Sibundoy como parte del Piedemonte Amazónico</li> <li>-Pérdida de rentabilidad de la ganadería.</li> <li>-Altos costos de transporte asociados al mal estado de la vía San Francisco-Mocoa. La demanda se traslada al Huila y Cauca. La pavimentación de la vía Pitalito-Mocoa favorece esta condición</li> <li>-Compra de tierra en zonas altas como refugio para ganado en épocas de inundación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Inundaciones recurrentes, saturación de suelos.</li> <li>-Incremento en el conflicto por uso del suelo, pérdida de biodiversidad, alteración en la capacidad natural de regulación hídrica</li> <li>-Baja calidad de carne, leche y derivados</li> <li>- Altamente vulnerable ante cambios en el régimen hidrológico</li> <li>-Incrementa el uso de agroquímicos</li> <li>-Fomento a procesos de reconversión ganadera</li> <li>-Crisis social por la baja rentabilidad ganadera</li> <li>-Proceso locales de conservación liderados por ONG, entidades ambientales y comunidad local</li> <li>-Disminución en el valor de la tierra. Fragmentación de la propiedad</li> <li>-Sistema socioecológico en proceso de cambio. Ganadería-sustitución productiva y procesos de conservación</li> <li>-Tensión socioecológica: resistencia al cambio de actividad ganadera Vs. Procesos de conservación y sustitución de áreas ganaderas</li> </ul>
------------------	--	--	---

### Síntesis de los cambios en las variables estructurales

Las variables estructurales que han condicionado a lo largo del tiempo el funcionamiento de los sistemas ganaderos han estado en permanente cambio en los periodos analizados. Si bien su comportamiento y sus impactos han sido diferenciales, sus efectos se han venido acumulando progresivamente, y el valle de Sibundoy ha venido pasando por diferentes estados (Figura 10). Algunas variables han venido progresivamente disminuyendo en la relación entre pérdida de área de humedales y disponibilidad de nuevas tierras y distrito de drenaje. Desde los primeros intentos de desecación, la capacidad natural de regulación hídrica ha venido disminuyendo. El distrito de drenaje modificó la distribución superficial del agua, se controlaron los flujos, se interrumpió la entrada de agua al valle. Los cambios en la actividad ganadera se presentan en las Tablas 6, 7 y 8. Como resultado, el valle de Sibundoy ha venido disminuyendo su resiliencia, especialmente, en su capacidad natural para regular crecidas e inundaciones. Por otro lado, también han venido cambiando las relaciones sociales, económicas, políticas y culturales. Al inicio la lucha de pobladores por defender sus tierras ante la conquista y posteriormente la necesidad de mantener actividades productivas tradicionales, dieron paso a un nuevo interés por detener los altos niveles de transformación ambiental. La transformación ha generado un sistema altamente tensionado en lo ecológico y lo social.

En la Figura 10 se presentan las tendencias de cambio de todas las variables estructurales en el periodo estudiado, ilustrado en las figuras 14, 15, 16, 17, 18 y 19. Como se puede observar, las variables Concentración de la propiedad, Dinámica demográfica, Intereses económicos y políticos e Identidad cultural ganadera sufrieron importantes

modificaciones que afectaron el SSE. En síntesis el conjunto de cambios ha dejado una huella en el paisaje y transformaciones en los diferentes tipos de cobertura y el uso del suelo. El cambio de coberturas ha permitido identificar espacialmente los cambios (1980, 1990, 2000, 2010) y se ha convertido en indicador de las condiciones de estado y trayectoria del valle de Sibundoy. De manera comparativa, a continuación se presentan las condiciones de estado y el comportamiento de las variables estructurales para cada uno de los periodos analizados.

- RESUMEN
- PALABRAS CLAVE
- ABSTRACT
- KEY WORDS
- INTRODUCCIÓN
- MARCO CONCEPTUAL
- METODOLOGÍA
- RESULTADOS
- DISCUSIÓN
- AGRADECIMIENTOS
- REFERENCIAS
- SOBRE LOS AUTORES

Variables estructurales		Periodos		
		1980-1990	1991-2000	2001-2010
Regulación climática		↻	↑	↑
Oferta hídrica		↻	↑	↑
Capacidad de drenaje (distrito de drenaje)	Construcción-ampliación-mantenimiento	↑	↑	↻
	Capacidad de carga	↻	↻	↓
Distribución espacial de humedales		↓	↓	↓
"Nuevas tierras" concentración de la propiedad		↻	↑	↻
Cobertura vegetal	Vegetación natural	↓	↓	↓
	Área ganadera	↑	↑	↓
Saturación de suelos (capacidad de drenaje)		↻	↑	↻
Capacidad natural de regulación hídrica		↓	↓	↓
Intereses económicos, políticos (localización estratégica nacional-regional)		↻	↻	↑
Dinámica demográfica		↻	↻	↻
Identidad cultural ganadera		↻	↑	↓

Tipo de cambio	Alto		Medio		Bajo			
Tendencia de cambio	Alta al incremento	↑	Media al incremento	↻	Alta a la disminución	↓	Media a la disminución	↻

Figura 10. Tipos y tendencia de cambio en variables estructurales.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

**RESULTADOS**

DISCUSIÓN

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES



Figura 11. Periodo 1: 1980-1990. Intervención sobre humedales y cambio de flujo. Incoder, 2008. Izq. Drenaje de humedales 1989. Der. Cambios de curso salida de humedales 1990.



Figura 12. Periodo 2: 1990-2000. Canales del distrito de drenaje y área drenada. Incoder, 2008. Izq. Canal A capacidad al máximo en 1998. Der. Área drenada con ganadería extensiva en 1999.



Figura 13. Periodo 2: 2000-2010. Incoder, 2008. Izq. Niveles de sedimentación en canales. Der. Desborde de canales.

Tamaño del predio	Número de predios	Número de cabezas de ganado	Área en pastos (ha)	Capacidad carga cabezas/ha	Producción litros/día	Producción litros por cabeza de ganado
Menor a 1 ha	1463	78	488	0,16	248	3,18
Entre 1 y 5 ha	780	105	915	0,11	593	5,65
Entre 5 y 20 ha.	82	267	1584	0,17	1374	5,15
Total	235	450	2987	0,15	2215	4,92

Datos figura 6: periodo 1: 1980-1990. Variables productivas de referencia de sistemas socioecológicos ganaderos 1980-1990. Umatas<sup>2</sup> municipios del valle de Sibundoy. IGAC, 2006; Coganasis<sup>3</sup>, 2010.

2 Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria.  
3 Comité de Ganaderos de Puerto Asís.

Tamaño del predio	Número de predios	Número de cabezas de ganado	Área en pastos (ha)	Capacidad carga cabezas/ha	Producción litros/día	Producción litros por cabeza de ganado
Menor a 1 ha	4836	103	274	0,38	392	3,81
Entre 1 y 5 ha	3284	704	1045	0,67	3925	5,58
Entre 5 y 20 ha.	420	2629	6659	0,39	16.492	6,27
Total	8540	3436	7549	0,46	20.809	6,06

Datos figura 7: periodo 2: 1990-2000. Variables productivas de referencia en sistemas socioecológicos de ganaderos 1990-2000. Umatas municipios del valle de Sibundoy. IGAC, 2008; Coganasis, 2010.

Tamaño del predio	Número de predios	Número de cabezas	Área en pastos (ha)	Capacidad carga cabezas/ha	Producción litros/día	Producción litros por cabeza de ganado
Menor a 1 ha	3687	184	488	0,38	732	3,98
Entre 1 y 5 ha	10.837	934	1919	0,49	2843	3,04
Entre 5 y 20 ha.	149	1983	2221	0,89	4925	2,48
Total	14.673	3101	4628	0,67	8500	2,74

Datos figura 8: periodo 2: 2000-2010. Variables productivas de referencia sistemas socioecológicos ganaderos 2000-2010. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural municipios del valle de Sibundoy. IGAC, 2006; Coganasis, 2010.

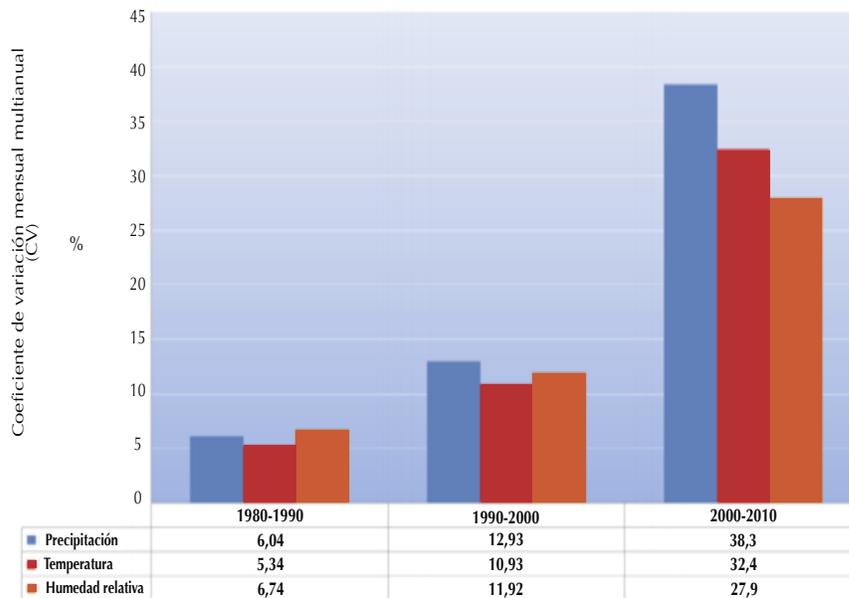


Figura 14. Variabilidad climática y el evento extremo.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

RESUMEN  
 PALABRAS CLAVE  
 ABSTRACT  
 KEY WORDS  
 INTRODUCCIÓN  
 MARCO CONCEPTUAL  
 METODOLOGÍA  
**RESULTADOS**  
 DISCUSIÓN  
 AGRADECIMIENTOS  
 REFERENCIAS  
 SOBRE LOS AUTORES

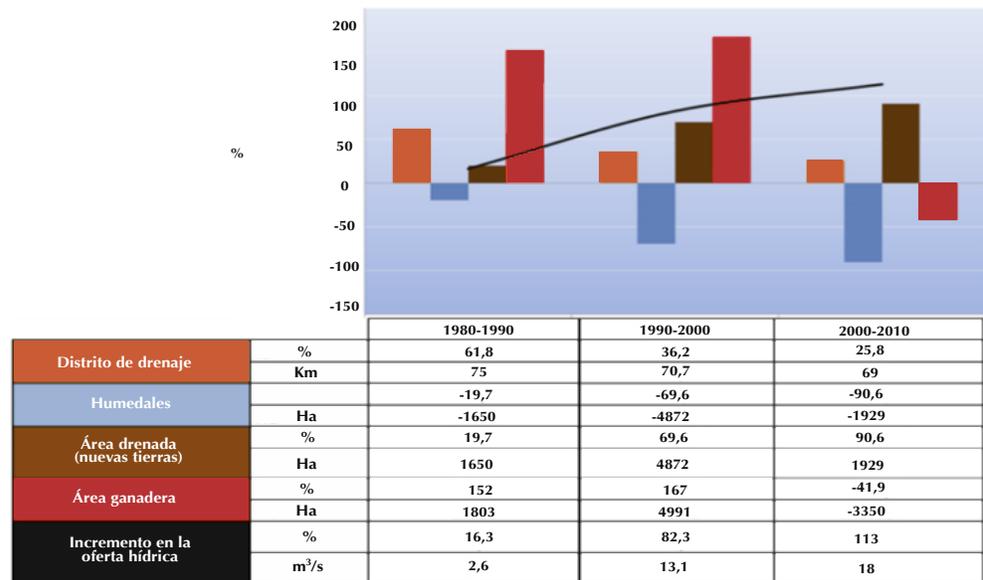


Figura 15. Cambios en variables estructurales asociadas al cambio en la capacidad natural de regulación hídrica.

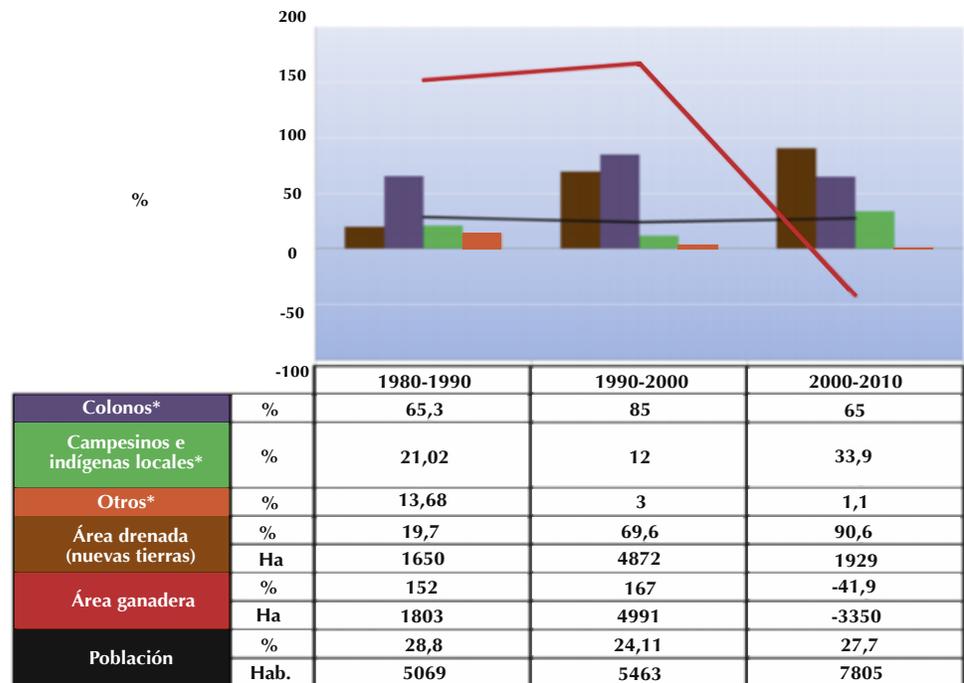


Figura 16. Cambios en variables estructurales asociadas a cambio en tenencia de la tierra.

Variables estructurales	Epoca pre-hispánica	Poblamiento Hispánico (1535 – 1850)	Quina, Caucho y tierras de frontera (1850 a 1930)	Apertura de la vía Pasto-Mocoa (1931 a 1960)	Reforma agraria e inicio de la construcción del distrito de drenaje a 1980	Intensificación y disminución de áreas de humedales (1980-1990)	Conflicto armado, compra de tierras e intensificación en la producción ganadera (1990-2000)	Problemas de inundaciones, disminución de áreas ganaderas y procesos de conservación
Regulación climática								
Oferta hídrica								
Capacidad natural de regulación hídrica								
Capacidad de drenaje (distrito de drenaje)								
Distribución espacial de humedales								
"Nuevas tierras" y concentración de la propiedad								
Cobertura vegetal								
Saturación de suelos (capacidad de drenaje)								
Dinámica demográfica								
Identidad cultural ganadera								
Intereses económicos, políticos (localización estratégica nacional-regional)								

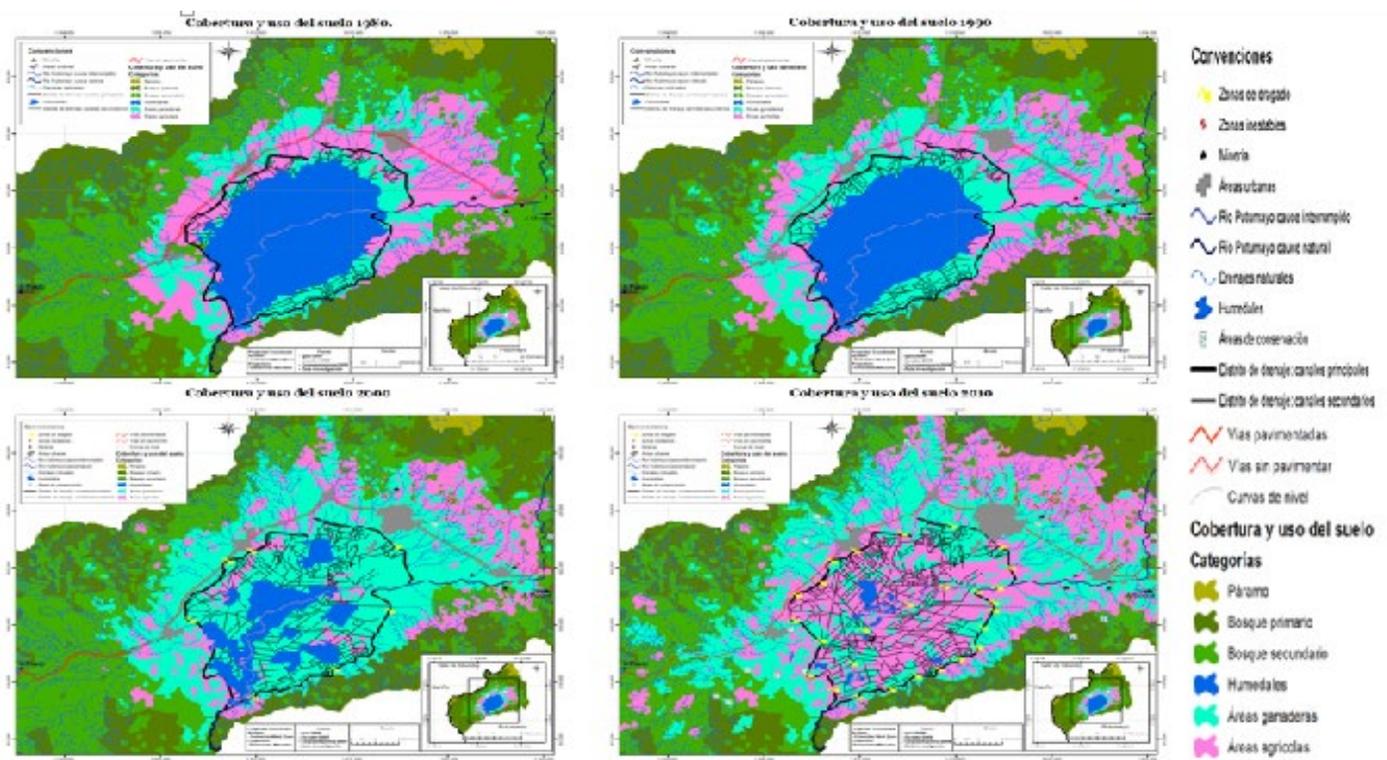


Figura 17. Comportamiento espacial de la dinámica de cambio en las coberturas.

## DISCUSIÓN

El valle del Sibundoy es un territorio en el cual los procesos de intensificación de la producción ganadera en la frontera con las áreas de humedales, generó las condiciones para el aumento transitorio de la producción ganadera, concomitante con el aumento de vulnerabilidad y pérdida de resiliencia ante los eventos extremos del clima. La creación del distrito de drenaje a través de dragados y obras de ingeniería, que buscaron evacuar mejor las aguas y controlar las inundaciones, funcionales en años normales (1980-2000), resultaron mal adaptativas en el periodo 2000-2010, en el cual aumentó considerablemente la variabilidad del clima. Igualmente, la gestión ambiental normal (definida en la agenda de la autoridad ambiental) fue formulada para ampliar y sostener la capacidad de carga animal en las nuevas tierras ganaderas, evitando las pérdidas económicas en esta zona. Por ejemplo, una situación similar se ha presentado en la adecuación del distrito de drenaje y riego de la laguna de Fúquene, el cual hoy es claramente mal adaptativo frente a los eventos climáticos extremos (Andrade *et al.*, 2012). En ambos casos Fúquene y valle de Sibundoy, la poca resiliencia frente al evento climático extremo llevó a la disminución rápida de los sistemas económicos asociados con la ganadería, según se desprendió de la caída rápida del área ganadera efectiva. Es de notar que en estos sistemas ganaderos establecidos en antiguos lagos de altiplano (Fúquene

y valle de Sibundoy), las acciones de manejo continúan dándose en torno a la adecuación de los distritos de drenaje-riego, y no existe alguna que pretendan modificar la trayectoria en las variables estructurales que relacionan la capacidad de drenaje natural con la construida. En efecto, la capacidad de regulación hídrica construida en los distritos de riego-drenaje, no logra contener las aguas en los años de mayor precipitación. Pasar de la corrección de las consecuencias inesperadas de los procesos de transformación, al manejo integral del sistema ecológico y social centrado en las variables estructurales y estados deseados es parte de una agenda con enfoque ecosistémico pendiente (Andrade *et al.*, 2012). La pregunta es hasta qué punto es posible reconstruir las variables estructurales naturales, una vez los SSE han pasado un umbral de cambio irreversible.

Cualquier escenario de manejo, para mantener el sistema u otorgarle un poco más de resiliencia socioecológica, requiere de una consideración sobre el estado deseado de la regulación hídrica, dentro del distrito de drenaje y aguas abajo del valle de Sibundoy. El cambio en la ruta de manejo, por las implicaciones que tendría sobre la nueva conformación económica del valle de Sibundoy (ahora centrado en agricultura), solo podría hacerse a través de una definición transparente de las variables estructurales, que necesitan ser adoptadas como parte de una agenda conjunta que permita que las instituciones presentes en esta zona actúen de manera integrada (Andrade *et al.*, 2012). Esto sin duda contribuirá a solucionar los fuertes conflictos institucionales existentes. Igualmente, la vulnerabilidad creada sobre los sistemas agrícolas, como producto de la transición después del colapso de la ganadería, requiere una intervención que articule la gestión institucional. Un equilibrio económico- ecológico necesario se refiere a la capacidad de carga (agricultura y ganadería) frente a las funciones hidrológicas, que se basan en gran medida en la capacidad de retención del agua en los remanentes mínimos de humedales, y la conectividad hidrológica en el ámbito de la cuenca. A futuro, debe quedar claro que intervenir una variable estructural por separado (en este caso el distrito de drenaje) genera impactos sobre las demás variables y en todo el sistema. Además, las acciones de manejo ambiental deben considerarse en la perspectiva socioecológica. Medidas de manejo aisladas, como proyectos de reforestación, dragados localizados e incluso conformación de zonas de reserva, entre otros, no tendrían el efecto deseado si no se relacionan con las variables estructurales y se inscriben funcionalmente dentro de sus trayectorias de cambio no deseadas. Este debe ser el primer paso para lograr disminuir los altos niveles de vulnerabilidad y la disminución progresiva de resiliencia.

La implementación de las acciones requiere adicionalmente considerar las escalas en las cuales operan los procesos asociados. La variabilidad climática, manifiesta en el abrupto aumento en su coeficiente de cambio, podría estar definitivamente ligada con procesos de cambio global (WWF, 2010), que están por fuera de la acción local; y frente a los cuales solo podría pensarse en una gestión centrada en la resiliencia

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

RESUMEN	social y ecológica del sistema. A la fecha, las propuestas de desarrollo económico, y el manejo frente a desastres naturales no consideran explícitamente esta gestión;
PALABRAS CLAVE	que podría inscribirse en las agendas de gestión del riesgo (Wilches, 2017), y de creación de capacidades de adaptación. El fortalecimiento de la gobernanza local se constituye así en una estrategia necesaria para el tratamiento de estas situaciones complejas (Vasseur <i>et al.</i> , 2017), que escapan al manejo convencional de los espacios agrícolas y ganaderos en distritos de drenaje y riego. Esto incluye los diversos espacios de participación asociados con instancias de planificación (municipios, cuencas, cuentas, áreas protegidas, etc.). En un escenario de incertidumbre asociada con las trayectorias de cambio que modifican los equilibrios sociales y ecológicos interdependientes, puede esperarse un aumento de conflictividad social por el acceso a recursos y espacios. Igualmente, los esquemas de monitoreo participativo centrados en variables estructurales, o en atributos como vulnerabilidad o resiliencia, tienen el potencial de aumentar la apropiación social de la gestión. Al menos en el corto plazo, ha sido claro, que la sostenibilidad social y ambiental en este territorio, pasa por una gestión centrada en la disminución de la vulnerabilidad y recupera algunas de las funciones que le confieren al territorio resiliencia, en especial frente a la variabilidad del clima, que presumiblemente continuará.
ABSTRACT	
KEY WORDS	
INTRODUCCIÓN	
MARCO CONCEPTUAL	
METODOLOGÍA	
RESULTADOS	
DISCUSIÓN	
AGRADECIMIENTOS	
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	

## AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt por su apoyo y colaboración en la realización del presente documento. De igual forma, a la comunidad que habita el valle de Sibundoy. Sus aportes y constante apoyo fueron fundamentales para conocer la complejidad de su territorio. Gracias a cada una de las instituciones, organizaciones de base y comunidad en general que hicieron posible la realización de la presente investigación.

## REFERENCIAS

- Andrade, G. I., Franco, C. L. y Delgado, J. (2012). Socio-ecological Barriers to Adaptive Management of Lake Fuquene, Colombia. *Int. J. of Design & Nature and Ecodynamics*, 7(3), 251-260.
- Carpenter, S. (2001). *Alternate States of Ecosystems: Evidence and Some Implications*. London, England: Blackwell.
- Carpenter, S. y Turner, M. (2000). Hares and Tortoises: Interactions of Fast and Slow Variables in Ecosystems. *Ecosystems*, 3, 495-497.
- Carpenter, S. y Walker, B. (2001). From Metaphor to measurement: Resilience of what to what. *Ecosystems*, 4, 765-781.
- Chapin, F. S., Kofinas, G. P., Folke, C. (2009). *Principles of Ecosystem Stewardship/Resilience Based Natural Resource Management in a Changing World*. Capítulo 1. A Framework for Understanding Change. pp 3-28. ISBN 978-0-387-73032-5. doi: 10.2007/978-0-387-73033-2

- Charry, A. (1991). Contacto, colonización y conflicto en el valle de Sibundoy 1870-1930. Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes.
- Comité de Ganaderos de Puerto Asís (Coganasís). (2010). Censo ganadero para el departamento del Putumayo 2010. Puerto Asís: Coganasís.
- Corpoamazonia. (2006). Plan de ordenación y manejo ambiental de humedales. Mocoa, Putumayo: Corpoamazonia.
- Corpoamazonia. (2009). Plan de ordenación y manejo de la cuenca alta del río Putumayo. Mocoa-Putumayo: Corpoamazonia.
- Franco, L., Delgado, J., y Andrade, G. (2011). La laguna de Fúquene como un sistema socioecológico: introducción a una visión ecosistémica para la gestión del territorio. Bogotá, Colombia: Uniandes, IAVH, Fundación Humedales.
- Franco, L., Delgado, J. y Andrade, G. (2012). Laguna de Fúquene: entender la crisis, visualizar el futuro y acordar el camino. Bogotá, Colombia
- Fundación Cultural Putumayo. (2005). Estudio sociocultural del valle de Sibundoy y su proceso de Colonización. Sibundoy, Putumayo: Corpoamazonia.
- Gómez, M., y Moreno, R. (2002). Diagnóstico biofísico y socioeconómico de la cuenca alta del río Putumayo, municipios de Santiago, Colón, Sibundoy, San Francisco. Mocoa, Putumayo: Ingeominas.
- Gunderson, L. (2000). Ecological Resilience: in theory and application. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31, 425-439.
- Gunderson, L. y Holling, C. (2002). Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural. Washington, D.C.: Island Press.
- Holland, J. (2005). Studying Complex Adaptive Systems. *Science*, 19, 4-7.
- Holling, C. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1-23.
- Holling, C. (2001). Understanding the complexity of economic, ecological and social systems. *Ecosystems*, 4, 390-405.
- Ingeominas. (1998). Reconocimiento geológico regional. Bogotá, Colombia: Ingeominas.
- Ingeominas; Geoestudios. (2000). Dinámica de cambio fluvial en el valle de Sibundoy. Mocoa, Putumayo: Ingeominas.
- Instituto Colombiano de Desarrollo Rural (Incoder). (2008). Rehabilitación del distrito de adecuación de tierras de gran escala del valle de Sibundoy, departamento del Putumayo. Bogotá, Colombia: Incoder.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (Himat). (1968). Proyecto Putumayo I: construcción de un distrito de drenaje para la adecuación de 8500 ha. Bogotá: Himat.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Igac). (2008). Zonificación de suelos, departamento del Putumayo. Bogotá, Colombia: IGAC.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Igac). (2016). Censo catastral en el valle de Sibundoy. Mocoa, Putumayo: Igac.
- Legrand, C. 1988. Colonización y protesta campesina en Colombia 1810-1950. Universidad Nacional de Colombia.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

- RESUMEN López, B. y Montes, C. (2009). Biodiversidad y servicios de los ecosistemas. Madrid, España: Observatorio de la Sostenibilidad de España, Universidad Autónoma de Madrid.
- PALABRAS CLAVE Mora, L. (2016). Propuesta para el abordaje conceptual en el modelamiento de procesos socioecológicos para lagos y humedales de alta montaña. Instituto Alexander von Humboldt.
- ABSTRACT
- KEY WORDS Naranjo, L. G. (2017). Los ecosistemas del antropoceno. En Restrepo, S. (Ed). En diálogo con la tierra. Por una Colombia sostenible. Universidad del Rosario, Bogotá.
- INTRODUCCIÓN Reid, D. (1993). Mecánica de suelos. México: McGraw-Hill.
- MARCO CONCEPTUAL Reynolds, J. y Stafford, S. (2002). Global Desertification Do Humans Cause Deserts? Dahalem University Press, Report 88.
- METODOLOGÍA Reynolds, J., Stafford, M., Lambin, E., Turner II, B., Mortimore, M. y Batterbury, S. (2007). Global desertification: Building a science for dryland development. *Science*, 316(5826), 84-106.
- RESULTADOS
- DISCUSIÓN Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2010). Censos agropecuarios 2002, 2004, 2008, 2010. Municipios de Santiago, Colón, Sibundoy y San Francisco.
- AGRADECIMIENTOS Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuarias (Umatas). (2009). Censos agropecuarios, 1985, 1990, 1995.
- REFERENCIAS
- SOBRE LOS AUTORES Vasseur, L., Horning, D., Thornbush, M., Cohen, E., Andrade, A., Barrow, E., Edwards, S. R. (2017). Complex Problems and Unchallenged Solutions. Bringing Ecosystem Governance to the Forefront of the U.S. Sustainable Sevelopment Goals. *Ambio*. doi: 10.1007/s13280-017-0918-6.
- Wilches-Ch, G. (2017). El concepto-herramienta de seguridad territorial y la gestión de humedales. *Biodiversidad en la Práctica*, 2 (1).
- WWF. (2009). Desarrollo y validación del esquema de compensación por servicios ambientales y reconversión de sistemas ganaderos en cuencas hidrográficas abastecedoras de acueductos municipales pertenecientes a la cuenca del río Putumayo. Mocoa-Putumayo: WWF.
- WWF. (2010). Análisis variabilidad climática en valle de Sibundoy. Cali-Colombia: WWF.

## SOBRE LOS AUTORES

### Luis Fernando Mora

Consultor Instituto de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt con maestría en Geografía. Investigación: Sistemas Socioecológicos, ordenamiento territorial y planificación ambiental, aplicación de herramientas SIG en el modelamiento de dinámicas y procesos socioecológicos.

### Germán Ignacio Andrade

Biólogo con maestría en Estudios Ambientales. Profesor de Gestión de ecosistemas y cambio ambiental global en la facultad de Administración de la universidad de los Andes. Miembro del Panel Multidisciplinario de Expertos IPBES 2018-2021.

Citación sugerida

Mora, L. F y Andrade, G. (2019). Construcción de vulnerabilidad en humedales altoandinos integrados con sistemas ganaderos. Evidencia a través de un modelo socioecológico de cambio entre 1980 y 2010, en el valle de Sibundoy, Putumayo, Colombia. *Biodiversidad en la Práctica*, 4(1), 2-29.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

**SOBRE LOS AUTORES**

# Biodiversidad EN LA PRÁCTICA

Documentos de trabajo del Instituto Humboldt



EDICIÓN  
**CAMBIO CLIMÁTICO**

VOLUMEN 4 - NÚMERO 1 - 2019 - PP. 30-50  
Recibido: 3 de noviembre de 2017 -  
Aprobado: 05 de febrero de 2019.

**Olga Lucía Albarracín Álvarez**  
Economista con maestría en Medio Ambiente y Desarrollo de la Universidad Nacional de Colombia.  
olalbarracina@unal.edu.co

**David Novoa Mahecha**  
Ecólogo con maestría en Conservación y Uso de la Biodiversidad. Profesional especializado de la Dirección Territorial Amazonia, Parques Nacionales Naturales de Colombia.  
gestionconocimiento.dtam@parquesnacionales.gov.co

**Sandra Milena Rodríguez Peña**  
Ingeniera ambiental y sanitaria con maestría en Gestión Ambiental, profesional especializada de Parques Nacionales Naturales de Colombia.  
sandra.rodriguez@parquesnacionales.gov.co



CONTRIBUCIONES AL CONOCIMIENTO

## Elementos de enfoque y estudio de caso para abordar los servicios ecosistémicos en áreas protegidas de la Amazonia colombiana

Elements of focus and case study to approach ecosystem services in protected areas of the Colombian Amazon

### RESUMEN

En el marco de la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE), los pagos por servicios ambientales (PSA) se proponen como herramientas favorables para la conservación de las áreas protegidas del país, de manera particular en territorios especialmente vulnerables al cambio climático, como la Amazonia. Sin embargo, el abordaje de servicios ecosistémicos en el contexto de áreas protegidas traslapadas con comunidades indígenas exige apropiar elementos adicionales de enfoque como el diálogo intercultural, la mirada integral del territorio, los principios culturales frente al cuidado de la naturaleza, los sistemas de uso material e inmaterial y la interacción recíproca y grata entre las sociedades indígenas y su entorno natural. El ejercicio piloto realizado en este estudio confronta los elementos de un esquema típico de PSA con la dinámica del Parque Nacional Natural (PNN) Cahuinarí traslapado con el resguardo de la Asociación PANI (Piine Aiiyveju Niimue Iachiuma, que significa Dios del Centro y sus nietos, en lengua Miraña), analiza

los riesgos socioecológicos de diseño del esquema y genera reflexiones adicionales para el alistamiento, la negociación, la motivación y la retribución que deben ser acordadas entre los actores. Además, propone establecer acuerdos recíprocos para el mantenimiento de la biodiversidad, en los que se retribuyan los resultados de la gestión compartida para cumplir los objetivos de conservación del área protegida y el plan de vida indígena.

**Palabras clave:** Conservación. Cultura. Incentivo. Prioridades integrales de conservación. Reciprocidad. Territorio.

## ABSTRACT

Within the framework of the National Policy for the Integral Management of Biodiversity and its Ecosystem Services, the payment for ecosystem services (PES) has been proposed as a favorable tool for the conservation of protected areas in the country, particularly in territories that currently stand out as especially vulnerable to climate change, such as the Amazon. However, the approach to ecosystem services in the context of protected areas that overlap with indigenous territories should also consider additional focus elements such as cultural principles of the use of nature, cultural systems of land use and intercultural dialogue, as well as a holistic view of the territory and the reciprocal and grateful interaction between indigenous societies and nature. The case study confronts the elements of a typical PES scheme within the context of the Cahuinarí National Natural Park and the PANI (Piine Aiiyveju Niimue Iachiuma, which means God of the Center and his grandchildren, in Miraña language) indigenous Association. In this study, we analyze the socioecological risks on the design of the PES scheme and reflect on the stages of preparation, negotiation, motivation and retribution that must be agreed among the actors involved. The exercise also proposes some guidelines for the designing of an agreement to reach the conservation goals of the area and the objectives of indigenous life plans from an integrated point of view.

**Keywords:** Conservation. Culture. Incentive. Integrated Priorities of Conservation. Reciprocity. Territory.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años en Colombia se viene discutiendo a profundidad sobre la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, a través del desarrollo de ejercicios conceptuales y metodológicos que aportan al reconocimiento de sus ecosistemas y servicios asociados. Hoy, más personas reconocen que el funcionamiento de los ecosistemas, la riqueza y diversidad de especies tienen un papel en el bienestar humano, en sus aspectos de seguridad, salud, confort y relaciones sociales (Andrade *et al.*, 2011). En consecuencia, se ha desarrollado una gran variedad de estrategias de conservación. Una de estas estrategias es el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (Sinap), el cual

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

RESUMEN	es un escenario ideal para mantener la oferta de servicios ecosistémicos debido a la diversidad de territorios que lo componen, y que opera bajo la concepción de la conservación como un ejercicio de interacción social dentro de un proceso de concertación de intereses y percepciones en el marco de la política de participación social en la conservación (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2001).
PALABRAS CLAVE	
ABSTRACT	
KEY WORDS	
INTRODUCCIÓN	Este sistema ha abordado el reconocimiento del traslape con territorios indígenas a través de la coordinación y concertación con comunidades y autoridades tradicionales, llegando a la definición de Prioridades Integrales de Conservación (PIC), como unidades de análisis que integran elementos de la naturaleza y la cultura a través de sus relaciones de interdependencia, las cuales se materializan en los Regímenes Especiales de Manejo (REM).
MARCO CONCEPTUAL	
METODOLOGÍA	
RESULTADOS	
DISCUSIÓN	Recientemente, se ha analizado la posibilidad de implementar esquemas de pagos por servicios ambientales (PSA) en los territorios del Sinap, sin embargo, en los casos de traslape con resguardos y comunidades indígenas, se hace necesario verificar algunos elementos de diseño para que las relaciones se mantengan cordiales, los resultados de la gestión compartida se sigan logrando y no se generen cambios en la motivación de las comunidades respecto a los beneficios de la conservación.
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
AGRADECIMIENTOS	
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	

## MARCO CONCEPTUAL

Como parte del manejo que hoy requieren las áreas protegidas del país, es necesario considerar estrategias relacionadas con incentivos a la conservación como el pago por servicios ambientales (PSA). No obstante, esto exige un ejercicio de entendimiento mutuo y de construcción con las comunidades y autoridades tradicionales. Parte de las lecciones aprendidas sobre la valoración de los servicios ecosistémicos (como un componente del diseño de estos incentivos) es su integralidad, donde se reconoce que la valoración económica es apenas un paso que muchas veces solo permite identificar un valor incompleto de la biodiversidad (Castiblanco, 2008). Por esto, es necesario avanzar en la valoración ecológica y sociocultural para la construcción de acuerdos que lleven al logro de la conservación de los ecosistemas y al bienestar de las comunidades, en un marco de apropiación social de la biodiversidad, participación, corresponsabilidad y gobernanza; y en un contexto de clima cambiante, que debe considerar las tensiones extremas impuestas por el cambio climático sobre los ecosistemas (Rodríguez, 2016).

En este sentido es especialmente preocupante la situación de la Amazonia. Desde estudios como el TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity) se advierte sobre las consecuencias de la deforestación en la Amazonia, afirmando que “el clima regional cambiará de forma significativa, ya que el bombeo del agua del bosque amazónico dejará de funcionar, y sin la lluvia que procede de la evaporación del agua de los bosques, regiones enteras de los Andes y de América del Sur se verán gravemente afectadas” (Wittmer *et al.*, 2010). De la misma manera, el análisis de

vulnerabilidad y riesgo por cambio climático, que hace parte de la Tercera Comunicación Nacional de Colombia, advierte sobre las vulnerabilidades en los territorios que se pueden ver exacerbadas por el cambio climático y el riesgo actual sobre la seguridad alimentaria, el recurso hídrico, la biodiversidad y la salud. Lo anterior se evidencia en la región amazónica con 31 municipios en riesgo alto y muy alto (Ideam *et al.*, 2017).

Por su parte, el proyecto Visión Amazónica, liderado por la Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Parques Nacionales y otras áreas protegidas (Redparques), donde los gobiernos de los países amazónicos se unieron con el objetivo de construir una ruta para el manejo y la conservación de los recursos naturales; considera que el bioma amazónico, que es el bosque tropical continuo con mayor superficie global (10% del carbono mundial) y el sistema hídrico más importante del planeta (20 % del agua dulce mundial), es especialmente vulnerable a los efectos del cambio climático. Además, Visión Amazónica mostró y evidenció el rol de las áreas protegidas como “amortiguadores” del impacto (Prüssman *et al.*, 2016). En la declaración de la Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Parques Nacionales y otras áreas protegidas (Redparques) a la vigésimo primera Conferencia de las Partes (COP 21) de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC), firmada por Colombia y otros 17 países, también se recalca que “el fortalecimiento de las áreas protegidas es un compromiso que permitirá salvaguardar el bienestar de millones de personas a través de sus servicios ecosistémicos” (Redparques, 2015).

Por su parte, en el marco del Plan Estratégico de la Dirección Territorial Amazonía (DTAM) de Parques Nacionales Naturales de Colombia se propone la territorialización de la misión institucional de acuerdo con el contexto amazónico y se plantea como objetivo misional el contribuir a “mantener y fortalecer los sistemas culturales de uso material e inmaterial y manejo sostenible del territorio” (PNN-DTAM, 2016) desarrollados por comunidades locales asociados a los intereses regionales y locales de conservación del territorio amazónico.

Es así como, a partir de este objetivo se desarrolla el concepto de «La razón de ser del territorio» (PNN-DTAM, 2011), el cual se entiende como la construcción participativa e informada de la importancia del área protegida, incluyendo tanto la visión del territorio indígena en su conjunto, como la misión de conservación, no solo considerando la importancia ecosistémica o de elementos materiales de la cultura, sino incorporando los valores inmateriales de la cultura de un grupo étnico, basado en su conocimiento, sus prácticas y normas del territorio. En otras palabras, integra la importancia ecosistémica de las áreas protegidas, no solo por su valor a la conservación en sí misma, sino como el eje principal de las relaciones naturaleza-cultura de los pueblos indígenas que las habitan.

Este enfoque, que tiene desarrollos concretos en algunas áreas protegidas traslapadas con territorios indígenas (especialmente en la región amazónica colombiana)

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

RESUMEN  
PALABRAS CLAVE  
ABSTRACT  
KEY WORDS  
INTRODUCCIÓN  
MARCO CONCEPTUAL  
METODOLOGÍA  
RESULTADOS  
DISCUSIÓN  
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES  
AGRADECIMIENTOS  
REFERENCIAS  
SOBRE LOS AUTORES

(PNN-DTAM, 2011), trasciende la perspectiva convencional de sensibilizar a las comunidades para que reconozcan la importancia del área protegida pues, por el contrario, se convierte en un elemento de diálogo intercultural, ya que su determinación es, como tal, un acto de concertación. Adicionalmente, confiere legitimidad para la toma de decisiones y elementos para la resolución de conflictos, es representativa socialmente, integra los tres objetivos de conservación del sistema (biodiversidad, servicios ecosistémicos, valores culturales) y trasciende el límite del área protegida, buscando así comprender el territorio como un sistema (PNN-DTAM, 2016).

Tal decisión de carácter político, jurídico y técnico obedece al reconocimiento de que, un área significativa del territorio amazónico que se encuentra en un buen estado de conservación es el producto de la interacción recíproca y grata entre las sociedades indígenas y las otras dimensiones de la naturaleza (Echeverri, 2004), en la cual se establecen relaciones de intercambio beneficioso entre los seres humanos y los dueños de la naturaleza (ACIYA y PNN, 2015). Esta percepción del mundo aporta a la configuración de sistemas socioecológicos resilientes (PNN-DTAM, 2015).



Figura 1. Vista aérea de las coberturas vegetales de la Amazonia colombiana. Fuente: archivo DTAM.

Ahora bien, para la DTAM en el contexto amazónico, el enfoque e instrumentos para dialogar sobre los servicios ecosistémicos debe ser objeto de discusión con base en la premisa de los sistemas socioecológicos planteados en la PNGIBSE, atendiendo

también la recomendación de la Unesco respecto a prestar mayor atención al estudio de los servicios de los ecosistemas en el ámbito local para la aplicación de políticas y estrategias de gestión (Onaindia, 2010). Adicionalmente, los ejercicios anteriores en la región de la Amazonia, relacionados con la implementación temprana de la estrategia de Reducción de las Emisiones debidas a la Deforestación y la Degradación Forestal REDD<sup>1</sup>, que lideró el Ministerio de Ambiente en el marco de la preparación de una estrategia nacional, bajo los parámetros de la CMNUCC, e incluso la supuesta “venta de oxígeno” que fue difundida por empresas relacionadas con el mercado del carbono y que en realidad hacía referencia a la transacción de reducciones certificadas de emisión (CER, por sus siglas en inglés), pusieron el tema sobre la mesa de discusión y generaron diversas percepciones y expectativas que deben ser consideradas cuando se reconocen los riesgos climáticos que enfrenta esta región.

El concepto de servicios ecosistémicos según Jeffers *et al.* (2015) es entendido como los beneficios que los seres humanos reciben del funcionamiento natural de los ecosistemas, donde se ve representado un flujo de servicios en un solo sentido desde los ecosistemas hacia las personas. No obstante, en el contexto amazónico, esta perspectiva puede ser considerada como simplista y a su vez inexacta, debido a que no se contempla la posibilidad de que los humanos a menudo contribuyen al mantenimiento y la mejora de los ecosistemas, como se evidencia en muchas sociedades tradicionales e indígenas, cuyo ciclo de relación recíproca se observa en el uso y manejo del territorio (Comberti *et al.*, 2015). La Plataforma Intergubernamental Científico-normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES) propone la expresión “activos antropógenos” para enfatizar el hecho de que una buena vida se logra por medio de beneficios producidos conjuntamente por la naturaleza y las sociedades, siendo uno de ellos los conocimientos indígenas y locales. (IPBES, 2013).

Los pueblos indígenas amazónicos han desarrollado una serie de principios o normas culturales que rigen las relaciones con la naturaleza, las cuales pretenden mantener la armonía o equilibrio dinámico en el uso y manejo de los recursos naturales (Andoque *et al.*, 2011). Estos principios, relacionados con el cuidado de la naturaleza por parte de las comunidades indígenas, se pueden clasificar de múltiples maneras y no poseen un orden jerárquico debido a que todos son significativos. Algunos de estos principios son:

- i) “A cada grupo le correspondió su propio lugar de nacimiento.
- ii) Cada grupo tiene sus tareas rituales que debe realizar en las épocas del ciclo anual.

1 REDD es un mecanismo singularmente específico dirigido a promover y facilitar primariamente la reducción de las emisiones provenientes de la deforestación y la degradación de los bosques: en el 2012 como parte de la preparación nacional para REDD se desarrolló un programa piloto institucional, denominado: Implementación temprana REDD en la Amazonia colombiana, en el que participaron el Sinchi, el Ideam, el MADS y la embajada de Holanda, con el fin de generar insumos para el marco técnico, político y normativo de REDD en Colombia.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

RESUMEN	iii)	Todo en la naturaleza tiene un dueño espiritual y nada puede utilizarse sin su permiso.
PALABRAS CLAVE	iv)	Existe una energía vital que debe regularse entre minerales, plantas, animales y gente. Esta energía se debe dejar ir para no generar sobreacumulaciones.
ABSTRACT		
KEY WORDS		
INTRODUCCIÓN	v)	El tiempo tiene sus dueños y se deben realizar los rituales para que se cumpla su secuencia a lo largo del ciclo anual” (Rodríguez, 2011).
MARCO CONCEPTUAL		
METODOLOGÍA		Ahora bien, la discusión sobre las contribuciones de la naturaleza a la gente (los principios en el concepto de los servicios ecosistémicos) es vital, ya que son fundamentos de enfoque en la relación naturaleza-cultura. Aquí, la reciprocidad, la gratitud y el buen vivir regulan la práctica cotidiana del uso de los recursos naturales por parte de los pueblos indígenas. En ese orden de ideas, es precisamente en el diálogo de saberes e instancias de coordinación entre las autoridades indígenas y Parques Nacionales Naturales que se debe abordar de forma reflexiva lo concerniente a la pertinencia y el mecanismo más adecuado para discutir el tema de los servicios ecosistémicos y los esquemas de reconocimiento.
RESULTADOS		
DISCUSIÓN		
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
AGRADECIMIENTOS		
REFERENCIAS		
SOBRE LOS AUTORES		Por su parte, el esquema de reconocimiento o incentivos más trabajado corresponde al formulado por Sven Wunder, conocido como el pionero en determinar los elementos de un esquema de pagos por servicios ambientales (PSA). La definición establece el esquema definido por cinco características (Wunder, 2005 citado en Moreno-Sánchez, 2012): 1) constituyen una transacción voluntaria, 2) donde hay un servicio ambiental bien definido (o un uso de la tierra que asegure la provisión de ese servicio), 3) que es adquirido por al menos un comprador, 4) a por lo menos un proveedor del servicio, 5) solamente si el proveedor del servicio cumple con los términos del contrato, característica conocida como condicionalidad.

## METODOLOGÍA

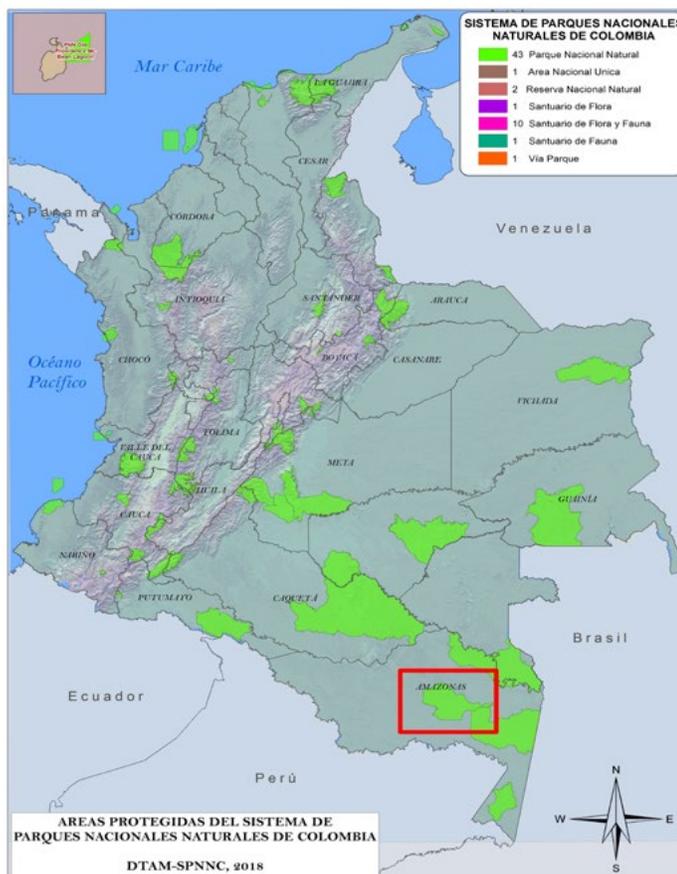
El estudio de caso se basó en la comparación del esquema típico del incentivo de pago por servicios ambientales (PSA) en el contexto específico del territorio PANI-PNN Cahuinarí. Para esto, se revisaron los elementos más representativos de un esquema típico de PSA, identificados a partir de una revisión de literatura especializada en este tipo de instrumentos que se confrontaron con las características del territorio, las cuales fueron evidenciadas a través de entrevistas con los miembros de la DTAM, y a través de la revisión de documentos de gestión del parque. Estos últimos hacen parte de la iniciativa de investigación propia de algunas de las comunidades amazónicas y de los documentos diagnóstico de los pueblos del PANI, así como de su Plan de Vida. De esta manera, se pudo evaluar la pertinencia de este tipo de incentivos y su grado de ajuste en las condiciones particulares.

Al analizar los elementos representativos de los esquemas de PSA típicos a partir de la definición básica generada por Sven Wunder (2005) se consideraron otros elementos como la transparencia y confianza en los actores involucrados en los esquemas (Pasqual *et al.*, 2009; Tacconi, 2012) y se analizaron riesgos de diseño, específicamente el riesgo por los cambios de motivación (Gómez *et al.*, 2010).

## RESULTADOS

El PNN Cahuinarí no solo presenta un traslape con un resguardo indígena sino que también representa uno de los casos más exitosos de convivencia entre la autoridad indígena y la autoridad ambiental. La Asociación de Autoridades Indígenas Piine Aiiyveju Niimue Iachimua (PANI-que significa Dios del centro y sus nietos) y el PNN Cahuinarí, su riqueza natural y la riqueza cultural de los pueblos Miraña y Bora (población mayoritaria dentro de la asociación) (Albarracín, 2016), junto a la disposición del equipo del PNN de trabajar en esta realidad desde su complejidad, le dan al territorio una percepción y organización particular y lo convierten en un espacio donde el diálogo y las visiones compartidas son la base de su ordenamiento. En la Figura 2 se muestra la ubicación del territorio PANI-PNN Cahuinarí dentro del sistema de Parques Nacionales Naturales.

- RESUMEN
- PALABRAS CLAVE
- ABSTRACT
- KEY WORDS
- INTRODUCCIÓN
- MARCO CONCEPTUAL
- METODOLOGÍA
- RESULTADOS
- DISCUSIÓN
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- AGRADECIMIENTOS
- REFERENCIAS
- SOBRE LOS AUTORES



- RESUMEN
- PALABRAS CLAVE
- ABSTRACT
- KEY WORDS
- INTRODUCCIÓN
- MARCO CONCEPTUAL
- METODOLOGÍA
- RESULTADOS
- DISCUSIÓN
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- AGRADECIMIENTOS
- REFERENCIAS
- SOBRE LOS AUTORES

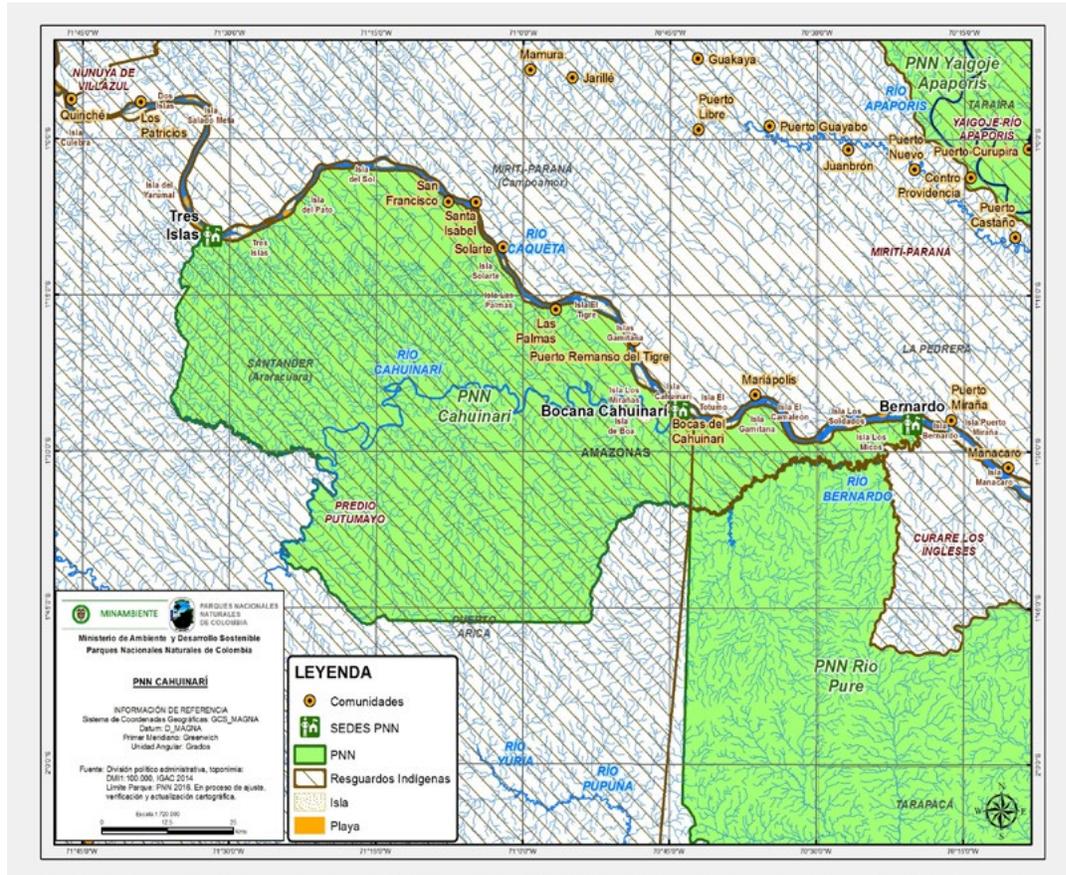
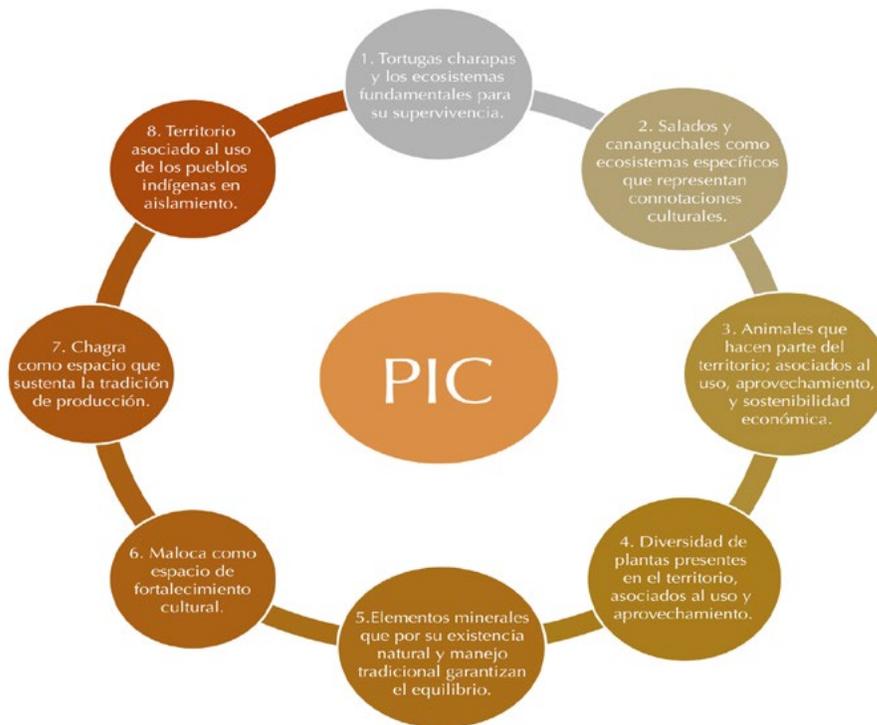


Figura 2. Ubicación geográfica del PNN Cahuinari. Archivo DTAM (2011).

El Parque Nacional Natural Cahuinari tiene una extensión de 575.000 hectáreas y fue creado en 1987 (PNN-DTAM, 2011). Se encuentra ubicado en el departamento del Amazonas, en jurisdicción de los corregimientos de Puerto Arica, El Encanto, La Chorrera, Puerto Alegría y Puerto Santander (Gobernación de Amazonas, 2010). En este territorio el ecosistema predominante es el bosque natural en el zonobioma húmedo tropical Amazonia-Orinoquia, el cual presenta bosques densos definidos como áreas con árboles con altura superior a los 5 metros y con densidad de copas superior al 70 % (Sinchi, 2007).

Adicionalmente, las prioridades integrales de conservación (PIC) del parque no solo giran en torno a los elementos ecosistémicos presentes en el territorio; también se relacionan con la vigencia y permanencia de los conocimientos y valores culturales esenciales para el uso sostenible de la naturaleza, los mecanismos de transmisión de dichos conocimientos y valores y las formas efectivas de regulación social sobre el uso del territorio (PNN-PANI, 2014). De esta forma, las PIC reconocidas para el territorio PANI-PNN Cahuinari se resumen en la Figura 3.



RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

Figura 3. Prioridades integrales de conservación establecidas en el Régimen Especial de Manejo del PNN Cahuinarí. REM PNN Cahuinarí.

## DISCUSIÓN

En el proceso de caracterización de los pueblos PANI se pudo evidenciar que las relaciones ambientales de las comunidades que constituían la asociación se basaban en acuerdos o normas para el uso de los recursos y el desarrollo de las diferentes actividades de las comunidades. Esta permanencia ancestral en el territorio permitió la generación y evolución de complejos sistemas de conocimiento, uso y manejo de la selva que aportaron de manera significativa al mantenimiento de la biodiversidad, así como de unas condiciones ambientales que garantizaban una oferta de recursos variada y abundante para el desarrollo de las comunidades (PNN-PANI, 2014).

Uno de estos sistemas es el calendario ecológico, un elemento importante de la cultura, que materializa dichas relaciones ambientales y en el que se establecen las actividades culturales y productivas que se pueden realizar dependiendo de las diferentes épocas del año. Este calendario evidencia el comportamiento de los peces, los animales, las lluvias, el nivel de las aguas del río y la producción de frutas; determinando así el comportamiento de las comunidades al respecto (Albarracín, 2016). La Tabla 1 describe los componentes del calendario.

RESUMEN Tabla 1. Calendario ecológico de la asociación PANI. Albarracín (2016) con información de Miraña y Guiro (2013).

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

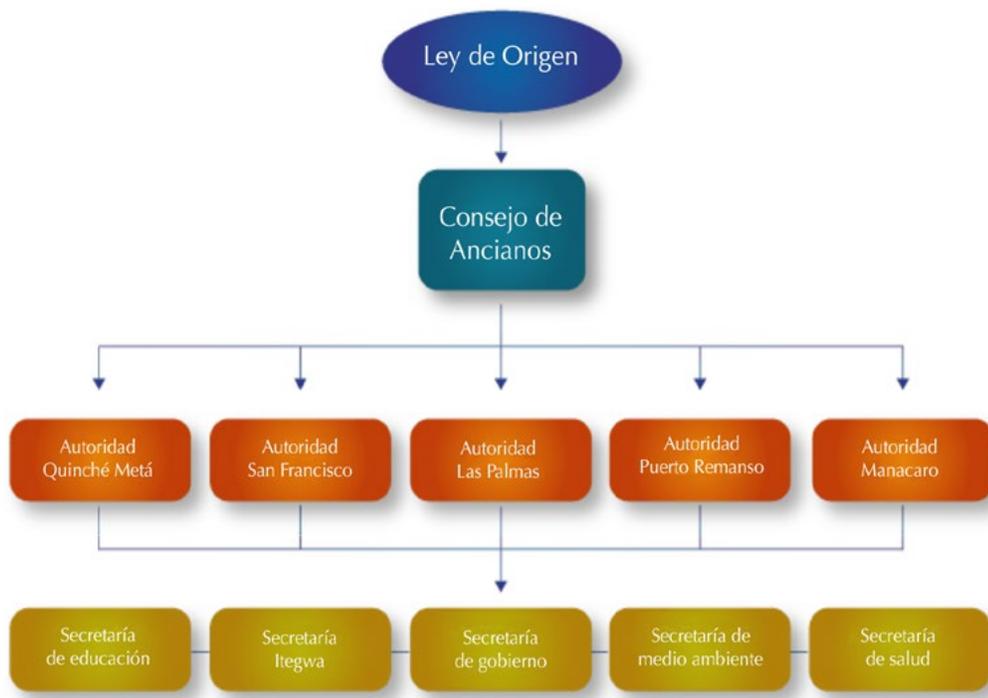
AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

Actividades	Época				
	Friaje de verano (junio y julio)	Verano de las frutas y subienda de pescado (agosto, septiembre y octubre)	Época de los frutos o de salida de animales (noviembre, diciembre y enero)	Verano de la mariposa (febrero y marzo)	Llamado. Canta la rana de invierno (abril y mayo)
<b>Producción/extracción</b>	Yuca dulce, copoazú, zapote, asaí, cacao, granadilla, algarrobo	Pomarrosa, asaí, canangucho, marañón, madroño, granadilla	Maíz, laurel, chontaduro, tabaco, piña	Piña, sandía, pomarrosa	Marañón, copoazú, chontaduro, uva camarona, naranja, guama, caimo, mandarina
<b>Actividades permitidas</b>	Se rozan y queman las chagras de rastrojo. Es la época de los bailes	Siembra de chagras a la orilla del río. Mingas para la cosecha de chagras de monte firme. Baile de tumba de chagra	Quema y siembra de la chagra de monte firme. Época de bailes	Cosecha de rastrojos. Las frutas silvestres se cosechan al final de la época	Cosecha de la chagra a la orilla del río. Limpieza de chagras de monte firme
<b>Fauna disponible para cacería</b>	Venado, borugo, armadillo, pavas	Pava, gallineta, perdiz, sábalo, barbudo, sardinas, bocachico, borugo, cusumbe, armadillo, venado, churuco, morrocoy	Borugo, danta, puerco, venado, paujil, gallineta	Panguana, grulla, tucunaré, barbudo, curvinata, charapa, chigüiro	Arawana, bocachico
<b>Enfermedades a prevenir</b>	Diarrea, gripa, accidentes ofídicos, nuches	Gripa, fiebre, paludismo, diarrea	Fiebre, dolor de cabeza, vómito	Accidentes ofídicos, conjuntivitis	Fiebre, accidente ofídico

Adicionalmente se reconoció la organización del PANI, la cual se basa en el consejo de ancianos, quienes tienen relación directa con la Ley de Origen y son quienes brindan apoyo y asesoría a las autoridades de cada comunidad. A su vez, existen las secretarías, que se ocupan específicamente de temas como la educación, cultura (Itegwa), medio ambiente y salud; todas coordinadas por la secretaria de gobierno. Las decisiones se toman internamente en cada comunidad y luego, en la asamblea de autoridades, se determinan las mismas para la organización (Albarracín, 2016) (Figura 4).



- RESUMEN
- PALABRAS CLAVE
- ABSTRACT
- KEY WORDS
- INTRODUCCIÓN
- MARCO CONCEPTUAL
- METODOLOGÍA
- RESULTADOS
- DISCUSIÓN**
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- AGRADECIMIENTOS
- REFERENCIAS
- SOBRE LOS AUTORES

Figura 4. Estructura organizativa del PANI. Miraña y Guiro (2013).

Las definiciones y elementos de los esquemas de PSA analizados pueden evidenciar alcances y condiciones para su diseño y operación que pueden no ser aplicables cuando se trabaja en territorios con traslapes, como en el caso del PNN Cahuinari, debido a las particularidades del área, no solo en cuanto a su estado biofísico y las condiciones de la biodiversidad, sino también a las particularidades de la dinámica de la relación ecosistema-cultura, lo cual no significa una limitante, sino un reto en el diseño de incentivos que respondan a estas características específicas (Albarracín, 2016).

En la definición de Wunder (2005) utilizada como base para el análisis, resulta visible el lenguaje economicista, pues las palabras *adquisición* y *proveedor* no dan cuenta de otras importantes relaciones entre las comunidades y la naturaleza que, en muchos casos, van más allá de la explotación como recursos naturales. Adicionalmente, se utiliza un lenguaje de mercado que no guarda relación con la lógica de funcionamiento de la naturaleza: se identifican *compradores* y *proveedores*, cuando los servicios los proveen los ecosistemas, por lo tanto la oferta es fija e inelástica y la misma no está determinada por las funciones de demanda en un mercado. Adicionalmente al utilizar esta lógica de mercado se corre el riesgo de que haya servicios ecosistémicos que no cuenten con una *demand*a suficiente para sostener

RESUMEN	financieramente el esquema, haciéndolo débil en el tiempo, o incluso emitiendo la falsa señal de que estos servicios pueden ser prescindidos o sustituidos por capital manufacturado (Albarracín, 2016).
PALABRAS CLAVE	
ABSTRACT	Profundizando en otros de los elementos del esquema típico de PSA, se encontró que la negociación es un paso necesario para la implementación de estos incentivos, considerando que la voluntad de participación de los actores involucrados depende de lo que se logre en los acuerdos y de los niveles de confianza existentes entre las partes (Albarracín, 2016). Al respecto, es necesario resaltar la transparencia del esquema como un elemento esencial del mismo, mencionando que constituye una garantía a favor de los negociadores que se pueden encontrar en una posición de desventaja en el momento de acordar las condiciones del esquema (Tacconi, 2012). La negociación también debe incluir el elemento de la medición biofísica del ecosistema abordado en el esquema con indicadores claros y concretos para las partes como una forma de verificación de los acuerdos establecidos (Pascual, Muradian, Rodríguez y Duraia-ppah, 2009), de manera que la transparencia se vea fortalecida.
KEY WORDS	
INTRODUCCIÓN	
MARCO CONCEPTUAL	
METODOLOGÍA	
RESULTADOS	
DISCUSIÓN	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
AGRADECIMIENTOS	Por otra parte, los pagos son elementos importantes de los esquemas de PSA, puesto que son el vehículo para generar el cambio en las actividades (o su mantenimiento, según el caso) y generar los beneficios ecosistémicos buscados (Albarracín, 2016). Según la teoría de la economía ambiental, los pagos deben ser por lo menos iguales a los beneficios dejados de percibir por los actores que conservan (incluyendo los costos de oportunidad y de transacción), e iguales o menores al valor de los servicios ecosistémicos para los actores beneficiarios de las acciones de conservación (Engel, Pagiola y Wunder, 2008). No obstante, el hecho de que las definiciones y las aplicaciones de los esquemas de PSA se especifiquen con pagos en dinero genera ineficiencias que hacen que los esquemas sean insostenibles operativamente y financieramente (Albarracín, 2016). Engel <i>et al.</i> , (2008) identifican los siguientes casos de ineficiencia así:
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	

- a) Ofrecimiento de pagos que resultan insuficientes para inducir a un cambio de actividad o de uso del suelo, derivando en su permanencia.
- b) Adopción de actividades o de cambios de uso del suelo que pueden generar la provisión de servicios ecosistémicos, pero a costos mayores que el valor económico de los mismos.
- c) Pagos hechos por adopción de actividades o de cambios en el uso del suelo que se hubieran hecho sin necesidad del incentivo.

Otro elemento importante a ser considerado es el riesgo de cambio de motivación, descrito como la posibilidad de desplazamiento de los motivos intrínsecos y culturales que llevan a la conservación, hacia motivos extrínsecos, como el dinero (Luck *et al.*, 2012). Esto ocurre cuando se tiene la percepción desde un enfoque económico, debido a los conceptos del modelo capitalista que obvia de una manera distinta las formas de valorar el mundo, desde los valores simbólicos, religiosos, éticos, morales y sociales (Albarracín, 2016). Por lo tanto, el posible efecto de la materialización de este riesgo es que, probablemente, al final de los programas de PSA se cambie nuevamente las actividades o el uso del suelo,

pudiendo generarse una pérdida mayor a la que se estaba evitando con el esquema. Esto debido a que las personas responderían solamente a estímulos económicos, llevando finalmente a un deterioro mayor no solo de los ecosistemas sino de la cultura, hecho especialmente preocupante para las nuevas generaciones (Albarracín, 2016).

Por estas razones, resulta evidente que la puesta en marcha de este tipo de esquemas depende, en gran medida, del proceso de relacionamiento y coordinación que tiene Parques Nacionales con las autoridades indígenas del PANI que, aunque ha presentado altibajos, se ha venido fortaleciendo a partir de las lecciones aprendidas que se tienen en el ejercicio de la gobernanza compartida con comunidades locales. La Figura 5 muestra una de las actividades coordinadas entre estas autoridades, en este caso, de gestión y conservación de la fauna local.



Figura 5. Trabajo coordinado entre comunidad PANI y el PNN Cahuinarí. Foto: archivo DTAM

La gestión ambiental del territorio amazónico se reviste de condiciones únicas que requieren del mismo tipo de reflexiones para generar herramientas que se alejen de las estructuras típicas y logren avanzar hacia los objetivos conjuntos de estas autoridades en favor de las PIC, no solo por su importancia en términos de representatividad ecosistémica, sino también por su realidad como medio de vida, materialización de la identidad étnica y cultural y su dinámica como un territorio vivo (Mistry y Berardi, 2016).

Respecto a los elementos de diseño analizados, es importante siempre que se planteen este tipo de incentivos, partir del análisis de las estructuras de poder y los posibles desequilibrios de saberes y enfoques presentes en las partes en negociación. Este análisis permitirá diseñar una etapa de alistamiento que concilie estas diferencias,

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

RESUMEN	equilibre las situaciones de información en cada parte y logre generar entendimiento de lo que para cada actor significan las relaciones naturaleza-cultura que van a ser objeto del incentivo (Albarracín, 2016).
PALABRAS CLAVE	
ABSTRACT	
KEY WORDS	Respecto a las formas de pago, es importante que se tenga en cuenta siempre que existen posibilidades más allá del dinero en efectivo, y que se consideren opciones como los pagos en especie o incluso el reconocimiento social (Suyanto, 2007) y político (el cual es un reclamo legítimo de los pueblos indígenas) de quienes generan las condiciones para garantizar los beneficios producidos por la funcionalidad ecosistémica. Es importante que la retribución sea comprendida por quienes la reciben, es decir, que no se entienda como un subsidio o un regalo, sino como la remuneración de unas acciones coherentes con los objetivos de manejo de los ecosistemas en sus territorios (Albarracín, 2016).
INTRODUCCIÓN	
MARCO CONCEPTUAL	
METODOLOGÍA	
RESULTADOS	
DISCUSIÓN	Adicionalmente, el análisis del contexto biofísico y de las relaciones naturaleza-cultura es necesario para evitar el riesgo de introducir el dinero como un elemento de conflicto entre los pueblos indígenas que participen del incentivo, considerando que si se genera un pago en dinero, el mismo puede ser utilizado indiscriminadamente para fines que pueden ir en contra, no solo del objetivo de conservación del incentivo, sino también en contra de las costumbres y modos de vida de las poblaciones, e incluso favorecer dinámicas económicas ilegales presentes en el territorio, como fue el caso de la minería en el área de influencia del parque en periodos anteriores (Albarracín, 2016).
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
AGRADECIMIENTOS	
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta estas observaciones frente a los elementos analizados anteriormente para el territorio PANI-PNN Cahuinarí, se propone que los incentivos que se generen para el mismo (y para el contexto amazónico colombiano) respondan a las PIC, bajo los principios de gratitud y reciprocidad que funcionan en el territorio PANI-PNN Cahuinarí. De esta manera, los elementos anteriormente mencionados se orientarán a mantener las condiciones de manejo y uso actual del suelo, más que a modificarlos, conservando también el medio de vida y la cultura de los pueblos originarios.

Este tipo de incentivo debe apelar principalmente a las motivaciones expresadas por los pueblos del PANI en su Plan de Vida (y los planes de vida de los pueblos y comunidades indígenas en los que se pretenda construir un incentivo de este tipo), en el que se establecen objetivos generales y específicos que fortalecen la organización y buscan generar bienestar a sus miembros. Así, la propuesta de un acuerdo recíproco para el mantenimiento de la biodiversidad (ARB) se articula a través de un reconocimiento dado por el manejo conjunto de las autoridades del PANI y el PNN Cahuinarí, en el que se retribuyen los resultados de la gestión compartida, entre otros la protección del bosque amazónico como valor de conservación y medio de vida sostenible, la protección a especies sombrilla como la tortuga charapa (*Podocnemis*

*expansa*), que favorecen el mantenimiento de condiciones y hábitats para las demás especies presentes en el territorio. Esto sumado a los beneficios ambientales percibidos en cuanto a calidad del aire y captura de carbono (Albarracín, 2016).

La apuesta de este incentivo es generar un esquema de servicio por servicio a través del cual se generen condiciones que permitan fortalecer al PANI en su cultura y su identidad como pueblos, bajo la premisa de una cultura en pie, un bosque en pie (Andoque *et al.*, 2011), reduciendo los riesgos de cambio de motivación respecto a lo que ocurriría con los pagos a través de dinero y el reto logístico que representa llevar el dinero hasta las comunidades, debido a las largas distancias existentes entre alguna entidad bancaria y el territorio, y las varias modalidades que se requieren para el transporte de las personas entre estos lugares (Albarracín, 2016). La Figura 6 muestra los elementos propuestos para el diseño del incentivo.

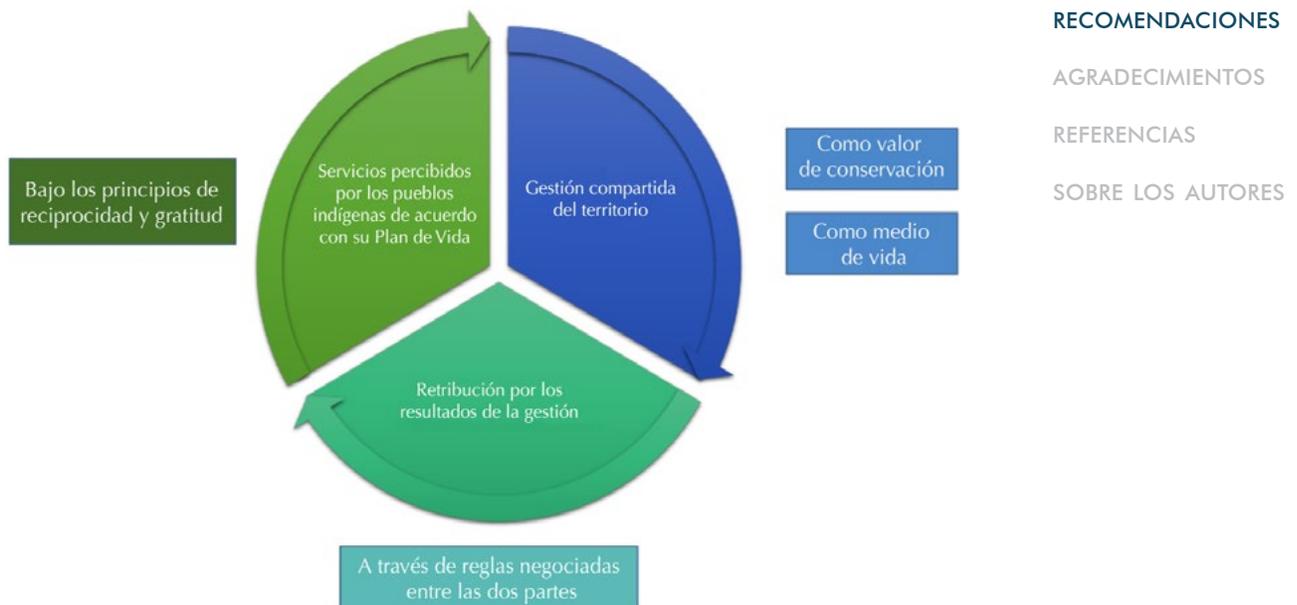


Figura 6. Elementos de la propuesta de Acuerdo Recíproco para el mantenimiento de la Biodiversidad en la Amazonía. Albarracín (2016).

La aplicación de incentivos económicos implica riesgos que pueden verse exacerbados por las particularidades del entorno en donde se apliquen. La Amazonía colombiana, con sus contextos ecosistémicos, sociales y culturales, requiere que las propuestas de incentivos sean cuidadosas en aspectos críticos, de manera que el instrumento diseñado pueda ser aceptado, mantenido y resulte sostenible para los actores que se relacionen con él (Albarracín, 2016). Adicionalmente, elementos como las particularidades de los pueblos indígenas debido a su sistema de pensamiento y ordenamiento territorial de naturaleza distinta, la dificultad para asumir el carácter público de las

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

RESUMEN	autoridades indígenas e incorporarlas como un componente del aparato estatal y la necesidad de establecer una estructura organizativa coherente, se constituyen como retos adicionales a tener en cuenta para este tipo de instrumentos de conservación (Gómez-Baggethun y Reyes-García, 2013).
PALABRAS CLAVE	
ABSTRACT	
KEY WORDS	
INTRODUCCIÓN	Por esta razón, la construcción de instrumentos incluyentes y amplios, que no se enfoquen únicamente en la estimación del valor económico de los servicios ecosistémicos para generar pagos, sino que considere las condiciones y contextos del entorno natural y de los actores que confluyen en él, hace que las comunidades se empoderen de su territorio. Del mismo modo, este proceder fortalece los sistemas de manejo (con herramientas como el caso del calendario ecológico que maneja la asociación PANI o la zonificación descrita en el Régimen Especial de Manejo) y se acercan al logro de sus objetivos de Plan de Vida, a través de la reciprocidad en la generación de condiciones de mantenimiento de los servicios ecosistémicos y el patrimonio natural que representa la Amazonia para el país (Albarracín, 2016). Tomar en consideración las maneras de financiamiento de las obras de desarrollo rural vinculadas a los pueblos indígenas, crear fondos de protección o brindar apoyo a las estrategias comunitarias, pueden también ser algunas posibilidades que tengan como norte la equidad y la inclusión (Llosa <i>et al.</i> , 2009).
MARCO CONCEPTUAL	
METODOLOGÍA	
RESULTADOS	
DISCUSIÓN	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
AGRADECIMIENTOS	
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	De igual forma, en la relación hombre-naturaleza, la reciprocidad se constituye como un principio fundamental que debe considerarse en la conceptualización de los servicios ecosistémicos de las áreas protegidas de la Amazonia colombiana. El conocimiento, las prácticas y las normas del manejo del territorio por parte de las comunidades locales contribuyen a que los servicios ecosistémicos sean sostenibles en el tiempo.
	Finalmente, es importante considerar que los elementos de enfoque para abordar esquemas e incentivos relacionados a los servicios ecosistémicos varían de acuerdo con las subregiones de la Amazonia, en este caso el piedemonte andino-amazónico, nororiente y planicie; ya que sus PIC, situaciones de manejo y propósitos de gestión son distintos, debido a las particularidades ecológicas, sociales, culturales, económicas y políticas del territorio (Albarracín, 2016). Esto último resulta fundamental en el desarrollo de iniciativas, procesos y proyectos que se diseñen e implementen en los diferentes contextos y en el marco del posconflicto como escenario en el corto y mediano plazo.
	Los retos que hoy presenta el cambio climático exigen miradas integrales que, en casos como el de la región amazónica, resultan aún más desafiantes teniendo en cuenta el diálogo intercultural que debe construirse a partir de la confianza, la transparencia y la ética. En general nos referimos a un proceso social que desborda los tiempos y las urgencias de los proyectos y los planes de corto plazo. Parques Nacionales Naturales y particularmente la Dirección Territorial Amazonía han avanzado de manera

decidida en este proceso, lo que sugiere un escenario viable para involucrar incentivos a la conservación que mantengan territorios resilientes, integrando las visiones de los pueblos indígenas que habitan estas áreas protegidas, generando espacios de manejo compartido como un ejemplo de convivencia y concertación para el logro de un objetivo común.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores extienden un agradecimiento especial a Hernán Alonso Montero, quien desde su labor en la DTAM estableció los lineamientos para el análisis de los incentivos y apoyó la realización del caso de estudio.

Agradecen también a la profesora Carmenza Castiblanco, quién apoyó desde el Instituto de Estudios Ambientales de la Universidad Nacional de Colombia la realización del caso de estudio.

## REFERENCIAS

- ACIYA y PNN. (2015). Capítulo 3 del documento *Avance REM PNN Yaigojé Apaporis*. Inédito.
- Albarracín, O. L. (2016). *Análisis de los pagos por servicios ambientales como una herramienta para el fortalecimiento de la gestión ambiental en la Amazonia colombiana. El caso del Parque Nacional Natural Cahuinari* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Estudios Ambientales, Bogotá. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/57741/>
- Andoque, I., Castro, H., Fuentes, D., Fuentes, H. F., Fuentes, H., Matapí, D., . . . Yucuna, A. M. (2011). En Quiceno, M. P., Vargas, C., Rodríguez, C. A. y De la Hoz N. (Edits.). *Incentivos a la conservación en territorios colectivos: Visión de algunas comunidades indígenas de la Amazonia colombiana.*, Bogotá: Tropenbos Internacional Colombia-Patrimonio Natural.
- Andrade, G., Sandino, J. y Aldana, J. (2011). *Biodiversidad y Territorio. Innovación para la gestión adaptativa frente al cambio global*. Bogotá: MAVD, IAVH.
- Castiblanco, C. comp. (2008). *Manual de valoración económica del medio ambiente*. Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Estudios Ambientales. Bogotá D.C., Colombia. 168 p
- Comberty, C., Thornton, T., Wyllie, V. de Echavarría y Patterson, T. (2015). Ecosystem services or services to ecosystems? Valuing cultivation and reciprocal relationships between and ecosystems. *Global Environmental Change*, 34: 247-262.
- Díaz, M. C. (2016). *Guía para la elaboración de planes de manejo en las áreas del Sistema de Parques Nacionales Naturales*. Bogotá: Parques Nacionales Naturales de Colombia.
- Echeverri, J. (2004). *Territorio como cuerpo y territorio como naturaleza. ¿Diálogo intercultural?* IMANI-Universidad Nacional de Colombia.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

- RESUMEN Engel, S., Pagiola, S. y Wunder, S. (2008). Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues. *Ecological economics*(65), 663-674.
- PALABRAS CLAVE GIZ. (2012). *Valor económico de los servicios ecosistémicos*. Bonn, Alemania: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).
- ABSTRACT Gobernación de Amazonas. (2010). *Nuestro departamento*. Recuperado de <http://www.amazonas.gov.co/territorios.shtml?apc=bbxx-4-&x=1365227>
- KEY WORDS Gómez-Baggethun, E. y Reyes-García, V. (2013). Reinterpreting Change in Traditional Ecological Knowledge. *Hum Ecol*,41, 643-647.
- INTRODUCCIÓN Gómez-Baggethun, E., de Groot, R., Lomas, P. y Montes, C. (2010). The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes. *Ecological economics*(69), 1209-1218.
- MARCO CONCEPTUAL IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. (2017). *Resumen ejecutivo Tercera Comunicación Nacional de Colombia a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Bogotá, Colombia.
- METODOLOGÍA IPBES. (2013). *Decisión IPBES 2/4: Marco conceptual de la Plataforma Intergubernamental Científico-normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas*. Recuperado de [https://www.ipbes.net/system/tdf/downloads/Decision\\_2\\_4\\_es\\_0.pdf?file=1&type=node&id=14651](https://www.ipbes.net/system/tdf/downloads/Decision_2_4_es_0.pdf?file=1&type=node&id=14651).
- RESULTADOS Jeffers, E., Nogue, S., Willis, K. (2015). The role of palaeoecological records in assessing ecosystem service. *Quat. Sci. Rev*,112, 17-32.
- DISCUSIÓN Llosa, J., Pajares, E. y Toro, O. (2009). *Cambio climático, crisis del agua y adaptación en las montañas andinas*. Lima, Perú: Red Ambiental Peruana. 392 pp.
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES Luck, G., Chan, K. M., Eser, U., Gómez-Baggethun, E., Matzdorf, B., Norton, B., y Potschin, M. (2012). Ethical considerations in on-ground applications of the ecosystem services concept. *BioScience*, 62(12), 1020-1029. doi:10.1525/bio.2012.62.12.4
- AGRADECIMIENTOS Miraña, J., y Guiro, A. (2013). *Diagnóstico socioeconómico*. PANI-Secretaría de Medio Ambiente de la Asociación PANI. Bogotá: Patrimonio Natural.
- REFERENCIAS Mistry, J. y Berardi, A. (2016) Bridging indigenous and scientific knowledge. *Science*, 352(6291), 1274-1275.
- SOBRE LOS AUTORES Moreno-Sánchez, R. (2012). *Incentivos económicos para la conservación. Un marco conceptual* (1a ed.). Lima, Perú: Iniciativa para la conservación en la Amazonia Andina.
- Onaindia, M. (2010). Biodiversidad y servicios de los ecosistemas. En *Servicios de los ecosistemas y bienestar humano* (pp. 9-14). Bilbao, España: Unesco.
- Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2001). *Política de Participación Social en la Conservación*. Bogotá, Colombia.
- Parques Nacionales Naturales de Colombia-Dirección Territorial Amazonia. (2011). *Ordenamiento ambiental y conservación. La experiencia de las áreas protegidas traslapadas con territorios indígenas en la Amazonía colombiana*. Bogotá, D.C. Colombia. 261 pp.
- Parques Nacionales Naturales de Colombia-PANI. (2014). *Régimen especial de manejo*. Leticia, Colombia. 143 pp.
- Parques Nacionales Naturales de Colombia-Dirección Territorial Amazonia. (2015). *Elementos de enfoque y ruta para desarrollar el tema de servicios ecosistémicos con*

- énfasis en áreas protegidas de la Amazonia traslapadas con territorios indígenas.* Documento de trabajo, Parques Nacionales Naturales de Colombia, Bogotá.
- Parques Nacionales Naturales de Colombia-Dirección Territorial Amazonia. (2016). *Proyección de la gestión para las áreas protegidas amazónicas en Colombia. Plan estratégico.* Bogotá, D.C. Colombia. 96 pp.
- Pascual, U., Muradian, R., Rodríguez, L. y Duraiappah, A. (2009). Exploring the links between equity and efficiency in payments for environmental services: A conceptual approach. *Ecological economics*,(69), 1237-1244.
- Prüssman, J., Suárez, C., Guevara, O. y Vergara, A. (2016). *Análisis de vulnerabilidad y riesgo climático del bioma amazónico y sus áreas protegidas. Proyecto «Visión Amazónica: áreas protegidas, soluciones naturales al cambio climático».* Cali, Colombia: Redparques. Parques Nacionales Naturales de Colombia. Ministerio del Ambiente - Ecuador. Servicio Nacional de áreas Naturales Protegidas por el Estado. WWF.
- Redparques. (2015). *Declaración de Redparques a la COP 21 de la CMNUCC.*
- Rincón-Ruiz, A., Echeverry-Duque, M., Piñeros A. M., Tapia, C. H., David, A., Arias-Arévalo, P. y Zuluaga P. A. (2014). *Valoración integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos: Aspectos conceptuales y metodológicos.* Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C. Colombia. 151 pp.
- Rodríguez, C. A. (2011). El banco del pensamiento y el banco de la negociación. *Serie documentos de trabajo.* Proyecto Incentivos a la Conservación. Fondo Patrimonio Natural y Tropenbos Internacional Colombia. Documento de Trabajo No.6. Bogotá, D. C. Colombia. 46 pp. Recuperado de: <https://www.scribd.com/document/139977016/El-banco-del-pensamiento-y-el-banco-de-la-negociacion>
- Rodríguez, S. M. (2016). *Lineamientos institucionales para afrontar el clima cambiante desde las áreas protegidas.* Bogotá, D.C., Colombia: Parques Nacionales Naturales de Colombia. 72 pp.
- Sinchi. (2007). *Balance anual sobre el estado de los ecosistemas y el ambiente de la Amazonia colombiana.* En Murcia, U. G. (Ed.). Bogotá: Instituto Sinchi.
- Suyanto, S. (2007). *World Agroforestry Centre.* Recuperado de: <http://www.worldagroforestrycentre.org/downloads/publications/pdfs/bc07202.pdf>
- Tacconi, L. (2012). Redefining payments for environmental services. *Ecological economics*, (73), 29-36.
- UAESPNN. (2011). *Ordenamiento ambiental y conservación: La experiencia de las áreas protegidas traslapadas con territorios indígenas en la Amazonia colombiana* (1a edición ed.). Bogotá: UAESPNN.
- UAESPNN-PANI. (2010). *Régimen especial de manejo interinstitucional.* Bogotá: UAESPNN.
- Wittmer, H., Berghöfer, A. y Sukhdev, P. (2010). TEEB- la economía de los ecosistemas y la biodiversidad. *Revista Ambienta.* Recuperado de: <http://www.revistaambienta.es/WebAmbienta/marm/Dinamicas/secciones/articulos/Pavan.htm>.
- Wunder, S. (2005). *Payments for ecosystem services: some nuts and bolts.* Jakarta: Center for International Forestry Research. 32 pp.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

METODOLOGÍA

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

RESUMEN	<b>SOBRE LOS AUTORES</b>
PALABRAS CLAVE	<b>Olga Lucía Albarracín Álvarez</b>
ABSTRACT	Economista. Magíster en Medio Ambiente y Desarrollo de la Universidad Nacional de Colombia.
KEY WORDS	
INTRODUCCIÓN	<b>David Novoa Mahecha</b>
MARCO CONCEPTUAL	Ecólogo con maestría en Conservación y uso de la Biodiversidad. Profesional especializado de la Dirección Territorial Amazonia, Parques Nacionales Naturales de Colombia.
METODOLOGÍA	
RESULTADOS	
DISCUSIÓN	<b>Sandra Milena Rodríguez Peña</b>
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	Ingeniera ambiental y sanitaria con maestría en Gestión Ambiental, profesional especializada de Parques Nacionales Naturales de Colombia.
AGRADECIMIENTOS	
REFERENCIAS	Citación sugerida
<b>SOBRE LOS AUTORES</b>	Albarracín-Álvarez, O. L., Rodríguez-Peña, S. M. y Novoa-Mahecha, D. (2019). Elementos de enfoque y estudio de caso para abordar los servicios ecosistémicos en áreas protegidas de la Amazonia colombiana. <i>Biodiversidad en la Práctica</i> , 4(1), 29-50.

# Biodiversidad EN LA PRÁCTICA

Documentos de trabajo del Instituto Humboldt



EDICIÓN  
**CAMBIO CLIMÁTICO**

VOLUMEN 4 - NÚMERO 1 - 2019 - PP. 51-85

Recibido: 15 de enero de 2018 -  
Aprobado: 11 de febrero de 2019.

Fabio Andrés Zabala-Forero  
Colectivo Proterra  
f.zabala.forero@gmail.com

Isai Victorino  
Colectivo Proterra  
isaivictorino@yahoo.com



CONTRIBUCIONES AL CONOCIMIENTO

## **Capacidad adaptativa y vulnerabilidad de la cuenca del río Orotoy ante el cambio climático, a partir del análisis de las variables de los medios de vida.**

Adaptive capacity and vulnerability to climate change in the Orotoy River basin based on the analysis of livelihood

### **RESUMEN**

La capacidad adaptativa en sistemas socioecológicos es fundamental para crear resiliencia en comunidades humanas, aunque se conoce muy poco sobre las relaciones que tiene con la vulnerabilidad y qué variables pueden estar influenciándola. Los objetivos de este trabajo fueron determinar qué variables tienen la mayor influencia en las unidades de análisis como las secciones de la cuenca, los entornos urbano-rurales y los perfiles de actores, para relacionarlas con la capacidad adaptativa al cambio climático y la vulnerabilidad potencial a cambios en temperatura y precipitación. Se elaboraron modelos exploratorios, con la información sobre medios de vida del año 2016 en la cuenca del río Orotoy. Se encontró que cada unidad de análisis en la cuenca varía de formas complejas con la vulnerabilidad, a razón de que las principales variables asociadas a la infraestructura básica y la capacidad económica tienen la mayor importancia en la capacidad de adaptación. Esta complejidad remarca la necesidad de evaluar el sesgo de las variables utilizadas por efecto de la escala de análisis, el bajo poder explicativo en el patrón y la heterogeneidad de las comunidades humanas en la cuenca. Consideramos clave priorizar índices para la construcción de capitales, así como reformular la vulnerabilidad más allá de cambios en las variables ambientales en el territorio.

RESUMEN **Palabras clave:** Capacidad adaptativa. Medios de vida. Sistema socioecológico. Vulnerabilidad climática.

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT **ABSTRACT**

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MATERIALES Y MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

Adaptive capacity in socio-ecological systems is a key feature to build resilience in human communities, although very little is known about its relationships to vulnerability and what are its influencing variables. The objectives of the present research sought to determine which variables have the greatest influence on the units of analysis such as the levels of the basin, urban-rural livelihoods and stakeholder profiles, to relate them to the adaptive capacity to climate change and the potential vulnerability to variation in temperature and precipitation. To analyze the relationship between variables, we created exploratory models using data on livelihoods sampled in 2016 for the Orotoy River basin. According to our results, each one of the units of analysis in the basin varies in complex ways with vulnerability, as the main variables associated with basic infrastructure and economic capital have the greatest importance for the adaptive capacity. This complexity highlights the need to evaluate bias in the variables caused by the scale of analysis, lack of explanatory power and heterogeneity of human communities in the basin. We consider it is critical to prioritize indexes for capital construction, as well as to reformulate vulnerability beyond changes in environmental variables.

**Keywords:** Adaptive capacity. Climatic vulnerability. Livelihoods. Socio-ecological system .

## INTRODUCCIÓN

La vulnerabilidad ha sido descrita como el grado de posible daño derivado de la exposición al peligro. Este concepto ha generado numerosas definiciones según el contexto en el que se utilice, ya sea para referirse a la fragilidad o sensibilidad de un sistema o para relacionarlo con otros conceptos como la adaptabilidad y la resiliencia (Liverman, 1990).

Específicamente, el estudio de la vulnerabilidad y la resiliencia ha sido poco común; tomándose como elementos independientes a pesar de que están muy relacionados entre sí, siendo ambos aspectos dinámicos y emergentes de un sistema (Füssel, 2007). En la actualidad, existe un interés especial en el análisis de la vulnerabilidad y resiliencia de los sistemas humanos en el contexto de la degradación ambiental y los desastres naturales, con el objetivo de generar políticas efectivas que favorezcan la sostenibilidad de las comunidades, y fortalecer la capacidad de manejo de los sistemas tanto humanos como ecológicos (Newell *et al.*, 2005).

Se sabe que los sistemas humanos tienen la cualidad de adaptarse a partir de la información que tienen sobre su entorno, estableciendo estrategias que están motivadas

por diversos factores (por ejemplo, bienestar, riesgo, oportunidad, etc.), y que les permite tomar decisiones para cambiar características de sus medios de vida (Fischer *et al.*, 2014). De igual manera, estas decisiones pueden abarcar diferentes escalas que interactúan entre sí, donde el individuo puede cambiar sus prácticas en sus cultivos, o el gobierno puede incentivar la adopción de diferentes políticas públicas a nivel nacional.

La capacidad de adaptarse es uno de los atributos fundamentales para la resiliencia de un sistema, y es diferente a sensibilidad y exposición. Este atributo en el contexto de los sistemas humanos, permite solucionar un problema y evitar traspasar un umbral crítico a partir del conocimiento y la acción colectiva (Bohensky *et al.*, 2010). En ese sentido, el éxito de la adaptación en el contexto de la degradación y los desastres naturales depende del conocimiento existente de las complejidades y dinámicas tanto de los ecosistemas, como de las sociedades humanas. Este enfoque necesariamente reconoce que los sistemas humanos y ecológicos pueden ser analizados de forma conjunta, como una sola unidad compleja, dinámica y adaptativa. La unión de ambos se denomina socioecosistemas o sistemas socioecológicos, los cuales se relacionan entre sí en la medida en que la infraestructura ecológica (*sensu* Yu, 2012; Cardoso Da Silva y Wheeler, 2017) genera recursos y servicios de los cuales se benefician las comunidades humanas (Vilardy *et al.*, 2011).

El análisis de los sistemas socioecológicos representa una herramienta clave para la gestión territorial de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (Guzmán y Castro, 2016), motivo por el cual el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt ha centrado esfuerzos en la investigación de estos sistemas, como en el caso del proyecto “Fortalecimiento de las capacidades de adaptación social y ecológica al cambio climático en la cuenca hidrográfica del río Orotoy (Meta)”. Esta cuenca tiene una gran importancia para miles de personas que se benefician de los servicios ecosistémicos que provee, y por los actuales conflictos socioambientales que existen en este territorio (Rincón-Ruiz, Castro *et al.*, 2016; Guzmán y Castro, 2016), varios que han sido impulsados por actividades como la explotación de hidrocarburos y los cultivos de palma africana.

Como parte de los procesos adelantados por el Instituto Humboldt en la cuenca se destaca el análisis de capacidad adaptativa al cambio climático, investigación que analizó condiciones de vulnerabilidad de diferentes hogares y perfiles de actores para el sistema socioecológico del río Orotoy (Victorino y Zabala-Forero, 2017). Durante dicha investigación, se calculó la capacidad adaptativa para diferentes unidades de análisis, pero no se determinaron qué características o variables podían estar asociadas a dichos valores. Además, se priorizó la necesidad de vincular información ecosistémica en escalas espaciales, para complementar el análisis y entender la relación existente entre capacidad adaptativa y vulnerabilidad al cambio climático. Esta información es clave, debido a que las capacidades de las personas y las características de sus hogares determinan las decisiones individuales necesarias para responder

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MATERIALES Y  
MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

**RESUMEN** positivamente al cambio climático (Victorino y Zabala-Forero, 2017); limitando tanto las acciones colectivas como las estrategias diseñadas a escalas diferentes (Adger *et al.*, 2009; Moser y Ekstrom, 2010).

**PALABRAS CLAVE**

**ABSTRACT**

**KEY WORDS**

**INTRODUCCIÓN**

**MATERIALES Y MÉTODOS**

A continuación se analizarán los datos recopilados por Victorino y Zabala-Forero (2017) con los objetivos de: i) determinar qué variables influyen la clasificación de las unidades de análisis para determinar la capacidad adaptativa en la cuenca del río Orotoy y ii) analizar la relación entre la vulnerabilidad potencial a cambio climático y la capacidad adaptativa de las diferentes unidades de análisis.

**RESULTADOS**

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

**DISCUSIÓN**

### **Área de estudio**

**CONCLUSIONES**

**REFERENCIAS**

**SOBRE LOS AUTORES**

**ANEXOS**

La cuenca hidrográfica río Orotoy se sitúa en el departamento del Meta. Este nace en la parte media de la cordillera Oriental, en el cerro Orotoy, a una altitud de 1620 m s. n. m., en las veredas San Juanito y El Retiro (Acacias), Fresco Valle y El Recreo (Guamal) (Parada-Guevara *et al.*, 2017). Tiene un área de 188,23 km<sup>2</sup>, una longitud de 53,6 km y ancho promedio de 3,5 km. Al norte limita con el municipio de Acacias, al sur con el municipio de Castilla La Nueva, al oriente con el municipio de San Carlos de Guaroa y al occidente con el municipio de Guamal. El río Orotoy desemboca en el río Acacias, sobre los 255 m s. n. m. en las veredas Dinamarca (municipio de Acacias), Barranco Blanco (Castilla La Nueva) y Patagonia (San Carlos de Guaroa). En total, atraviesa 24 veredas (Caro-Caro, Torres-Mora y Ramírez-Gil, 2011), y se estima que en las veredas que pertenecen a la cuenca hay cerca de 4978 habitantes que se congregan en los centros poblados de la cuenca media (Instituto Humboldt, 2015).

En la cuenca del río Orotoy existe una gran variedad de actores, quienes de acuerdo con sus funciones, sus características socioeconómicas y culturales, sus relaciones institucionales, entre otras particularidades, se articulan de manera directa e indirecta con el río (Victorino y Soche, 2015). Como consecuencia, en la cuenca se han generado importantes procesos de transformación, derivados de la explotación de hidrocarburos, cultivos de palma y pequeñas ganaderías, entre otras causas (Osorio, 2014).

### **Recolección de la información**

La información se recopiló durante el año 2016, en el proceso de análisis de la capacidad adaptativa a cambio climático basada en medios de vida, investigación que se basó en la propuesta de Chambers y Conway (1992) para el análisis de los capitales o las capacidades (por ejemplo, conocimiento) y los recursos (por ejemplo, ingresos económicos, los bienes y los servicios ecosistémicos) que les permiten a las personas realizar sus actividades diarias y generar beneficios.

Para aproximarse al estado de los capitales, se utilizó la propuesta metodológica y conceptual de Pereira *et al.* (2016), la cual prioriza las variables claves que componen cada capital para la cuenca del río Orotoy. Se utilizaron las siguientes fuentes: información derivada de la encuesta con preguntas relacionadas a las condiciones sociales, económicas, humanas, físicas y naturales de cada persona, y datos a nivel veredal del Sistema de Identificación de Potenciales Beneficiarios de Programas Sociales (Sisben) (Victorino y Zabala-Forero, 2017).

## Cálculo de la capacidad adaptativa

Para cuantificar la capacidad de adaptación (CA<sub>adap</sub>) al cambio climático se siguió la metodología propuesta por Hahn, Riederer, y Foster (2009), la cual permite aproximarse a esta, a partir de información primaria y secundaria. Para calcular la CA<sub>adap</sub> de forma cuantitativa, y asegurar su interpretación, se realizó el procedimiento de la Figura 1.

Para el proceso general fue necesario tener tanto el *I\_valor*, que es un valor que representa la tendencia central de la unidad de análisis definida para cada estudio, por ejemplo, el promedio de hijos menores de edad en la cuenca. Adicionalmente, entre el paso 2 y 3 fue necesario que una vez se defina la interpretación de la variable y del *I\_valor*, se realice la adecuada selección de la ecuación para la estandarización del índice. Por ejemplo, se utilizó la ecuación B en el ejemplo de la Figura 1 debido a que el aumento en la variable genera la disminución de la capacidad adaptativa *i.e.*, mayor promedio del número de hijos en edades vulnerables aumenta la vulnerabilidad de los hogares, y por ende, reduce la capacidad adaptativa a situaciones de cambio climático. De ser el caso opuesto, se deberá utilizar la ecuación A, como en el caso de las variables: i) ahorro monetario, ii) ingresos económicos de los hogares iii) nivel educativo, etc. En ese sentido, para estas variables el aumento tanto del valor del índice como de los capitales generará el aumento en la capacidad adaptativa como valor.

Posteriormente, este valor se debe estandarizar utilizando el valor mínimo (*S<sub>min</sub>*) y máximo (*S<sub>max</sub>*) encontrado en cada unidad de análisis, repitiendo del paso 1 al 3, para cada variable. Este proceso permite obtener valores en una misma escala, facilitando la comparación entre diferentes unidades de interés (por ejemplo, comunidades, municipios, etc.).

En el paso 5, para el cálculo de capacidad adaptativa se realiza la sumatoria de cada capital (*Capital<sub>i</sub>* en la Figura 1), multiplicado por el número de índices (*W<sub>d</sub>*) de cada capital y dividido por el número total de índices para todos los capitales ( $\sum$ ). Durante este proceso, se puede dar pesos a cada capital o incluso a las variables, con la finalidad de que aporten en mayor medida al índice de capacidad adaptativa. Aunque esta opción no se realizó para la presente investigación, se sugiere tenerlo en cuenta a futuro, debido a que puede permitir una mejor contextualización de los medios de vida según las condiciones locales. Para más información sobre el cálculo de CA<sub>adap</sub>, revisar el documento de Hahn *et al.* (2009).

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MATERIALES Y  
MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN  
 PALABRAS CLAVE  
 ABSTRACT  
 KEY WORDS  
 INTRODUCCIÓN  
 MATERIALES Y MÉTODOS  
 RESULTADOS  
 DISCUSIÓN  
 CONCLUSIONES  
 REFERENCIAS  
 SOBRE LOS AUTORES  
 ANEXOS

El índice de CAdap y los valores de los capitales se calcularon para las unidades de análisis: los diferentes niveles en la cuenca (alta, media y baja), los entornos (rural y urbano de cada nivel) y para los perfiles de actores encuestados (usuarios productores agropecuarios-UPAP, usuarios productores otros-UPO, usuarios relacionados con petroleras-UNPPE y usuarios no productores otros-UNPO), tal y como se describe en (Victorino and Zabala-Forero, 2017).

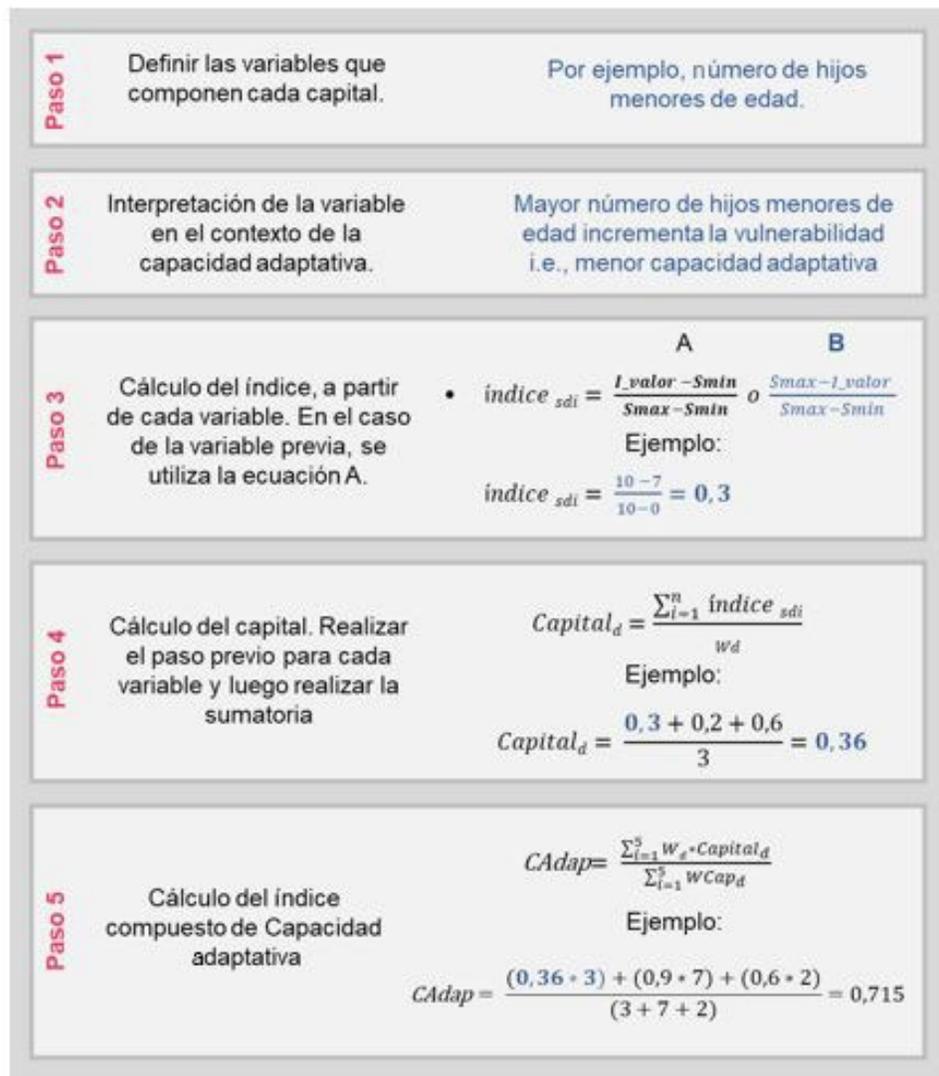


Figura 1. Proceso de cálculo de la capacidad adaptativa.

Usando la información priorizada y los posibles índices de la CAdap de los usados en el análisis de Victorino y Zabala-Forero (2017) en la cuenca del río Orotoy, se diseñó una encuesta con preguntas que abordan información clave sobre los capitales y características de los medios de vida, la cual se aplicó a 86 personas en total. Para una descripción a profundidad de la metodología de recolección de información, se recomienda revisar la investigación de Victorino y Zabala-Forero (2017).

## Análisis de la información

### Relación entre las variables de la encuesta y posible agrupamiento entre individuos

Para determinar colinealidad entre las variables utilizadas para el análisis de capacidad adaptativa se realizó una correlación de Spearman en el entorno de programación R (R Development Core Team, 2016), para identificar las variables que presentan un coeficiente de correlación superior o igual al 75 %. Posteriormente, se utilizó la información en bruto de los índices de cada uno de los cinco capitales para construir un análisis de coordenadas principales (PCoA), con la finalidad de identificar patrones de agrupamiento a partir de las respuestas de los encuestados. Este procedimiento se realizó en el paquete ape (Paradis *et al.*, 2004) utilizando la distancia de Gower.

### Relación de las variables con la capacidad adaptativa para las diferentes unidades de análisis

A partir de los cálculos de capacidad adaptativa para las unidades de análisis i) perfil de actores, ii) nivel en la cuenca (zona alta, media, baja) y iii) entornos urbanos y rurales para cada nivel o zona (resultados presentados en Victorino y Zabala-Forero, 2017), se analizó la relación de las variables utilizadas de cada capital y cada unidad de análisis, utilizando el enfoque de aprendizaje automático Random Forest (RF) (Breiman, 2001); útil en las situaciones en las cuales se presentan modelos complejos no lineales. El objetivo de uso de RF fue realizar un análisis exploratorio (mas no realizar un modelo predictivo) de las variables relacionadas con la discriminación de las unidades de análisis, y, por lo tanto, con la capacidad adaptativa en la cuenca.

Para poder relacionar los índices de los capitales con la capacidad adaptativa, a partir de un conjunto de datos constituido por 81 encuestas (se descartaron 5 por tener ausencia en algunas respuestas) se dividieron los datos en dos subconjuntos aleatorios; uno de entrenamiento (70 %) y otro de prueba (30 % restante). La división del dataset se realizó para probar el modelo construido en RF con una submuestra que, aunque no independiente, permite ensayar la precisión del RF.

Tanto los datos de prueba como los de entrenamiento estaban compuestos de la variable dependiente (capacidad adaptativa de cada unidad de interés) y las variables predictivas (32 en total, que corresponden a cada índice de los capitales: (Anexo 1. Tabla 2) que obtuvieron una correlación baja entre sí ( $>0,70$ ). Para aquellas unidades de interés que tenían una muestra altamente desbalanceada, se realizó el ajuste de las probabilidades; fijando que se encontrara el 100 % de aquellas muestras pequeñas (entornos rurales y perfiles UPO y UNPEE), mientras que para las muestras más abundantes se ajustó para que se utilizara el 50 % de datos aleatorios en cada árbol.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MATERIALES Y MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN	El modelo RF se construyó con el subconjunto de entrenamiento, creando árboles a partir de cinco variables predictivas seleccionadas aleatoriamente (correspondientes a la raíz cuadrada del total de predictores). En total, cada ensamble o “bosque” estaba constituido por 4001 “árboles”, y se analizó su precisión por medio de la tasa de error OOB (Out of Bag). Para determinar la importancia de las variables para cada modelo RF se utilizaron los índices disminución media de precisión (Mean Decrease Accuracy, MDA) y disminución media del índice GINI (Mean Decrease Gini, MDG). Con el subconjunto de prueba se construyó una matriz de confusión para la obtención de la precisión del modelo RF (entrenado previamente) y el estadístico Kappa. Los anteriores cálculos se realizaron utilizando los paquetes Random Forest (Liaw y Wiener, 2002) y caret (Wing <i>et al.</i> , 2016) del entorno de programación R (R Development Core Team, 2016).
PALABRAS CLAVE	
ABSTRACT	
KEY WORDS	
INTRODUCCIÓN	
MATERIALES Y MÉTODOS	
RESULTADOS	
DISCUSIÓN	
CONCLUSIONES	<i>Relación de la capacidad adaptativa con la vulnerabilidad potencial a cambio climático</i>
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	Previamente, Victorino y Zabala-Forero (2017) identificaron que las unidades de análisis entornos urbanos o rurales de cada zona, y los perfiles de actores fueron más idóneos para el cálculo de adaptación potencial a cambio climático en comunidades humanas heterogéneas. Por este motivo, se utilizaron los valores de capacidad adaptativa obtenidos en la cuenca, para relacionarlos con la magnitud potencial de la vulnerabilidad a cambios de precipitación y temperatura, identificada a nivel veredal por Ruales (2014).
ANEXOS	

Para analizar la relación entre vulnerabilidad potencial y la capacidad de adaptación, se construyó un modelo general aditivo (General Additive Model (GAM), en inglés) utilizando una distribución gamma, disponible en el paquete mgcv (Wood, 2015) del entorno de programación R versión 3.3.2 (R Development Core Team, 2016). En el modelo GAM, las variables capacidad adaptativa de los individuos para entornos (CA\_Entornos) y actores (CA\_Act) fueron analizadas según la vulnerabilidad de las veredas de cada uno de los 86 individuos encuestados.

## RESULTADOS

### Similaridad en las variables y agrupamientos de los individuos

Previamente, se identificó que la capacidad adaptativa presentó diferencias marginales en las diferentes unidades de análisis (Victorino y Zabala-Forero, 2017). De las variables utilizadas (Anexo 1. Tabla 2), ninguna presentó colinealidad entre sí (Anexo 2), indicando que al menos, en términos cuantitativos, la información primaria utilizada para los capitales tiene comportamientos diferentes y están reflejando aspectos distintos de los medios de vida.

En cuanto al posible agrupamiento según las unidades de análisis, el análisis de coordenadas principales (PCoA) encontró que el principal patrón en los medios de vida de los encuestados está asociado con diferencias entre los individuos según el

nivel en la cuenca (i.e., cuenca alta, media y baja) (Figura 2), las cuales se relacionan con el primer eje de variación. Por otro lado, se identifica que la cuenca baja tiene la mayor similitud entre sus encuestados, mientras que las demás posibles categorías de agrupamiento (i.e., actores o entornos) no presentan un patrón gráfico claro (Figura 2). Sin embargo, en total los ejes 1 y 2 tan solo explican el 17,84 % de la variación de las respuestas.

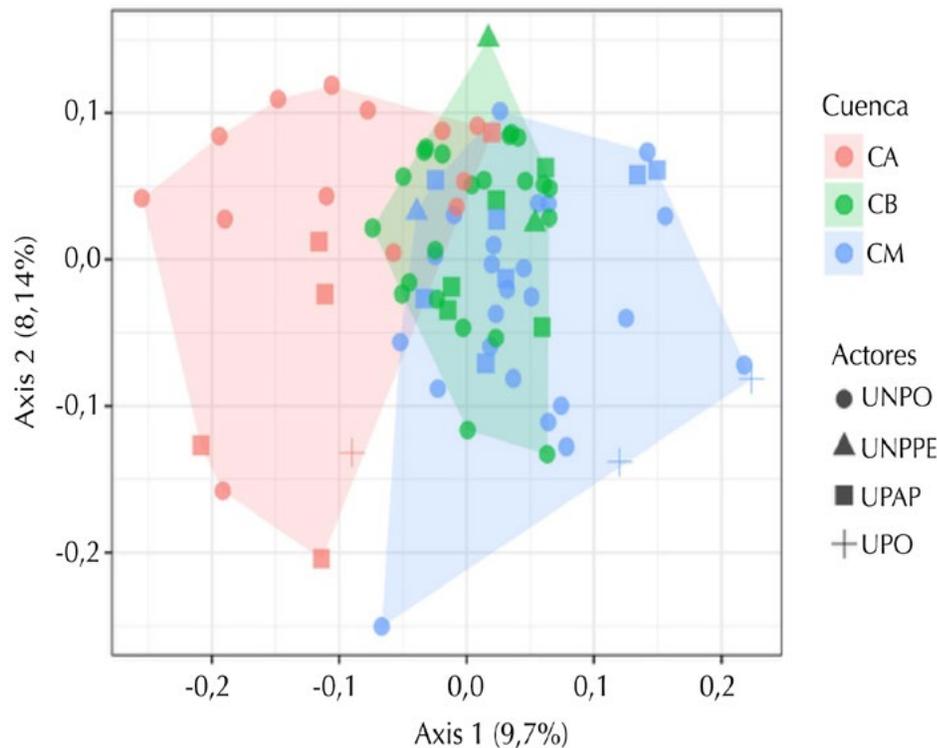


Figura 2. Análisis de coordenadas principales para uno de los encuestados. Según los colores se discriminan los perfiles de actores y las formas están relacionadas con el nivel de la cuenca a la que pertenecen; triángulo=cuenca baja, cuadrado=cuenca media y círculo=cuenca alta.

En el Anexo 1. Tabla 2 se presenta la información obtenida para el río Orotoy en términos de los índices seleccionados que, aunque no expresan grandes diferencias entre sí, pueden orientar el resultado del agrupamiento por niveles en la cuenca de la Figura 2. Por ejemplo, para el capital humano se encontró que la cuenca alta presenta los valores más bajos al tener la mayor dificultad de acceso a centros de salud, el menor número de reglas identificadas por los encuestados y la mayor cantidad de hijos vulnerables. Para este capital, el índice relacionado con los de medios de comunicación utilizados fue el que obtuvo los valores más bajos en la cuenca baja.

En el caso del capital social, la cuenca alta fue la que presentó el valor más alto, y se destacó por la mayor participación en la creación de normas, mayor número

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MATERIALES Y MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN	de personas que ayudarían en una emergencia económica y el mejor funcionamiento percibido por los encuestados de las organizaciones comunitarias.
PALABRAS CLAVE	
ABSTRACT	En el capital económico, este se encuentra en mejor estado en la cuenca baja, al presentar los valores más altos en términos de ingresos, menor número de actividades que generaron pérdidas y el mayor monto de ahorro (casi siete veces más que en las demás cuencas). A diferencia de los demás capitales, este es el único que presenta diferencias altas, debido a que los valores para esta zona en la cuenca representan el doble de los promedios estimados para las demás (en otras palabras, la cuenca alta y media).
KEY WORDS	
INTRODUCCIÓN	
MATERIALES Y MÉTODOS	
<b>RESULTADOS</b>	
DISCUSIÓN	Con respecto al capital físico, la cuenca media presentó los valores más altos en la mayoría de los subíndices; se destaca que la cuenca alta obtuvo los porcentajes más bajos en la provisión de servicios básicos (energía acueducto y gas) e infraestructura asociada al hogar como la cocina, mientras que en la cuenca baja los porcentajes más bajos se asocian a la posesión de medios de transporte y de vivienda. Llamativamente, la cuenca alta presenta los valores más altos de propiedad de la vivienda, lo cual es contrastante con la situación del capital físico en la cuenca. Por último, para el capital natural se identificó que el área con los valores menores es la cuenca baja, en términos del número de problemas ambientales que perciben y de animales/plantas que ya no son comunes. Sorpresivamente el 100 % de las personas expresaron percibir cambios en el clima.
CONCLUSIONES	
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	
ANEXOS	

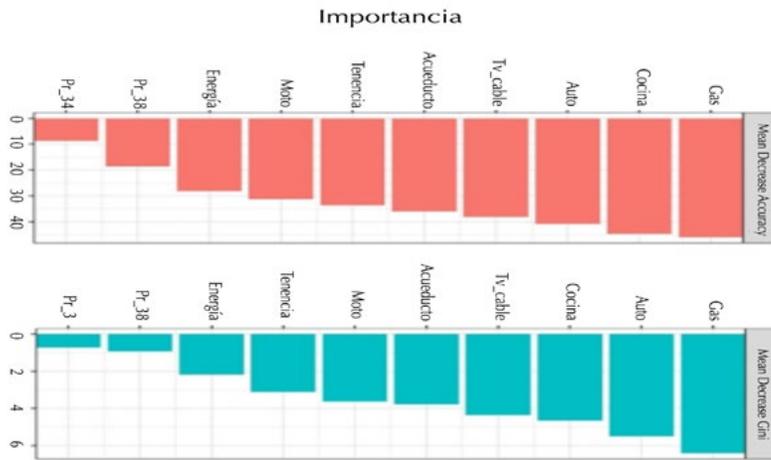
### Modelos según Random Forest

De los modelos creados en Random Forest (RF), el mejor según su tasa de error corresponde al ensamblaje de clasificación para la unidad de interés cuenca (OOB= 3,17 %) seguido por los entornos de la cuenca (OOB= 7,94 %) y los actores (OOB= 26,9%) (Tabla 1). Para los modelos de cuenca y entorno, a pesar de que existen diferencias de cerca del 4 % en la tasa de error, el estadístico kappa reporta un porcentaje similar de concordancia de cada modelo RF en relación con los valores observados.

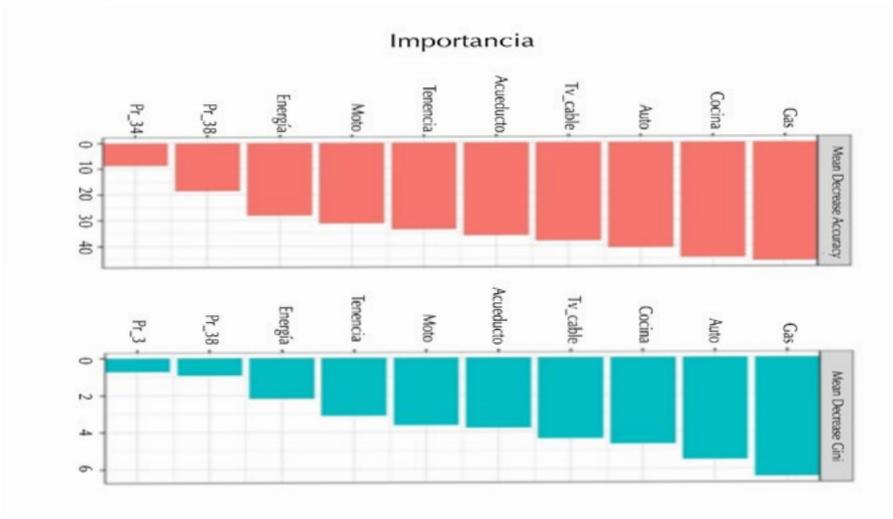
Tabla 1. Modelos RF para las unidades de interés. La tasa de Error OOB corresponde al modelo creado a partir del dataset de entrenamiento (70 % de los datos) mientras que tanto la precisión y el estadístico Kappa se derivaron de las predicciones realizadas con el dataset de prueba (30 % de los datos).

Unidad respuesta	Tasa de error OOB	Precisión (CI al 95 %)	Kappa
Cuenca	3,17%	0,94 (0,72 0,99)	0,91
Actores	26,98%	0,77 (0,52 0,93)	0,38
Entornos de la cuenca	7,94%	0,94 (0,72 0,99)	0,91

A.



B.



C.

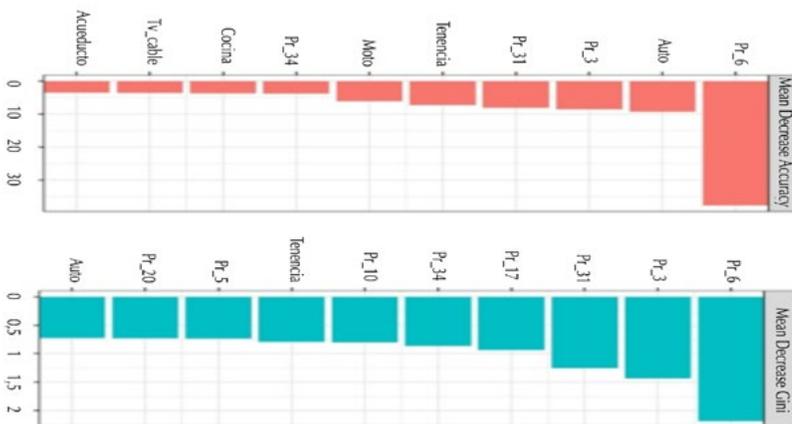


Figura 3. Índice MDA (Disminución en la precisión o Mean Decrease Accuracy) e índice MDG (Disminución en el Gini o Mean Decrease Gini) para cada uno de los modelos. Cada gráfica representa las diez mejores variables según cada índice para el RF según: cuenca (A), actores (B) y entornos de la cuenca (C).

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MATERIALES Y MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MATERIALES Y  
MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

En general, los modelos de clasificación para escalas espaciales (cuenca y entornos) reportaron como mejores variables clasificatorias a los índices del SISBEN *i.e.* el capital físico, en conjunto con las preguntas pr\_38 (porcentaje de personas que cocinan con leña), pr\_31 (promedio de ingresos anuales), pr\_34 (promedio de ahorro) y pr\_3 (años viviendo en la vereda o lugar de residencia) (Figura 3). En contraste, para generar la clasificación para actores se requiere de la inclusión de otras variables, como la pr\_6 (número de actividades económicas que realiza), pr\_3 (años viviendo en la vereda o lugar de residencia), pr\_31 (promedio de ingresos anuales) y pr\_17 (número de personas que ayudarían en una dificultad familiar), en conjunto con algunas de las variables del SISBEN.

### Relación de la capacidad adaptativa con la vulnerabilidad potencial al cambio climático

Para las unidades definidas como de interés, únicamente el modelo de entornos resultó significativo (desviación explicada=42,3 %  $P < 0,001$   $n=86$  Figura 4), mientras que para actores no se pudo ajustar. En ese sentido, el modelo GAM para la relación entre capacidad adaptativa y vulnerabilidad potencial, no presenta un comportamiento lineal. En la Figura 4 se presenta la relación mediante una curva suavizada, que nos indica la existencia de situaciones donde se puede presentar un incremento proporcional en ambas variables *i.e.*, el aumento en vulnerabilidad implica aumento en capacidad adaptativa, o también relaciones inversas, donde un incremento en la vulnerabilidad implica disminución en la capacidad adaptativa.

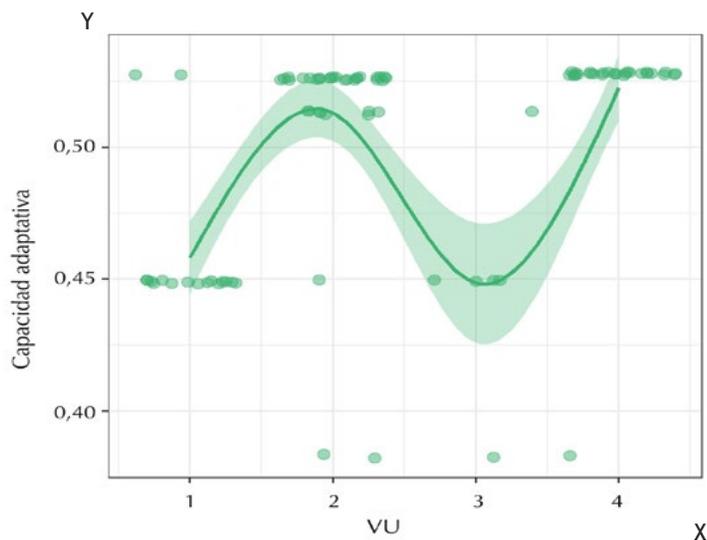


Figura 4. Capacidad adaptativa para las unidades de análisis y la vulnerabilidad potencial. El eje Y corresponde a los valores del índice de capacidad adaptativa, mientras que el eje X es la vulnerabilidad potencial de la cuenca según la clasificación de Ruales (2014), donde 1 es la menor magnitud y 4 es la máxima. La línea representa la tendencia central y el área sombreada los intervalos de confianza al 95 %.

## DISCUSIÓN

### Medición de la capacidad adaptativa para la cuenca del río Orotoy.

A partir de los resultados se puede evidenciar que la medición de medios de vida con el objetivo de aproximarse a la capacidad de adaptarse requiere de información de múltiples fuentes, las cuales son necesarias para poder describir el patrón complejo de los sistemas socioecológicos. En ese sentido, el cálculo de la capacidad de adaptación frente al riesgo a cambio climático pierde información vital si únicamente se toma como referencia el valor obtenido para el índice compuesto de CA<sub>dap</sub>, motivo por lo cual es fundamental realizar la interpretación a la luz de la información de los capitales.

A pesar de que ninguna de las variables utilizadas para cuantificar los capitales de los individuos presentó alta colinealidad entre sí, siendo complementarias y representando diferentes aspectos de los hogares, el análisis indicó la existencia de una gran proporción de información no explicada; tanto el ordenamiento como los GAM tuvieron un poder explicativo de la variación de los datos por debajo del 42 %. Esta baja calidad en la discriminación de un patrón, señala que la complejidad de factores pueden incidir de manera directa o indirecta en atributos como la resiliencia, la sensibilidad y la adaptación, generando resultados que no son fácilmente predecibles (Antwi *et al.*, 2015).

Según Guzmán y Castro (2016), los niveles de la cuenca son unidades claves para el análisis de capacidad adaptativa *i.e.*, la división de la cuenca en baja, media y alta facilitan la discriminación espacial y de condiciones para el sistema socioecológico de la cuenca. En nuestro caso, se identificó por medio de los modelos de RF que las variables claves en la diferenciación de los niveles de la cuenca, al igual que para entornos, son aquellas del SISBEN o las utilizadas para la medición del capital físico.

Esta influencia en los valores de CA<sub>dap</sub> se asocia tanto con la ausencia del registro de información de los centros poblados de la zona alta de la cuenca, como por la influencia de sus características socioeconómicas. Por ejemplo, Osorio (2014a) destaca que los sistemas típicos de la cuenca alta son la ganadería a pequeña escala, cultivos de pan coger y la piscicultura. En ese sentido, la baja adaptabilidad de la cuenca alta es el resultado de la dependencia a los recursos naturales y de los medios de vida que se desarrollan principalmente en ámbitos rurales, donde la prestación de servicios básicos es menor que en entornos urbanos.

Otros trabajos como el análisis en la Amazonia peruana de Carlos-Gómez y Moreno-Sánchez (2015) identifican que la influencia de la pobreza puede afectar la capacidad de adaptación ante desastres, al no tener dotación mínima de equipos necesarios para alimentarse, movilizarse y protegerse. En ese sentido, las condiciones físicas y económicas influyen en los resultados, explícitamente donde los bienes y

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MATERIALES Y  
MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN	servicios con los que se cuenta en la casa son los principales determinantes de las diferencias en CAAdap a nivel de cuenca y en los contrastes de los entornos urbano y rurales, índices que pueden ser tratados como indicadores de pobreza estructural. Sin embargo, es posible que existan otros elementos que no se evaluaron en el presente estudio, como, por ejemplo, las estrategias para adaptación que se han desarrollado de manera individual o manera colectiva para hacer frente a situaciones como la sequía, las inundaciones, los cambios en regímenes de precipitación, la pérdida de productividad, etc. Aunque el análisis realizado soporta la idea de que las variables del Sisben tienen el mayor potencial para determinar la CAAdap, existe la necesidad de abordar preguntas relacionadas a: ¿Qué tan importante es el capital físico?, ¿La metodología debería dar pesos distintos a ciertos capitales según el contexto de análisis?, ¿Qué otras variables deberían incluirse para evaluar aspectos claves como el capital social y natural?
PALABRAS CLAVE	
ABSTRACT	
KEY WORDS	
INTRODUCCIÓN	
MATERIALES Y MÉTODOS	
RESULTADOS	
DISCUSIÓN	
CONCLUSIONES	En cuanto a los modelos de clasificación RF para Actores, se encontró una baja precisión en el algoritmo de clasificación (Tabla 1), resultado relacionado con la similitud de los medios de vida tanto de ciertos perfiles de actores (por ejemplo, UPAP y los UNPO, más información disponible en Victorino y Zabala-Forero, 2017), la baja discriminación de las respuestas de la encuesta (Figura 2) y el desbalance en las unidades de interés. Con respecto a este último aspecto, aunque la mayoría de los actores de la muestra corresponden al perfil UNPO, hay que señalar que es una realidad asociada principalmente a la cuenca media y a los efectos de las economías emergentes, como los hidrocarburos, la cual ha ocasionado el crecimiento de los centros urbanos y la concentración de la población en esta sección de la cuenca.
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	
ANEXOS	

Así mismo, mientras previamente se destacó la importancia que tiene el capital físico sobre la determinación de la CAAdap para entornos y niveles de la cuenca, en el caso de los perfiles de actores el patrón es complejo y requiere de otras dimensiones diferentes a la física para discriminar cada categoría. Para los modelos RF las variables que fueron claves a la hora de determinar a qué perfil de actores corresponde fueron el ingreso económico anual, las actividades económicas que realiza, los años que lleva viviendo en la vereda y el índice de confianza ante una dificultad familiar. Este resultado indica que la elaboración de perfiles de actores se aproxima mejor a las características de los medios de vida de un individuo y hogar, en contraste a la escala espacial, como lo es la cuenca y los entornos.

La cuenca del río Orotoy tiene una alta heterogeneidad en términos de las personas que la habitan y las prácticas socioeconómicas que en ella se realizan (Victorino *et al.*, 2017), diferencias que pueden ser evaluadas mediante el análisis a escala de actores, el cual permite indagar en grupos de personas heterogéneos. Bajo este enfoque, se destaca que los medios de vida son distintos entre los miembros de una misma comunidad, permitiendo corroborar que la vulnerabilidad es contexto-dependiente (Victorino y Zabala-Forero, 2017)

y varía entre los medios de vida que tiene cada individuo (Adger *et al.*, 2005). Esta información es clave para el diseño de estrategias orientadas a grupos poblacionales específicos (Smit y Wandel, 2006).

### Relaciones entre vulnerabilidad y capacidad adaptativa

Múltiples investigaciones han trabajado aspectos asociados a la vulnerabilidad o la capacidad adaptativa como conceptos diferentes y separados, o incluso, los han utilizado como conceptos inversamente relacionados. Nelson *et al.* (2010) encontraron que las áreas de Australia con una alta vulnerabilidad climática están asociadas a una alta capacidad de adaptación. Pero, como algunos autores han resaltado, existe una alta complejidad en las relaciones entre la capacidad de adaptarse y la vulnerabilidad de los sistemas socioecológicos (Antwi *et al.*, 2015; Liverman, 1990), como en el caso de este estudio. Para nuestro modelo, la relación entre capacidad de adaptación y la vulnerabilidad potencial a cambios en el clima y la precipitación varían de formas diferentes a una tendencia lineal. En ese sentido, las áreas con características como deficiencias en los ingresos y en infraestructura básica, no necesariamente son aquellas que potencialmente se encuentran expuestas a los impactos negativos fuertes en un escenario de cambio en temperatura y precipitación en la cuenca del río Orotoy. Esto debido a que dichas variables, que aunque aumentan la sensibilidad social tanto en áreas urbanas como rurales (Yenneti *et al.*, 2016), dependen de las condiciones generales de la vulnerabilidad y por lo tanto, su importancia puede variar según fortalezas en los demás capitales.

Aunque vincular la vulnerabilidad y la capacidad adaptativa no es común en las investigaciones, la información derivada puede orientar de manera correcta las decisiones y los esfuerzos en términos de generar sistemas socioecológicos más resilientes (Liverman, 1990). Sin embargo, es necesario analizar el contexto de la vulnerabilidad, debido a que la existencia de factores económicos, sociales, políticos, etc., influyen en las comunidades humanas de manera compleja, más allá que los cambios en las características ambientales (Eriksen *et al.*, 2011). En la cuenca del río Orotoy es necesario contextualizar que esta puede ser vulnerable a otros procesos (por ejemplo, pobreza, nuevos motores de transformación, etc.) diferentes a los naturales, que podrían generar sinergias negativas para la resiliencia de las comunidades, aumentando la magnitud del impacto por efecto de los cambios del clima local (Rincón-Ruiz, Lara *et al.*, 2016).

En el caso de los actores, la falta de valores significativos para el modelo GAM y el bajo desempeño de los modelos RF puede estar relacionado a la falta de homogeneidad de las comunidades en su capacidad adaptativa (Ruiz-Mallén *et al.*, 2017), donde las numerosas deficiencias afectan el rendimiento del GAM. En ese sentido, aunque los perfiles tienen el potencial para aproximarse a la diversidad de actores en un sistema socioecológico, existe la necesidad de ex-

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MATERIALES Y  
MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN plorar nuevas variables que clarifiquen la capacidad de adaptarse y que permitan hacer conexiones tanto con la vulnerabilidad ecosistémica y el contexto local, como con las características de los actores de la cuenca.

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

### Implicaciones metodológicas

INTRODUCCIÓN

MATERIALES Y MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

Para este estudio, y en lo referente a la medición de la capacidad de adaptación al cambio climático, se utilizó casi la totalidad de los índices propuestos por Pereira *et al.* (2016) para la medición de capital financiero humano y social, mientras que para el capital físico y natural se optó por realizar una adaptación (utilizar Sisben e incluir algunas preguntas de percepción) para lograr obtener información que se aproximara a dichas dimensiones. Desde nuestra perspectiva y reconociendo que cada análisis de CAdap es contexto-dependiente, se encontró que la metodología basada en capitales y en la construcción del índice compuesto (basado en estos) está reflejando pocas diferencias desde lo local. Esto implica que existe una alta influencia de elementos que se podrían categorizar como regionales *i.e.* base de datos del Sisben. Por tanto, es necesario tener en cuenta que los métodos para el cálculo de la adaptación a cambio climático deben tener en cuenta la escala de análisis y las características de las comunidades humanas de interés. Múltiples fuentes de información pueden resultar costo-eficientes a escalas nacionales y regionales, como el Sisben, siempre y cuando la unidad de análisis sea homogénea. En cambio, si el interés es discriminar a una escala local o más fina, y en áreas donde existen comunidades humanas muy heterogéneas, se debe abordar la capacidad adaptativa con variables diferentes y que respondan directamente a atributos de los hogares.

Para esta investigación, es posible que la herramienta este reflejando las diferencias de los sistemas socioecológicos de la cuenca previamente definidos (Guzmán y Castro, 2016), pero también se debe reconocer que el análisis y la alta complejidad que presentó la muestra indicaría que se necesita perfeccionar los índices utilizados. Esto permitirá obtener mejores resultados a la hora de evaluar aspectos claves (diferentes y complementarios al Sisben), que puedan clarificar con mejor precisión la adaptabilidad de las comunidades a lo largo del río Orotoy, al menos desde el enfoque de cuenca. Por ejemplo, se sugiere realizar una adaptación de los capitales para escoger las variables que se supongan tengan una alta relación con la CAdap en el contexto del área de estudio de interés, dado que muchos de los estudios trabajan con sus propias versiones de la metodología original (por ejemplo, Hahn *et al.*, 2009; Nelson *et al.*, 2010; Shah Dulal Johnson y Baptiste, 2013; Montoya, 2015), así como para identificar límites o barreras existentes en la escala local del río Orotoy.

Por otro lado, el cálculo de la CAdap generalmente utiliza índices basados en información biofísica, cultural, social y económica, pero a escalas nacionales o regionales (Preston *et al.*, 2011), con métodos diseñados desde niveles adminis-

trativos superiores (por ejemplo, Gobierno nacional), y que pueden desconocer el contexto local.

Aunque la herramienta de Pereira *et al.* (2016) para los niveles de la cuenca mostró muy pocos cambios y fue altamente susceptible al capital físico (Victorino y Zabala-Forero, 2017), el método de Hahn *et al.* (2009) permitió abordar la vulnerabilidad de diferentes unidades de análisis a partir de una misma fuente, así como corroborar la heterogeneidad de actores existentes en la cuenca. El patrón complejo de la presente investigación justifica las recomendaciones sobre implementar nuevas variables para el cálculo de capacidad adaptativa, así como definir con mayor precisión las unidades de análisis (Victorino y Zabala-Forero, 2017). Por último, se priorizó reconstruir el concepto de vulnerabilidad y su medición, no solo desde el concepto de las condiciones ambientales puntuales, como los cambios de precipitación y temperatura, sino también desde la inclusión de los conflictos ambientales como un catalizador de degradación ambiental y un elemento que puede impulsar la vulnerabilidad de las comunidades humanas.

## CONCLUSIONES

Los proyectos orientados a generar capacidades en comunidades humanas como lo es la adaptación al cambio climático, requiere de ejercicios dinámicos que respondan de manera diferencial al contexto que se aborde, tanto ecológico como socioeconómico. En ese sentido, impulsar el análisis de sistemas socioecológicos para obtener aspectos a mejorar en las comunidades, requiere de enfoques que vayan más allá de los tradicionales, y que dependan de un diagnóstico previo de la situación de las comunidades a evaluar. Esto facilitaría tanto la evaluación como el análisis de los resultados, disminuyendo los sesgos. Así mismo, priorizamos en el análisis tratar de vincular la mayor cantidad de información biofísica (i.e., capital natural en la metodología de medios de vida), con la finalidad de tener una verdadera perspectiva del estado del sistema ecológico, una carente en múltiples estudios.

Colombia por sus características, tiene una alta diversidad de ecosistemas que interactúan de maneras distintas con las comunidades humanas, y ante un eventual cambio climático responderían de manera distinta. Esta situación ratifica la necesidad de ampliar el conocimiento entorno a la medición de capacidad adaptativa a escalas finas (locales), con el objeto de favorecer la toma de decisiones y por ende, la mejor planeación del territorio. Este tipo de aproximaciones permite una mejor lectura de las dinámicas socioecológicas y por ende, lectura necesaria para tener una mejor capacidad para enfrentar las complejidades del territorio colombiano.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MATERIALES Y  
MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN **REFERENCIAS**

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MATERIALES Y MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

**REFERENCIAS**

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

- Adger, W. N., Arnell, N. W. y Tompkins, E. L. (2005). Successful adaptation to climate change across scales. *Global Environmental Change*, 15(2), 77-86. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.12.005>
- Adger, W. N., Dessai, S., Goulden, M., Hulme, M., Lorenzoni, I., Nelson, D. R., ... Wreford, A. (2009). Are there social limits to adaptation to climate change? *Climatic Change*, 93(3-4), 335-354. Doi: <http://doi.org/10.1007/s10584-008-9520-z>
- Antwi, E. K., Boakye-Danquah, J., Barima Owusu, A., Loh, S. K., Mensah, R., Bofo, Y. A. y Apronti, P. T. (2015). Community vulnerability assessment index for flood prone savannah agro-ecological zone: A case study of Wa West District, Ghana. *Weather and Climate Extremes*, 10, 56-69. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.wace.2015.10.008>
- Bohensky, E., Stone-Jovicich, S., Larson, S. y Marshall, N. (2010). Adaptive Capacity in Theory and Reality: Implications for Governance in the Great Barrier Reef Region. En D. Armitage y R. Plummer. (Eds.). *Adaptive Capacity and Environmental Governance* (Vol. 0, pp. 23-41). Berlín, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Doi: [http://doi.org/10.1007/978-3-642-12194-4\\_2](http://doi.org/10.1007/978-3-642-12194-4_2)
- Breiman, L. (2001). Random Forest. *Machine Learning*, 45(1), 1-33. Doi: <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Cardoso Da Silva, J. M. y Wheeler, E. (2017). Ecosystems as infrastructure. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 15(1), 32-35. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2016.11.005>
- Carlos-Gomez, G. M., y Moreno-Sánchez, R. (2015). Capacidad de adaptación al cambio climático en comunidades indígenas de la Amazonia peruana. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID).
- Caro-Caro, C. I., Torres-Mora, M. A. y Ramírez-Gil, H. (Eds.). (2011). *Determinación y formulación de las medidas socioambientales asociadas a la recuperación del río Orotoy, en el área de influencia de la Superintendencia de Operaciones Central Ecopetrol, municipios de Acacias y Castilla la Nueva*. Libro resumen. Univ.
- Chambers, R. y Conway, G. (1992). Sustainable rural livelihoods: practical concepts for the 21st century. Institute of Development Studies (UK). [https://doi.org/ISBN 0 903715 58 9](https://doi.org/ISBN%200%20903715%2058%209)
- Eriksen, S., Aldunce, P., Bahinipati, C. S., Martins, R. D., Molefe, J. I., Nhemachena, C., ... Ulsrud, K. (2011). When not every response to climate change is a good one: Identifying principles for sustainable adaptation. *Climate and Development*, 3(1), 7-20. Doi: <http://doi.org/10.3763/cdev.2010.0060>
- Fisher, J. A., Patenaude, G., Giri, K., Lewis, K., Meir, P., Pinho, P., ... Williams, M. (2014). Understanding the relationships between ecosystem services and poverty alleviation: A conceptual framework. *Ecosystem Services*, 7, 34-45. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.08.002>
- Füssel, H. M. (2007). Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change*, 17(2), 155-167. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.05.002>
- Guzmán, V. y Castro, L. G. (2016). Sistemas socioecológicos de la cuenca del río Orotoy. Bases para la identificación de estrategias de gestión territorial. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia. En Moreno, L. A., Andrade, G. I. y Ruíz-

- Contreras, L. F. (Eds.). *Biodiversidad 2016*. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Recuperado de: <http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/index.html>
- Hahn, M. B., Riederer, A. M., y Foster, S. O. (2009). The Livelihood Vulnerability Index: A pragmatic approach to assessing risks from climate variability and change-A case study in Mozambique. *Global Environmental Change*, 19(1), 74-88. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.11.002>
- Instituto Alexander von Humboldt. (2015). *Fases de preparación y caracterización: Valoración Integral de la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos (VIBSE) Cuenca del río Orotoy-Meta*.
- Liaw, A. y Wiener, M. (2002). Classification and Regression by Random Forest. *R News*, 2(December), 18-22. Doi: <http://doi.org/10.1177/154405910408300516>
- Liverman, D. (1990). *Vulnerability to global environmental change. Understanding global environmental change: The contributions of risk analysis and management*. Recuperado de: <https://dianaliverman.files.wordpress.com/2014/12/liverman-1990-vulnerability-to-gec-in-kasperson-et-al.pdf>
- Moser, S. C. y Ekstrom, J. A. (2010). A framework to diagnose barriers to climate change adaptation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(51), 22026-31. Doi: <http://doi.org/10.1073/pnas.1007887107>
- Nelson, R., Kokic, P., Crimp, S., Martin, P., Meinke, H., Howden, S. M., ... Nidumolu, U. (2010). The vulnerability of Australian rural communities to climate variability and change: Part II-Integrating impacts with adaptive capacity. *Environmental Science and Policy*, 13(1), 18-27. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.09.007>
- Newell, B., Crumley, C. L., Hassan, N., Lambin, E. F., Pahl-Wostl, C., Underdal, A., y Wasson, R. (2005). A conceptual template for integrative human-environment research. *Global Environmental Change*, 15(4), 299-307. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2005.06.003>
- Osorio, D. P. (2014). *Caracterización de los sistemas socioeconómicos de la cuenca del río Orotoy*. (No. Contrato No: 13-13-165-375PS).
- Parada-Guevara, S. L., Osorio-Ramírez, D. P., Caro-Caro, C. I. y Tovar-Hernández, N. A. (2017). *La cuenca río Orotoy: historia, su gente y sus ecosistemas*. En *La Cuenca del río Orotoy: conocimientos para la gestión territorial*. (pp. 37-55). Bogotá D.C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Paradis, E., Claude, J. y Strimmer, K. (2004). APE: analyses of phylogenetics and evolution in {R} language. *Bioinformatics*, 20, 289-290.
- Pereira, M. F., Guerrero, P. K. y Gómez, A. (2016). Evaluación de capacidades adaptativas. Proyecto: fortalecer las capacidades de adaptación al cambio climático de las comunidades que habitan la cuenca del río Orotoy (Meta) (Producto 5: Síntesis publicable. No. Contrato No 15-13-165-186PS).
- Preston, B. L., Yuen, E. J. y Westaway, R. M. (2011). Putting vulnerability to climate change on the map: A review of approaches, benefits, and risks. *Sustainability Science*, 6(2), 177-202. Doi: <http://doi.org/10.1007/s11625-011-0129-1>
- R Development Core Team. (2016). *A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: ISBN 3-900051-07-0.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MATERIALES Y  
MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

- RESUMEN Rincón-Ruiz, A., Castro, L. G. y Lara, D. (2016). Inclusión de valores y conflicto ambiental en la cuenca del Orotoy. En *Biodiversidad 2015. Estado y Tendencias de la Biodiversidad Continental de Colombia*. Bogotá D. C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- PALABRAS CLAVE
- ABSTRACT
- KEY WORDS Rincón-Ruiz, A., Lara, D., Castro, L. y Rojas, C. (2016). Conflictos socioambientales y servicios ecosistémicos en la cuenca del río Orotoy: reflexiones para su gestión. *Ambiente y Sostenibilidad*, 6(6), 3-16.
- INTRODUCCIÓN
- MATERIALES Y MÉTODOS Ruales, L. (2014). *Análisis de la vulnerabilidad, que incluye el impacto sobre los sistemas socioecológicos y socioeconómicos, bajo enfoque de biodiversidad, servicios ecosistémicos y recurso hídrico para la cuenca de Orotoy y los municipios de influencia*. Bogotá D. C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- RESULTADOS
- DISCUSIÓN
- CONCLUSIONES Ruiz-Mallén, I., Fernández-Llamazares, Á. y Reyes-García, V. (2017). Unravelling local adaptive capacity to climate change in the Bolivian Amazon: the interlinkages between assets, conservation and markets. *Climatic Change*, 140(2), 227-242. Doi: <http://doi.org/10.1007/s10584-016-1831-x>
- REFERENCIAS
- SOBRE LOS AUTORES Shah, K. U., Dulal, H. B., Johnson, C. y Baptiste, A. (2013). Understanding livelihood vulnerability to climate change: Applying the livelihood vulnerability index in Trinidad and Tobago. *Geoforum*, 47(April 2013), 125-137. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.geoforum.2013.04.004>
- ANEXOS Smit, B. y Wandel, J. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 282-292. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.03.008>
- Victorino, I. y Soche, A. (2015). *Gobernanza y gestión del agua y ecosistemas asociados en la cuenca del río Orotoy, departamento del Meta, Colombia*. Proyecto: Fortalecimiento de las capacidades de adaptación social y ecológica al cambio climático en la cuenca hidrográfica del río Orotoy, (Contrato 15-13-165-070PS).
- Victorino, I. y Zabala-Forero, F. A. (2017). Capacidad adaptativa en la cuenca: lecciones y aprendizajes sobre la vulnerabilidad del río Orotoy. En Victorino, I., Castro, L. G., Zabala-Forero, F. A. y Caro-Caro, C. I. (Eds.). *La cuenca del río Orotoy: conocimientos para la gestión territorial*. (pp. 159-181). Bogotá D. C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Victorino, I., Castro, L. G., Zabala-Forero, F. A., y Caro-Caro, C. I. (Eds.). (2017). *La cuenca del río Orotoy: conocimientos para la gestión territorial* (1st ed.). Bogotá D.C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Recuperado de <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/34292>
- Vilardy, S. P., González Nóvoa, J. A., Lopez, M. B., Rodríguez, W. R., Oteros Rozas, E., Vallejo Silva, F., ... Cuadrado Peña, B. J. (2011). En Vilardy, S. P., Quiroga y González, Nóvoa J. A. (Eds.). *Repensando la ciénaga: nuevas miradas y estrategias para la sostenibilidad en la ciénaga Grande de Santa Marta*.
- Wing, J., Kuhn, M., Eston, S., Williams, A., Keefer, C., Engelhardt, A., ... Hunt, T. (2016). caret: Classification and Regression Training. Recuperado de: <https://cran.r-project.org/package=caret>

- Wood, S. (2015). mgcv:mixed GAM computation vehicle with GCV/AIC/REML smoothness estimation. R v.3.2.3. Recuperado de: [//stat.ethz.ch/R-manual/R-devel/library/mgcv/html/mgcv-package.html](http://stat.ethz.ch/R-manual/R-devel/library/mgcv/html/mgcv-package.html)
- Yenneti, K., Tripathi, S., Wei, Y. D., Chen, W. y Joshi, G. (2016). The truly disadvantaged? Assessing social vulnerability to climate change in urban India. *Habitat International*, 56, 124-135. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.05.001>
- Yu, K. (2012). Ecological infrastructure leads the way: the negative approach and landscape urbanism for smart preservation and smart growth. En Richter, M. y Weiland, U. (Eds.), *Applied Urban Ecology: A Global Framework* (p. 224). Wiley Blackwell. Doi: <https://doi.org/10.1029/2010GC003451>

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MATERIALES Y MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

## SOBRE LOS AUTORES

### Fabio Andrés Zabala-Forero

Colectivo Proterra

### Isai Victorino

Colectivo Proterra

Citación sugerida

Zabala-Forero, A. A. y Victorino, I. (2019). Capacidad adaptativa y vulnerabilidad de la cuenca del río Orotoy ante el cambio climático, a partir del análisis de las variables de los medios de vida. *Biodiversidad en la Práctica*, 4(1), 51-85.

## ANEXOS

### Anexo 1.

Tabla 2 Índices para cada uno de los capitales según nivel de la cuenca (CB=cuenca baja, CM=cuenca media y CA=cuenca alta) del río Orotoy. Para cada nivel se reportó el valor promedio del índice y el código asignado (columna COD), los cuales se utilizaron para el cálculo de cada capital, acompañados de los valores máximos y mínimos de la totalidad de los datos.

COD	Índice	CA	CB	CM	Max	Min
<b>Capital humano</b>						
pr_26	Índice dificultad de acceso	2	2,4	2,1	3,0	1
pr_6	Número de actividades económicas	0,95	1,1	1,1	4,0	0
pr_10	Número de actividades y/o estrategias para el manejo de recursos naturales y de recursos hídricos	1,9	1,93	2,4	7,0	0
pr_13	Número de reglas que identifica	0,9	0,9	1,4	4,0	0
pr_35	Número de personas con familiar enfermo	0,7	0,8	0,6	1,0	0

RESUMEN	pr_24	Medios de comunicación	2,2	1,4	2,3	5,0	0
PALABRAS CLAVE	pr_4	Vulnerabilidad por hijos	1,7	2,3	2,0	15,0	0
	pr_25	Acceso a internet por vereda	0,65	0,9	0,7	1,0	0
ABSTRACT	pr_5	Nivel de estudios	0,4	0,4	0,5	1,3	0
KEY WORDS	<b>Capital social</b>						
INTRODUCCIÓN	pr_17	Número de personas que ayudan en dificultad familiar	11,4	11,71875	14,205882	250	0
MATERIALES Y MÉTODOS	pr_18	Número de personas que ayudan en dificultad económica	5,4	4,46875	4,4705882	50	0
	pr_3	Años viviendo en la vereda	16,383	19,84375	18,515152	57	0
RESULTADOS	pr_15	Participación en la creación de normas para el manejo del río Orotoy	0,45	0,28125	0,2647059	1	0
DISCUSIÓN	pr_20	Número de organismos comunitarios por vereda	1,85	2,03125	1,9705882	7	0
CONCLUSIONES	pr_20	Participación en organizaciones comunitarias por vereda	0,9	0,78125	0,9705882	3	0
REFERENCIAS	pr_22	Número de actores claves para la solución de problemas ambientales y sociales	1,95	1,78125	2,2647059	5	0
SOBRE LOS AUTORES		pr_21	Conformidad con el funcionamiento de organismos comunitarios	0,5	0,40625	0,4117647	1
ANEXOS	<b>Capital financiero</b>						
	pr_34	Cuánto ahorra	\$194.000	\$1.666.578	\$211.912	\$50.000.000	0
	pr_31	Promedio de ingresos anuales		\$21.487.097		\$250.000.000	0
	pr_29	Porcentaje de personas que reportan pérdidas	0,75	0,75	0,6470588	1	0
	<b>Capital físico</b>						
	SIS	Porcentaje de hogares que tienen energía eléctrica	0,470	0,899	0,953	1,00	0,67
	SIS	Porcentaje de hogares que tienen servicio de gas	0,009	0,026	0,456	0,81	0,00
	SIS	Porcentaje de personas con servicio de acueducto	0,009	0,026	0,456	0,81	0,00
	SIS	Índice basado en el número de hogares que tienen un lugar exclusivo para cocinar o no	0,218	0,896	0,607	0,98	0,00
	SIS	Porcentaje de hogares que tiene televisión por cable	0,400	0,866	0,546	2,00	0,50
	SIS	Porcentaje de hogares que tiene auto	0,105	0,046	0,164	0,12	0,00
	SIS	Porcentaje de hogares que tiene moto	0,373	0,344	0,572	0,20	0,00
	SIS	Porcentaje de hogares que reporta ser propietarias de la vivienda.	0,749	0,381	0,495	0,33	0,07
	<b>Capital natural</b>						
	pr_36	Percepción cambio climático	0,85	0,9375	1	1	0
	pr_35	Número de problemas ambientales en la vereda	1,8	2,12	2,70	6	0

pr_37	Número de especies que ya no son comunes	2,05	2,18	3,76	8	0
pr_38	Número de personas que NO cocinan con leña	0,45	0,90	1	1	0

**Anexo 2.**

Tabla 3. Listado de las correlaciones entre cada uno de los índices utilizados para el cálculo de capacidad adaptativa

COD Variable 1	COD Variable 2	Pvalor	Correlación
GAS	Energía	0,00	0,31
Acueducto	Energía	0,00	0,44
Cocina	Energía	0,21	-0,14
TV_Cable	Energía	0,03	0,25
Auto	Energía	0,00	0,32
Moto	Energía	0,00	0,37
Tenencia	Energía	0,00	-0,36
pr_26	Energía	0,01	0,27
pr_6	Energía	0,10	0,19
pr_25	Energía	0,33	0,11
pr_13	Energía	0,41	0,09
pr_35	Energía	0,87	0,02
pr_24	Energía	0,15	-0,16
pr_10	Energía	0,56	0,07
pr_4	Energía	0,71	0,04
pr_5	Energía	0,94	0,01
pr_17	Energía	0,03	-0,24
pr_18	Energía	0,01	-0,29
pr_3	Energía	0,31	0,11
pr_15	Energía	0,67	0,05
pr_20	Energía	0,29	0,12
pr_20.1	Energía	0,20	0,14
pr_22	Energía	0,50	0,08
pr_21	Energía	0,38	-0,10
pr_34	Energía	0,25	-0,13
pr_31	Energía	0,88	0,02
pr_29	Energía	0,93	-0,01
pr_36	Energía	0,08	0,19
pr_35.1	Energía	0,30	0,12
pr_37	Energía	0,78	0,03
pr_38	Energía	0,00	-0,48
Acueducto	Gas	0,11	0,18

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MATERIALES Y MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

**ANEXOS**

RESUMEN	Cocina	Gas	0,54	-0,07
	TV_Cable	Gas	0,00	0,74
PALABRAS CLAVE	Auto	Gas	0,00	0,69
ABSTRACT	Moto	Gas	0,01	0,30
KEY WORDS	Tenencia	Gas	0,35	-0,11
	pr_26	Gas	0,80	0,03
INTRODUCCIÓN	pr_6	Gas	0,75	0,04
	pr_25	Gas	0,76	-0,04
MATERIALES Y MÉTODOS	pr_13	Gas	0,40	0,10
	pr_35	Gas	0,48	0,08
RESULTADOS	pr_24	Gas	0,29	0,12
DISCUSIÓN	pr_10	Gas	0,37	0,10
	pr_4	Gas	0,47	0,08
CONCLUSIONES	pr_5	Gas	0,30	0,12
REFERENCIAS	pr_17	Gas	0,08	-0,20
SOBRE LOS AUTORES	pr_18	Gas	0,47	-0,08
	pr_3	Gas	0,32	0,11
ANEXOS	pr_15	Gas	0,18	-0,15
	pr_20	Gas	0,89	0,02
	pr_20.1	Gas	0,54	0,07
	pr_22	Gas	0,05	0,22
	pr_21	Gas	0,43	-0,09
	pr_34	Gas	0,14	0,16
	pr_31	Gas	0,70	0,04
	pr_29	Gas	0,92	-0,01
	pr_36	Gas	0,17	0,15
	pr_35.1	Gas	0,05	0,22
	pr_37	Gas	0,01	0,27
	pr_38		0,00	-0,41
	Cocina	Acueducto	0,00	0,37
	TV_Cable	Acueducto	0,01	0,29
	Auto	Acueducto	0,23	0,14
	Moto	Acueducto	0,21	-0,14
	Tenencia	Acueducto	0,00	-0,52
	pr_26	Acueducto	0,08	0,19
	pr_6	Acueducto	0,52	0,07
	pr_25	Acueducto	0,00	0,31
	pr_13	Acueducto	0,64	-0,05
	pr_35	Acueducto	0,56	-0,07
	pr_24	Acueducto	0,00	-0,40
	pr_10	Acueducto	0,08	-0,20

pr_4	Acueducto	0,11	0,18
pr_5	Acueducto	0,72	-0,04
pr_17	Acueducto	0,26	-0,13
pr_18	Acueducto	0,02	-0,25
pr_3	Acueducto	0,04	0,22
pr_15	Acueducto	0,81	-0,03
pr_20	Acueducto	0,71	0,04
pr_20.1	Acueducto	0,38	0,10
pr_22	Acueducto	0,05	-0,22
pr_21	Acueducto	0,27	-0,12
pr_34	Acueducto	0,02	-0,26
pr_31	Acueducto	0,14	-0,16
pr_29	Acueducto	0,24	-0,13
pr_36	Acueducto	0,26	0,13
pr_35.1	Acueducto	0,62	-0,06
pr_37	Acueducto	0,88	0,02
pr_38	Acueducto	0,00	-0,32
TV_Cable	Cocina	0,01	-0,28
Auto	Cocina	0,10	-0,18
Moto	Cocina	0,00	-0,41
Tenencia	Cocina	0,00	-0,54
pr_26	Cocina	0,84	-0,02
pr_6	Cocina	0,46	-0,08
pr_25	Cocina	0,44	0,09
pr_13	Cocina	0,41	-0,09
pr_35	Cocina	0,84	0,02
pr_24	Cocina	0,03	-0,24
pr_10	Cocina	0,20	-0,15
pr_4	Cocina	0,25	0,13
pr_5	Cocina	0,15	-0,16
pr_17	Cocina	0,26	0,13
pr_18	Cocina	0,11	0,18
pr_3	Cocina	0,96	0,00
pr_15	Cocina	0,80	-0,03
pr_20	Cocina	0,83	0,02
pr_20.1	Cocina	0,90	-0,01
pr_22	Cocina	0,08	-0,20
pr_21	Cocina	0,37	0,10
pr_34	Cocina	0,68	-0,05
pr_31	Cocina	0,45	-0,09
pr_29	Cocina	0,76	-0,03

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MATERIALES Y  
MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN	pr_36	Cocina	0,73	0,04
	pr_35.1	Cocina	0,57	-0,06
PALABRAS CLAVE	pr_37	Cocina	0,09	-0,19
ABSTRACT	pr_38	Cocina	0,02	-0,26
KEY WORDS	Auto	TV_Cable	0,00	0,60
	Moto	TV_Cable	0,00	0,60
INTRODUCCIÓN	Tenencia	TV_Cable	0,11	0,18
MATERIALES Y MÉTODOS	pr_26	TV_Cable	0,62	0,06
	pr_6	TV_Cable	0,47	0,08
RESULTADOS	pr_25	TV_Cable	0,38	0,10
	pr_13	TV_Cable	0,55	0,07
DISCUSIÓN	pr_35	TV_Cable	0,85	0,02
CONCLUSIONES	pr_24	TV_Cable	0,33	0,11
	pr_10	TV_Cable	0,70	0,04
REFERENCIAS	pr_4	TV_Cable	0,31	0,11
SOBRE LOS AUTORES	pr_5	TV_Cable	0,42	0,09
	pr_17	TV_Cable	0,16	-0,16
ANEXOS	pr_18	TV_Cable	0,30	-0,12
	pr_3	TV_Cable	0,62	0,06
	pr_15	TV_Cable	0,23	-0,13
	pr_20	TV_Cable	0,67	-0,05
	pr_20.1	TV_Cable	0,73	-0,04
	pr_22	TV_Cable	0,23	0,14
	pr_21	TV_Cable	0,04	-0,23
	pr_34	TV_Cable	0,94	0,01
	pr_31	TV_Cable	0,77	-0,03
	pr_29	TV_Cable	0,94	0,01
	pr_36	TV_Cable	0,02	0,26
	pr_35.1	TV_Cable	0,33	0,11
	pr_37	TV_Cable	0,00	0,43
	pr_38	TV_Cable	0,14	-0,17
	Moto	Auto	0,00	0,49
	Tenencia	Auto	0,33	-0,11
	pr_26	Auto	0,94	0,01
	pr_6	Auto	0,02	0,26
	pr_25	Auto	0,78	-0,03
	pr_13	Auto	0,08	0,19
	pr_35	Auto	0,46	0,08
	pr_24	Auto	0,78	0,03
	pr_10	Auto	0,07	0,21
	pr_4	Auto	0,45	0,08

pr_5	Auto	0,08	0,19
pr_17	Auto	0,16	-0,16
pr_18	Auto	0,41	-0,09
pr_3	Auto	0,21	0,14
pr_15	Auto	0,88	-0,02
pr_20	Auto	0,98	0,00
pr_20.1	Auto	0,74	0,04
pr_22	Auto	0,14	0,17
pr_21	Auto	0,55	-0,07
pr_34	Auto	0,93	0,01
pr_31	Auto	0,37	0,10
pr_29	Auto	0,11	0,18
pr_36	Auto	0,49	0,08
pr_35.1	Auto	0,00	0,35
pr_37	Auto	0,00	0,42
pr_38	Auto	0,01	-0,28
Tenencia	Moto	0,01	0,30
pr_26	Moto	0,92	-0,01
pr_6	Moto	0,12	0,18
pr_25	Moto	0,74	-0,04
pr_13	Moto	0,23	0,14
pr_35	Moto	0,60	0,06
pr_24	Moto	0,18	0,15
pr_10	Moto	0,09	0,19
pr_4	Moto	0,99	0,00
pr_5	Moto	0,96	-0,01
pr_17	Moto	0,13	-0,17
pr_18	Moto	0,33	-0,11
pr_3	Moto	0,64	-0,05
pr_15	Moto	0,88	-0,02
pr_20	Moto	0,23	-0,13
pr_20.1	Moto	0,34	-0,11
pr_22	Moto	0,09	0,19
pr_21	Moto	0,11	-0,18
pr_34	Moto	0,79	-0,03
pr_31	Moto	0,77	0,03
pr_29	Moto	0,28	0,12
pr_36	Moto	0,10	0,19
pr_35.1	Moto	0,14	0,17
pr_37	Moto	0,00	0,31
pr_38	Moto	0,74	-0,04
pr_26	Tenencia	0,37	-0,10

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MATERIALES Y  
MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN	pr_6	Tenencia	0,46	-0,08
	pr_25	Tenencia	0,83	-0,02
PALABRAS CLAVE	pr_13	Tenencia	0,51	0,07
ABSTRACT	pr_35	Tenencia	0,57	-0,06
KEY WORDS	pr_24	Tenencia	0,02	0,26
	pr_10	Tenencia	0,60	0,06
INTRODUCCIÓN	pr_4	Tenencia	0,45	-0,09
	pr_5	Tenencia	0,85	0,02
MATERIALES Y MÉTODOS	pr_17	Tenencia	0,19	0,15
	pr_18	Tenencia	0,26	0,13
RESULTADOS	pr_3	Tenencia	0,28	-0,12
DISCUSIÓN	pr_15	Tenencia	0,94	0,01
	pr_20	Tenencia	0,14	-0,16
CONCLUSIONES	pr_20.1	Tenencia	0,36	-0,10
REFERENCIAS	pr_22	Tenencia	0,15	0,16
SOBRE LOS AUTORES	pr_21	Tenencia	0,10	-0,18
	pr_34	Tenencia	0,31	0,11
ANEXOS	pr_31	Tenencia	0,94	0,01
	pr_29	Tenencia	0,33	0,11
	pr_36	Tenencia	0,40	0,09
	pr_35.1	Tenencia	0,80	-0,03
	pr_37	Tenencia	0,57	0,06
	pr_38	Tenencia	0,00	0,38
	pr_6	pr_26	0,95	-0,01
	pr_25	pr_26	0,57	0,06
	pr_13	pr_26	0,16	0,16
	pr_35	pr_26	0,14	-0,16
	pr_24	pr_26	0,64	-0,05
	pr_10	pr_26	0,59	-0,06
	pr_4	pr_26	0,06	0,21
	pr_5	pr_26	0,80	0,03
	pr_17	pr_26	0,25	-0,13
	pr_18	pr_26	0,98	0,00
	pr_3	pr_26	0,57	0,06
	pr_15	pr_26	0,54	0,07
	pr_20	pr_26	0,22	0,14
	pr_20.1	pr_26	0,04	0,23
	pr_22	pr_26	0,99	0,00
	pr_21	pr_26	0,57	0,06
	pr_34	pr_26	0,26	0,13
	pr_31	pr_26	0,24	0,13

pr_29	pr_26	0,98	0,00
pr_36	pr_26	0,30	0,12
pr_35.1	pr_26	0,91	0,01
pr_37	pr_26	0,81	-0,03
pr_38	pr_26	0,99	0,00
pr_25	pr_6	0,50	0,08
pr_13	pr_6	0,08	0,20
pr_35	pr_6	0,14	0,17
pr_24	pr_6	0,73	-0,04
pr_10	pr_6	0,46	0,08
pr_4	pr_6	0,57	0,06
pr_5	pr_6	0,34	0,11
pr_17	pr_6	0,64	0,05
pr_18	pr_6	0,80	0,03
pr_3	pr_6	0,17	0,15
pr_15	pr_6	0,44	0,09
pr_20	pr_6	0,05	0,22
pr_20.1	pr_6	0,15	0,16
pr_22	pr_6	0,02	0,26
pr_21	pr_6	0,61	-0,06
pr_34	pr_6	0,26	0,13
pr_31	pr_6	0,02	0,27
pr_29	pr_6	0,02	0,25
pr_36	pr_6	0,59	0,06
pr_35.1	pr_6	0,01	0,30
pr_37	pr_6	0,01	0,31
pr_38	pr_6	0,98	0,00
pr_13	pr_25	0,81	0,03
pr_35	pr_25	0,14	-0,17
pr_24	pr_25	0,58	-0,06
pr_10	pr_25	0,98	0,00
pr_4	pr_25	0,39	0,10
pr_5	pr_25	0,29	-0,12
pr_17	pr_25	0,64	0,05
pr_18	pr_25	0,57	0,06
pr_3	pr_25	0,11	0,18
pr_15	pr_25	0,75	-0,04
pr_20	pr_25	0,01	0,30
pr_20.1	pr_25	0,62	0,06
pr_22	pr_25	0,10	0,19
pr_21	pr_25	0,04	-0,22

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MATERIALES Y  
MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN	pr_34	pr_25	0,42	-0,09
	pr_31	pr_25	0,40	-0,10
PALABRAS CLAVE	pr_29	pr_25	0,31	-0,12
ABSTRACT	pr_36	pr_25	0,15	0,16
KEY WORDS	pr_35.1	pr_25	0,26	0,13
	pr_37	pr_25	0,95	0,01
INTRODUCCIÓN	pr_38	pr_25	0,09	-0,19
MATERIALES Y MÉTODOS	pr_35	pr_13	0,63	0,05
	pr_24	pr_13	0,01	0,30
RESULTADOS	pr_10	pr_13	0,99	0,00
	pr_4	pr_13	0,67	0,05
DISCUSIÓN	pr_5	pr_13	0,11	-0,18
CONCLUSIONES	pr_17	pr_13	0,09	0,19
	pr_18	pr_13	0,04	0,23
REFERENCIAS	pr_3	pr_13	0,22	0,14
SOBRE LOS AUTORES	pr_15	pr_13	0,00	0,40
	pr_20	pr_13	0,00	0,31
ANEXOS	pr_20.1	pr_13	0,18	0,15
	pr_22	pr_13	0,22	0,14
	pr_21	pr_13	0,88	-0,02
	pr_34	pr_13	0,96	0,01
	pr_31	pr_13	0,87	-0,02
	pr_29	pr_13	0,58	0,06
	pr_36	pr_13	0,49	-0,08
	pr_35.1	pr_13	0,03	0,24
	pr_37	pr_13	0,32	0,11
	pr_38	pr_13	0,72	0,04
	pr_24	pr_35	0,21	0,14
	pr_10	pr_35	0,58	0,06
	pr_4	pr_35	0,38	-0,10
	pr_5	pr_35	0,10	0,18
	pr_17	pr_35	0,57	0,06
	pr_18	pr_35	0,83	-0,02
	pr_3	pr_35	0,85	0,02
	pr_15	pr_35	0,86	-0,02
	pr_20	pr_35	0,54	0,07
	pr_20.1	pr_35	0,42	0,09
	pr_22	pr_35	0,65	0,05
	pr_21	pr_35	0,91	-0,01
	pr_34	pr_35	0,85	0,02
	pr_31	pr_35	0,58	0,06

pr_29	pr_35	0,13	0,17
pr_36	pr_35	0,76	0,03
pr_35.1	pr_35	0,08	0,20
pr_37	pr_35	0,04	0,23
pr_38	pr_35	0,16	-0,16
pr_10	pr_24	0,07	0,20
pr_4	pr_24	0,06	-0,21
pr_5	pr_24	0,27	0,12
pr_17	pr_24	0,60	0,06
pr_18	pr_24	0,11	0,18
pr_3	pr_24	0,95	0,01
pr_15	pr_24	0,99	0,00
pr_20	pr_24	0,55	0,07
pr_20.1	pr_24	0,83	-0,02
pr_22	pr_24	0,03	0,24
pr_21	pr_24	0,69	-0,04
pr_34	pr_24	0,02	0,25
pr_31	pr_24	0,69	-0,04
pr_29	pr_24	0,67	-0,05
pr_36	pr_24	0,49	-0,08
pr_35.1	pr_24	0,94	-0,01
pr_37	pr_24	0,25	0,13
pr_38	pr_24	0,42	-0,09
pr_4	pr_10	0,49	-0,08
pr_5	pr_10	0,05	0,22
pr_17	pr_10	0,95	-0,01
pr_18	pr_10	0,71	-0,04
pr_3	pr_10	0,89	0,02
pr_15	pr_10	0,38	-0,10
pr_20	pr_10	0,63	0,05
pr_20.1	pr_10	0,75	-0,04
pr_22	pr_10	0,00	0,36
pr_21	pr_10	0,43	-0,09
pr_34	pr_10	0,53	0,07
pr_31	pr_10	0,97	0,00
pr_29	pr_10	0,76	0,03
pr_36	pr_10	0,54	0,07
pr_35.1	pr_10	0,02	0,25
pr_37	pr_10	0,03	0,24
pr_38	pr_10	0,14	-0,16
pr_5	pr_4	0,71	0,04
pr_17	pr_4	0,84	-0,02

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MATERIALES Y MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN	pr_18	pr_4	0,61	0,06
	pr_3	pr_4	0,76	0,04
PALABRAS CLAVE	pr_15	pr_4	0,80	-0,03
ABSTRACT	pr_20	pr_4	0,19	0,15
KEY WORDS	pr_20.1	pr_4	0,51	0,07
	pr_22	pr_4	0,81	0,03
INTRODUCCIÓN	pr_21	pr_4	0,49	-0,08
	pr_34	pr_4	0,23	-0,14
MATERIALES Y MÉTODOS	pr_31	pr_4	0,47	0,08
	pr_29	pr_4	0,38	0,10
RESULTADOS	pr_36	pr_4	0,36	0,10
DISCUSIÓN	pr_35.1	pr_4	0,35	0,11
	pr_37	pr_4	0,92	0,01
CONCLUSIONES	pr_38	pr_4	0,55	0,07
REFERENCIAS	pr_17	pr_5	0,63	0,05
SOBRE LOS AUTORES	pr_18	pr_5	0,02	-0,26
	pr_3	pr_5	0,36	-0,10
ANEXOS	pr_15	pr_5	0,62	-0,06
	pr_20	pr_5	0,54	0,07
	pr_20.1	pr_5	0,30	-0,12
	pr_22	pr_5	0,44	0,09
	pr_21	pr_5	0,87	0,02
	pr_34	pr_5	0,03	0,25
	pr_31	pr_5	0,02	0,26
	pr_29	pr_5	0,49	-0,08
	pr_36	pr_5	0,16	-0,16
	pr_35.1	pr_5	0,90	0,01
	pr_37	pr_5	0,30	0,12
	pr_38	pr_5	0,18	-0,15
	pr_18	pr_17	0,00	0,51
	pr_3	pr_17	0,76	-0,03
	pr_15	pr_17	0,02	0,25
	pr_20	pr_17	0,13	0,17
	pr_20.1	pr_17	0,45	0,09
	pr_22	pr_17	0,55	0,07
	pr_21	pr_17	0,05	0,22
	pr_34	pr_17	0,51	0,07
	pr_31	pr_17	0,83	0,02
	pr_29	pr_17	0,97	0,00
	pr_36	pr_17	0,66	-0,05
	pr_35.1	pr_17	0,40	-0,09

pr_37	pr_17	0,50	0,08
pr_38	pr_17	0,13	0,17
pr_3	pr_18	0,37	0,10
pr_15	pr_18	0,07	0,20
pr_20	pr_18	0,06	0,21
pr_20.1	pr_18	0,01	0,27
pr_22	pr_18	0,10	0,19
pr_21	pr_18	0,01	0,28
pr_34	pr_18	0,43	0,09
pr_31	pr_18	0,94	0,01
pr_29	pr_18	0,15	0,16
pr_36	pr_18	0,49	0,08
pr_35.1	pr_18	0,51	0,07
pr_37	pr_18	0,82	0,03
pr_38	pr_18	0,39	0,10
pr_15	pr_3	0,57	0,06
pr_20	pr_3	0,02	0,26
pr_20.1	pr_3	0,03	0,25
pr_22	pr_3	0,02	0,27
pr_21	pr_3	0,87	0,02
pr_34	pr_3	0,43	-0,09
pr_31	pr_3	0,69	0,05
pr_29	pr_3	0,34	0,11
pr_36	pr_3	0,77	-0,03
pr_35.1	pr_3	0,00	0,33
pr_37	pr_3	0,03	0,25
pr_38	pr_3	0,50	-0,08
pr_20	pr_15	0,00	0,32
pr_20.1	pr_15	0,03	0,24
pr_22	pr_15	0,90	0,01
pr_21	pr_15	0,07	0,20
pr_34	pr_15	0,47	0,08
pr_31	pr_15	0,48	0,08
pr_29	pr_15	0,04	0,23
pr_36	pr_15	0,44	-0,09
pr_35.1	pr_15	0,63	-0,05
pr_37	pr_15	0,98	0,00
pr_38	pr_15	0,60	0,06
pr_20.1	pr_20	0,00	0,48
pr_22	pr_20	0,01	0,28
pr_21	pr_20	0,05	0,22
pr_34	pr_20	0,61	-0,06

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MATERIALES Y  
MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN	pr_31	pr_20	0,14	0,16
	pr_29	pr_20	0,14	0,16
PALABRAS CLAVE	pr_36	pr_20	0,74	-0,04
ABSTRACT	pr_35.1	pr_20	0,15	0,16
KEY WORDS	pr_37	pr_20	0,19	0,15
	pr_38	pr_20	0,38	-0,10
INTRODUCCIÓN	pr_22	pr_20.1	0,86	0,02
	pr_21	pr_20.1	0,32	0,11
MATERIALES Y MÉTODOS	pr_34	pr_20.1	0,44	-0,09
	pr_31	pr_20.1	0,37	0,10
RESULTADOS	pr_29	pr_20.1	0,03	0,24
DISCUSIÓN	pr_36	pr_20.1	0,88	0,02
	pr_35.1	pr_20.1	0,18	0,15
CONCLUSIONES	pr_37	pr_20.1	0,11	0,18
REFERENCIAS	pr_38	pr_20.1	0,75	-0,04
SOBRE LOS AUTORES	pr_21	pr_22	0,29	-0,12
	pr_34	pr_22	0,21	0,14
ANEXOS	pr_31	pr_22	0,73	-0,04
	pr_29	pr_22	0,72	-0,04
	pr_36	pr_22	0,62	0,06
	pr_35.1	pr_22	0,00	0,34
	pr_37	pr_22	0,04	0,23
	pr_38	pr_22	0,53	-0,07
	pr_34	pr_21	0,52	0,07
	pr_31	pr_21	0,14	0,17
	pr_29	pr_21	0,92	0,01
	pr_36	pr_21	0,19	-0,15
	pr_35.1	pr_21	0,09	-0,19
	pr_37	pr_21	0,28	-0,12
	pr_38	pr_21	0,40	0,09
	pr_31	pr_34	0,00	0,38
	pr_29	pr_34	0,75	0,04
	pr_36	pr_34	0,91	-0,01
	pr_35.1	pr_34	0,26	-0,13
	pr_37	pr_34	0,63	-0,05
	pr_38	pr_34	0,55	-0,07
	pr_29	pr_31	0,03	0,24
	pr_36	pr_31	0,68	0,05
	pr_35.1	pr_31	0,29	-0,12
	pr_37	pr_31	0,46	0,08
	pr_38	pr_31	0,96	-0,01

pr_36	pr_29	0,80	0,03
pr_35.1	pr_29	0,31	0,11
pr_37	pr_29	0,64	0,05
pr_38	pr_29	0,99	0,00
pr_35.1	pr_36	0,65	0,05
pr_37	pr_36	0,64	0,05
pr_38	pr_36	0,62	-0,06
pr_37	pr_35.1	0,00	0,38
pr_38	pr_35.1	0,55	-0,07
pr_38	pr_37	0,89	0,02

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MATERIALES Y  
MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

# Biodiversidad EN LA PRÁCTICA

Documentos de trabajo del Instituto Humboldt



## EDICIÓN CAMBIO CLIMÁTICO

VOLUMEN 4 - NÚMERO 1 - 2019 - PP. 86-110  
Recibido: 17 de diciembre de 2018 -  
Aprobado: 04 de febrero de 2019.

**María Cecilia Londoño**  
Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia.  
mlondono@humboldt.org.co

**Liliana Patricia Saboyá**  
Departamento de Ecología y Territorio, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia  
lilianasaboya@javeriana.edu.co

**Nicolás Urbina-Cardona**  
Departamento de Ecología y Territorio, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia  
urbina-j@javeriana.edu.co



ARTÍCULO DE REVISIÓN

## **Conocimiento científico de los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad continental: productividad de las instituciones colombianas y propuesta para un análisis integral**

Scientific knowledge about the effects of climate change on continental biodiversity: productivity of Colombian institutions and proposal for an integrative analysis

### **RESUMEN**

Conocer los efectos del cambio climático (CC) sobre la biodiversidad es complejo pues diferentes escalas de biodiversidad, interacciones, fenología, asincronías y escalas espaciales están implicadas. Revisar las publicaciones sobre la relación entre CC y biodiversidad permite identificar las áreas de conocimiento e instituciones que aportan al entendimiento del tema. De los 65.169 documentos encontrados en las bases de datos revisadas, más del 70 % fueron publicados en los últimos 8 años. Alrededor de 20 instituciones colombianas (304 publicaciones) han producido nuevo conocimiento en el tema y en los últimos 8 años han incrementado el número de áreas de conocimiento trabajadas, de 23 a 40 áreas. Las instituciones colombianas han colaborado con hasta 500 instituciones en todo el mundo para producir nuevos conoci-

mientos sobre el tema. En la presente reflexión se propone estudiar los efectos del CC sobre la biodiversidad continental en 5 niveles y se plantea un diagrama conceptual para su integración: 1. Desplazamiento geográfico en distribución de especies; 2. Cambios fenológicos: migración, floración y reproducción de individuos; 3. Modificaciones en la morfología, tamaño corporal y comportamiento en poblaciones; 4. Modificación de la estructura de comunidades; 5. Modificación en las interacciones bióticas. Por último, se plantean retos de estudio e interacción científica, se evidencian sinergias entre los temas de investigación y se proponen elementos clave para la construcción de indicadores.

**Palabras clave:** Bibliometría. Cambio global. Comunidades bióticas. Distribución de especies. Estructura de comunidades. Fenología de especies. Interacciones bióticas. Rasgos de historia de vida.

## ABSTRACT

Understanding the effects of climate change (CC) on biodiversity is complex because it involves multiple scales of biodiversity, biotic interactions, phenology, asynchronies, and spatial scales. By reviewing publications on the relationship between CC and biodiversity, the areas of knowledge and institutions that contribute to understanding the subject were identified. We found 65,169 documents in peer-review literature databases, of which more than 70% were published in the last eight years. About 20 Colombian institutions (304 publications) have produced new knowledge on the subject, and in the last eight years have increased the number of knowledge areas worked, from 23 to 40 areas. Colombian institutions have collaborated with up to 500 institutions globally to produce new knowledge on the subject. In this work we propose five levels to understand the effects of CC on continental biodiversity and a conceptual diagram for their integration: (1) Geographic displacement in the distribution of species, (2) Changes in phenology: migration, flowering, and reproduction of individuals, (3) Modifications in morphology, body size and behavior in populations, (4) Modification of the structure of communities, and (5) Modification of biotic interactions. Finally, we identify challenges for the scientific research for understanding the effects of CC on biodiversity, evidence synergies between research topics, and propose key monitoring elements for the construction of indicators.

**Keywords:** Bibliometrics. Biotic communities. Biotic interactions. Community structure. Global change. Life history traits. Species distribution. Species phenology.

## INTRODUCCIÓN

“We are changing Earth more rapidly than we are understanding it”.  
Vitousek *et al.*, 1997

Desde la década de los 50 del siglo anterior se han desarrollado investigaciones sobre cambio climático (CC) y biodiversidad, muchos de ellos se han centrado en el efecto

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN  
PALABRAS CLAVE  
ABSTRACT  
KEY WORDS  
INTRODUCCIÓN  
DESARROLLO  
CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES  
REFERENCIAS  
AGRADECIMIENTOS  
SOBRE LOS AUTORES  
ANEXOS

que el aumento de temperatura tiene sobre las especies, observando una tendencia hacia el cambio en la distribución y desplazamiento de los rangos geográficos de las especies hacia latitudes o altitudes mayores (Forero-Medina *et al.*, 2011; Walther *et al.*, 2002). También se tiene evidencia del cambio fenológico y migratorio pues se ha observado, para el hemisferio norte, un adelanto en los eventos relacionados con el inicio de la primavera (Rosenzweig *et al.*, 2007). Setenta años después de haber iniciado el camino del entendimiento de los efectos del CC sobre la biodiversidad podemos exponer claramente la complejidad del tema y ver que el efecto sobre las especies es solo la punta del iceberg. Las publicaciones científicas en medios arbitrados por pares expertos son una de las principales fuentes de difusión tradicional del nuevo conocimiento a nivel global. Actualmente, existen bases de datos especializadas (por ejemplo, Web of Science (WoS), Scopus y ScienceDirect), que indexan revistas científicas bajo sus propios parámetros, y permiten realizar búsquedas estructuradas y sistemáticas de artículos científicos publicados sobre determinado campo del conocimiento.

El efecto del CC es analizado desde cuatro fenómenos particulares: 1. Aumento en temperatura; 2. Cambio en precipitaciones; 3. Aumento de eventos extremos; 4. Cambio en las concentraciones atmosféricas, especialmente el incremento de CO<sub>2</sub>. Cada uno de ellos da respuestas diferenciales entre los elementos que componen los ecosistemas por lo que es necesario discriminar los efectos del cambio climático a los diferentes niveles de la biodiversidad: individuos, poblaciones, especies, comunidades e interacciones entre especies (Figura 1). El desacoplamiento de las interacciones que mantienen a los sistemas naturales, tiene muchas veces un impacto inesperado, en espacio y tiempo, el cual percibimos solo cuando se ve afectado nuestro bienestar humano; por ejemplo, al reducirse los procesos de polinización o al incrementar la tasa de enfermedades emergentes (Figura 1).

En la presente reflexión, exploramos las tendencias de la producción científica frente al tema del efecto del CC sobre la biodiversidad, y proponemos cinco niveles de análisis para una mejor comprensión de este complejo fenómeno (Figura 1):

- 1. DG.** Desplazamiento geográfico en la distribución de las **especies**, delimitado por la estructura y conectividad del hábitat, las barreras biogeográficas y el nicho climático de las especies.
- 2. CF.** Cambios fenológicos a nivel de la migración, floración y reproducción de **individuos**, mediados por la plasticidad fenotípica, la evolución, la adaptación y las dinámicas poblacionales.
- 3. MM.** Modificaciones en la morfología, tamaño corporal y comportamiento, a nivel de **poblaciones**, las cuales modelan la estructuración de las comunidades (MC) incluyendo las interacciones bióticas (MI) y la distribución de las especies (DG).

**4. MC.** Modificación de la estructura de las **comunidades**, dada por la interacción entre los efectos en (DG), (CF) y (MM).

**5. MI.** Modificación en las **interacciones bióticas**, que hacen parte del análisis a nivel comunitario (MC) pero se plantea como una categoría adicional al presentar propiedades emergentes que van más allá de las relaciones taxonómicas, filogenéticas, y de los patrones de abundancia y rareza en el ensamblaje.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

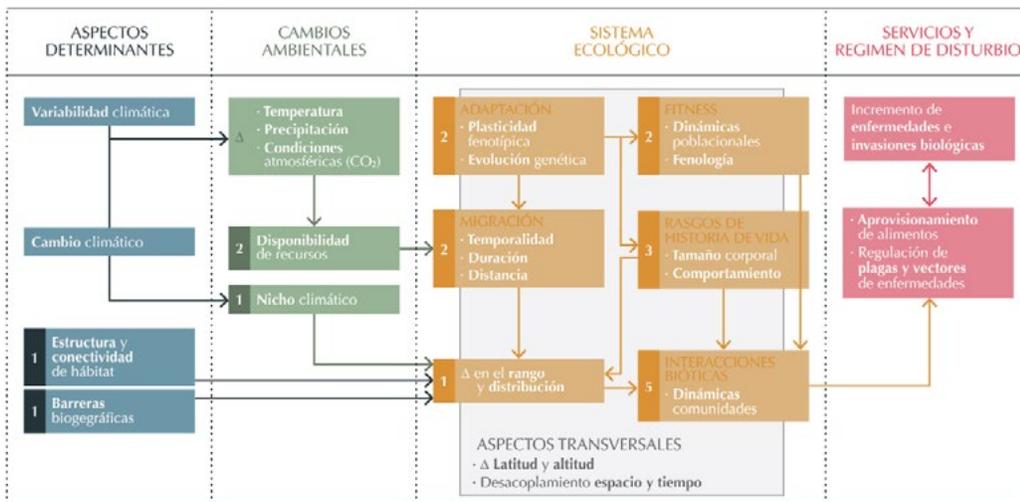


Figura 1. Diagrama conceptual de los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad. Significado del color de las cajas: azul y verde, representan características predictoras de cambio en sistemas biológicos; naranja, representan características de respuesta de los sistemas biológicos; gris, indican aspectos transversales que median y determinan los efectos causales definidos por las flechas; rojo, ejemplifican efectos del cambio en servicios ecosistémicos y regímenes de disturbio. La dirección de la flecha entre cajas indica un efecto causal y los números el nivel de análisis propuesto en este texto: 1= DG, 2= CF, 3= MM y 5=MI. Cabe resaltar que el numeral 4 (MC) está considerado dentro de 5.

## DESARROLLO

### 1. Búsqueda de literatura

Con el fin de determinar los patrones de publicación en la literatura científica sobre el efecto del cambio climático en la biodiversidad, se realizaron búsquedas en tres bases de datos (WoS, Scopus y ScienceDirect) usando la ecuación de búsqueda: («climate change» OR «global warming») AND (biodiversity OR specie\* OR endemic\* OR ecosystem\*). Los términos de búsqueda se limitaron al título, resumen y palabras clave de cada documento. El periodo de años de la búsqueda varió entre las bases de datos, dependiendo de la suscripción vigente de la Pontificia Universidad Javeriana (a febrero de 2018), así: WoS entre 2001 y 2018; Scopus entre 1955 y 2018, y ScienceDirect entre 1973 y 2018. Haciendo uso de las herramientas de clasificación de publi-

RESUMEN  
PALABRAS CLAVE  
ABSTRACT  
KEY WORDS  
INTRODUCCIÓN  
DESARROLLO  
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES  
AGRADECIMIENTOS  
REFERENCIAS  
SOBRE LOS AUTORES  
ANEXOS

caciones de Scopus, se determinaron las áreas de conocimiento a las que pertenecen los documentos. Adicionalmente, se modificó la búsqueda inicial adicionando AND TS=("Freshwater" OR River\* OR Stream\* or Watershead) para identificar trabajos relacionados con recursos hidrobiológicos y AND TS=(Marine Or Costal Or Ocean) para identificar trabajos relacionados con ambientes marinos. De los resultados obtenidos se restringió la búsqueda a aquellos estudios que incluyeran al menos un autor con filiación institucional en Colombia. Finalmente, se analizó el estado de conocimiento desde la productividad científica para conocer: a. el número de publicaciones sobre el tema a lo largo del tiempo; b. las áreas de conocimiento en las que se han desarrollado estas investigaciones; y c. las instituciones más productivas en la generación de conocimiento en este campo.

## 2. Tendencias en la producción científica sobre cambio climático y biodiversidad

### 2.1 Productividad a nivel global

Relacionadas con el efecto del cambio climático en la biodiversidad, se encontraron en total 57.180 publicaciones en WoS, 65.169 en Scopus y 10.728 en ScienceDirect. A partir de la década de los 90 se evidencia un aumento en el número de publicaciones, de las cuales las bases de datos WoS y Scopus contienen mayor cantidad de literatura (Figura 2). Del total de estudios publicados hasta 2018, el 75,6 % se han realizado en la década de 2010 (Figura 2).

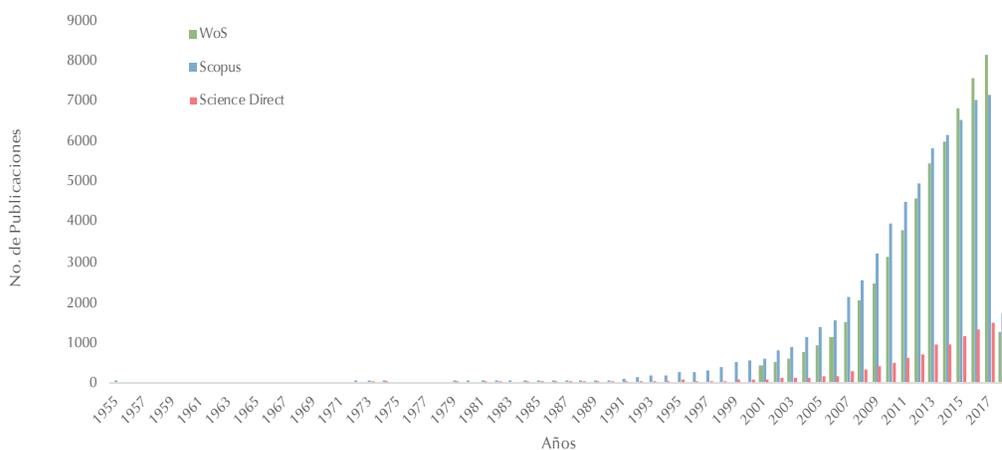


Figura 2. Número de publicaciones por año reportadas por las bases de datos WoS, Scopus y Science Direct.

Los estudios realizados han estado vinculados a las ciencias agrícolas, biológicas y ambientales. Otras áreas de conocimiento de importancia son ciencias de la tierra-planetarias y genética-bioquímica-biología molecular (Figura 3). A nivel global, el 14,8 % de publicaciones incluyeron temas dulceacuícolas y el 19,6 % temas marinos (Anexo 1).

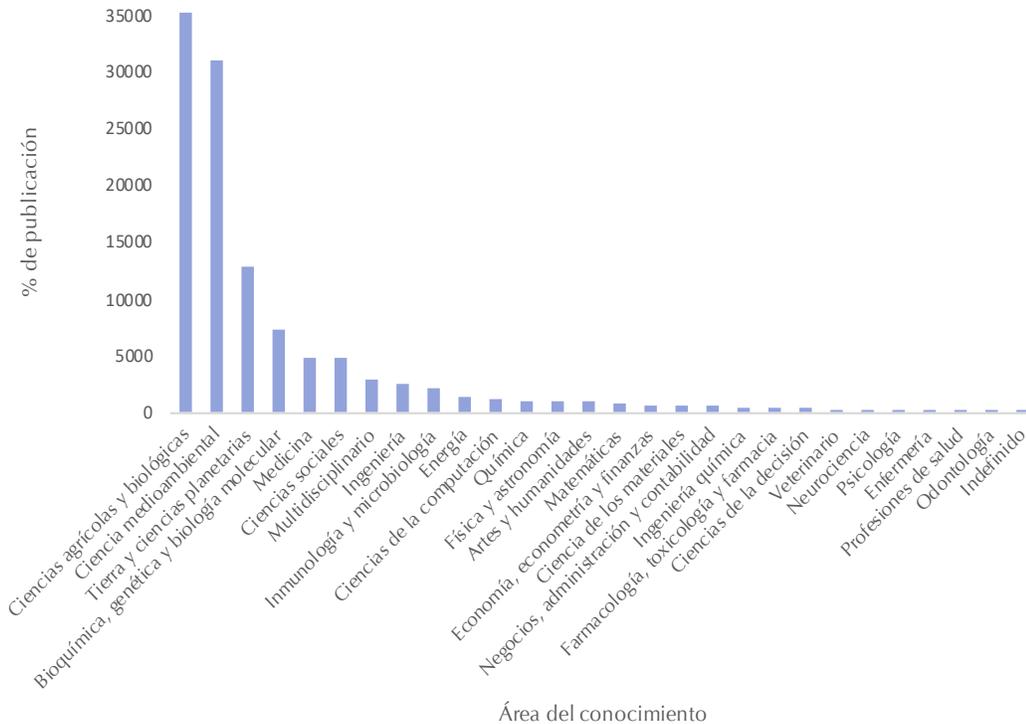


Figura 3. Porcentaje de publicaciones por área de conocimiento, acorde con la base de datos Scopus. Dado que las categorías de áreas del conocimiento entre Scopus y WoS son diferentes, y que ScienceDirect no permite clasificar los documentos bajo este parámetro, se muestran solamente las áreas acorde a Scopus.

El mayor número de publicaciones han sido realizadas por instituciones en los Estados Unidos, seguido por el Reino Unido, China, Australia, Alemania y Canadá (Figura 4). En este listado general Colombia se encuentra ubicado en el puesto 39, y a nivel de América Latina ocupa el quinto lugar, con 303 publicaciones luego de Brasil, México, Argentina y Chile (Anexo 2).

- RESUMEN
- PALABRAS CLAVE
- ABSTRACT
- KEY WORDS
- INTRODUCCIÓN
- DESARROLLO**
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- AGRADECIMIENTOS
- REFERENCIAS
- SOBRE LOS AUTORES
- ANEXOS

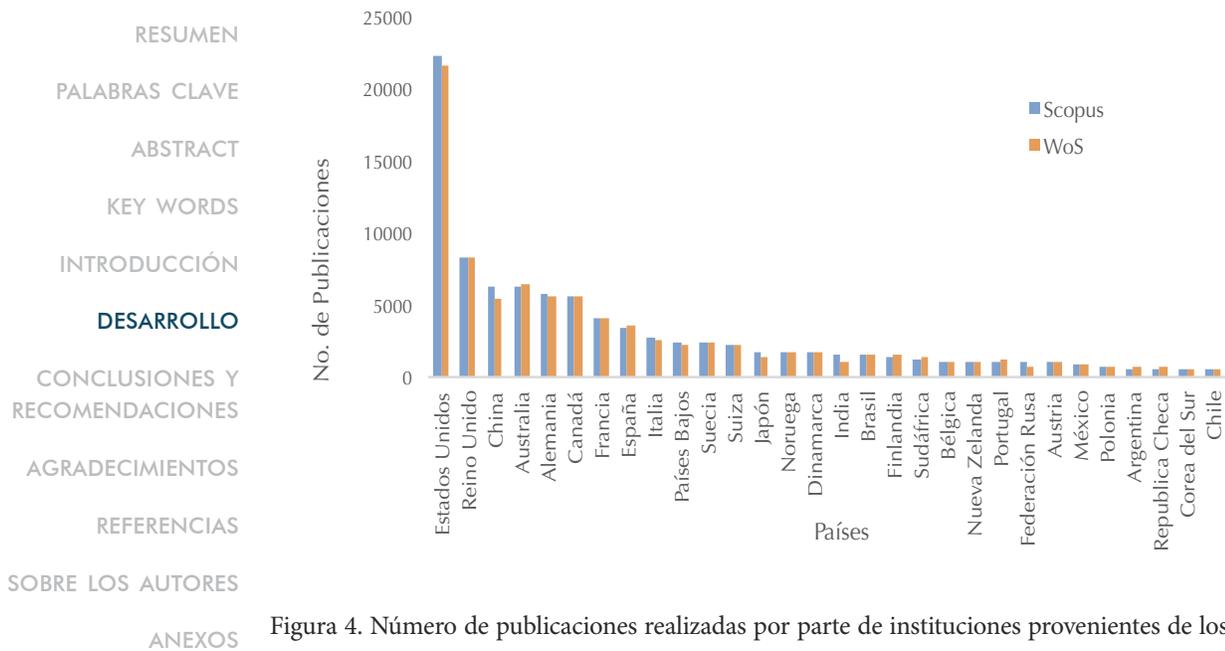


Figura 4. Número de publicaciones realizadas por parte de instituciones provenientes de los 30 países con mayor producción científica sobre el tema. Los resultados se muestran para las bases de datos WoS y Scopus, para la base de datos Sciencedirect no se encuentra disponible esta información.

## 2.2 Productividad con coautoría de instituciones colombianas

Se encontraron 301 publicaciones en WoS y 296 en Scopus, iniciando desde el año 1996, de las cuales aproximadamente el 90 % son estudios de caso y 10 % son revisiones de literatura. A partir de 2010 se puede observar un incremento de 81 % en el número de publicaciones (Figura 5).

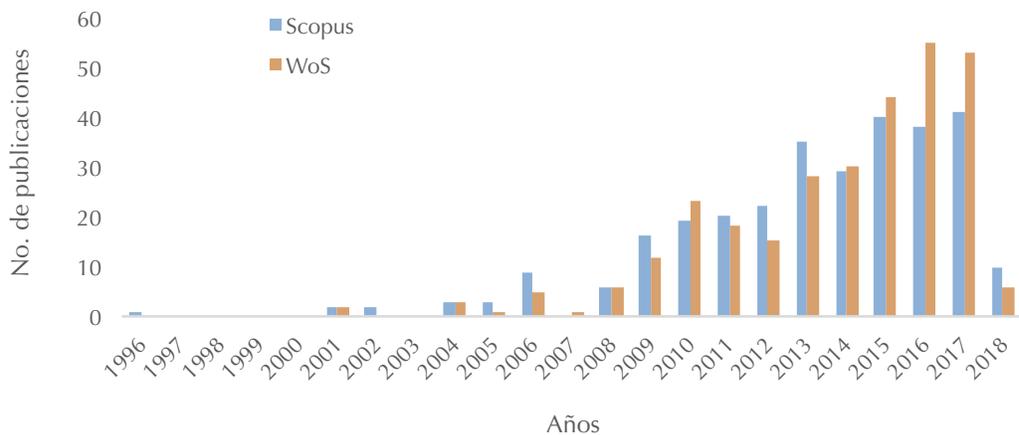


Figura 5. Número de publicaciones por año en las cuales participa al menos un coautor con filiación institucional en Colombia. Los resultados se muestran para las bases de datos WoS y Scopus (la información no se encontraba disponible para la base de datos ScienceDirect).

El número de áreas de conocimiento a las que las publicaciones pertenecen, ha aumentado en 42 % desde la década del 2000, durante la cual los documentos pertenecían a 23 áreas. A partir de la década del 2010, los documentos pertenecen a 40 áreas del conocimiento. Colombia sigue la tendencia global en cuanto a un mayor número de publicaciones en las áreas de conocimiento que abordan el tema de ciencias ambientales, ecología y agricultura; adicionalmente, las instituciones colombianas también están trabajando en biodiversidad y conservación (Figura 6). Sin embargo, para la década de los 2010 se registra, por un lado, una disminución en temas relacionados con geografía, genética, pesca, recursos hídricos y sensores remotos, entre otros; por otro lado, se presenta un incremento en las publicaciones en nuevas áreas emergentes como ciencias atmosféricas, medicina tropical, entomología y parasitología. El 15,6 % de publicaciones incluyeron temas dulceacuícolas y el 14,6 % temas marinos (Anexo 1).

- RESUMEN
- PALABRAS CLAVE
- ABSTRACT
- KEY WORDS
- INTRODUCCIÓN
- DESARROLLO
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- AGRADECIMIENTOS
- REFERENCIAS
- SOBRE LOS AUTORES
- ANEXOS

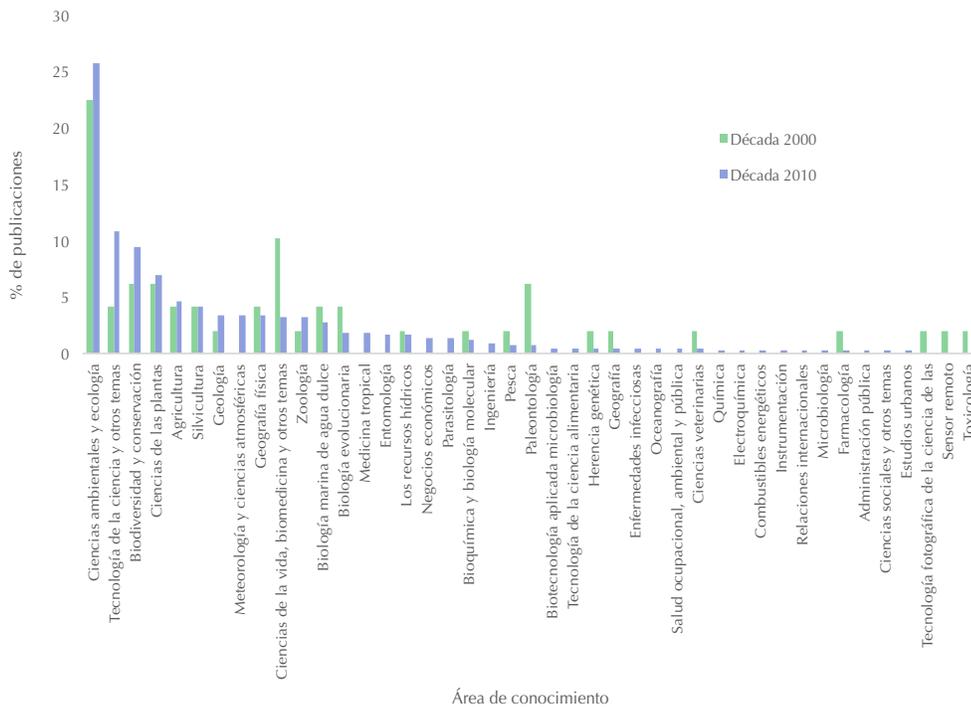


Figura 6. Porcentaje de publicaciones por décadas por área de conocimiento, ya sean realizados en Colombia o por Instituciones Colombianas. Los resultados se muestran para las bases de datos Scopus.

Para el caso colombiano, entre 14 y 20 instituciones (dependiendo de la base de datos) han publicado documentos científicos en colaboración con una gran cantidad de instituciones extranjeras (entre 160 y 500, dependiendo de la base de datos). La Universidad Nacional de Colombia es la institución Colombiana con más publicaciones sobre el tema (78 reportadas en Scopus y 59 en WoS), seguida por el CIAT (entre de 60 a 70 publicaciones) (Figura 7).

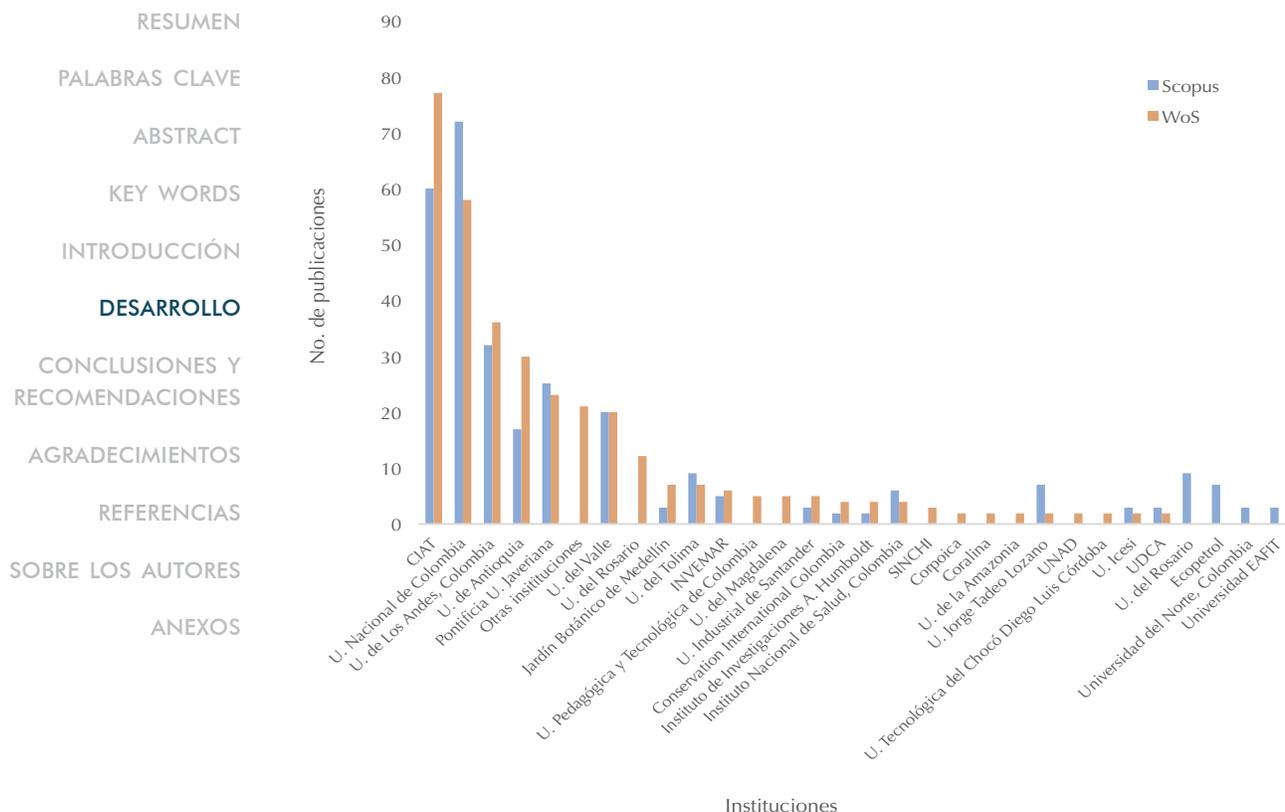


Figura 7. Número de documentos publicados por instituciones colombianas. Los resultados se muestran para las bases de datos WoS y Scopus.

Al compilar los coautores de todas las publicaciones con coautoría de instituciones colombianas se puede evidenciar un conjunto de 500 autores que han realizado publicaciones, de los cuales solamente el 6,4 % ha publicado entre 4 y 14 documentos. Esto demuestra la gran diversidad de autorías y la baja especialización en el tema por parte de los investigadores (Anexo 3).

### 3. La evidencia científica

Es creciente la evidencia que demuestra que el cambio climático será una de las principales amenazas para la biodiversidad y el bienestar humano (Pecl *et al.*, 2017; Bellard *et al.*, 2012). Como se puede observar en la Figura 1, los resultados de las investigaciones fueron agrupados para una propuesta de niveles de análisis que representan los temas más relevantes y que cuentan con evidencia científica de los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad continental. A continuación describimos estos niveles de análisis y su evidencia científica.

### 3.1 Desplazamiento geográfico en la distribución de las especies (DG)

La distribución de las especies está restringida por factores históricos, bióticos y abióticos (Soberón y Peterson, 2011). Para el estudio de los abióticos es importante entender el concepto de nicho climático, el cual se delimita por los rangos en los que la especie puede persistir. Si asumimos que el nicho climático se mantiene en el tiempo (conservadurismo de nicho), frente al cambio climático las especies deberán buscar los espacios geográficos que mantienen ese nicho climático. Si en esta búsqueda las especies cuentan con que otros factores como disponibilidad de hábitat, interacciones bióticas y barreras geográficas le son favorables y permiten su movimiento, entonces puede haber desplazamiento geográfico de las especies (Figura 1). Si, por el contrario, las condiciones no son apropiadas, la especie no podrá buscar su nicho climático y se verá enfrentada a unas nuevas condiciones ambientales a las que, dada su plasticidad morfológica, fisiológica y comportamental, deberá adaptarse (Rodríguez-Trelles y Rodríguez, 1998) o colapsar (Pounds y Crump, 1994). Sin embargo, se ha demostrado que las especies no se adaptan con facilidad a cambios ambientales intensos y frecuentes, por lo que el cambio de distribución geográfica parecería una de las respuestas más factibles (Martínez-Meyer *et al.*, 2004).

Se ha demostrado que algunas especies ya se han desplazado latitudinalmente (a una tasa promedio de 16,9 km por década) en dirección hacia los polos, y altitudinalmente (a una tasa promedio de 11 m por década) hacia mayores elevaciones, también que estas tendencias se incrementan con mayores niveles de calentamiento (Chen *et al.*, 2011). Algunos estudios sugieren que la mayor parte de las variaciones en las áreas de distribución de especies ocurrirá en las regiones tropicales de Suramérica, en las que las especies que habitan en las montañas son más vulnerables a los efectos de cambio climático (Sekercioglu *et al.*, 2008; Urbina-Cardona, 2011; Sekercioglu *et al.*, 2012). Bajo estos escenarios, la biodiversidad tiende a incrementar sus rangos altitudinales y a colonizar tierras altas; sin embargo, en algunas ocasiones la ocupación de nuevos rangos altitudinales puede llevar a las poblaciones traslocadas a una trampa dada la presencia de enfermedades emergentes (Seimon *et al.*, 2007).

Estos movimientos hacia tierras altas, se explican como una respuesta de las especies al aumento en la temperatura promedio del siglo pasado (Parmesan y Yohe, 2003). En varios casos, se ha evidenciado que el desplazamiento corresponde a lo predicho si los organismos buscan su temperatura óptima (Moritz *et al.*, 2008, Beckage *et al.*, 2008, Colwell *et al.*, 2008). En este sentido, especies pertenecientes a los grupo de anfibios y reptiles, al ser organismos ectotermos que no producen suficiente calor metabólico para controlar su temperatura corporal, por lo cual lo absorben en su mayoría del medio en el que se encuentren, han sido considerados como uno de los grupo con mayor sensibilidad a las variaciones ambientales, ya que todos sus procesos fisiológicos son termodependientes, y por tanto, afectan su distribución geográfica

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN (Deutsch *et al.*, 2008; Araújo *et al.*, 2009; Huey *et al.*, 2009; Sinervo *et al.*, 2010; Forero-Medina *et al.*, 2011; Vitt y Caldwell, 2013; Bonino *et al.*, 2015).

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT La temperatura ha sido identificada como un factor limitante para la biodiversidad en ecosistemas tropicales de alta montaña (Navas 1997, 2008; Graham *et al.*, 2009; Kessler *et al.*, 2011). Los gradientes altitudinales han sido utilizados desde el siglo XIX (von Humboldt, 1849) hasta la actualidad (Sundqvist *et al.*, 2013) para entender la respuesta de las comunidades y los ecosistemas a cambios ambientales. Para el caso

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

### 3.2 Cambios fenológicos: migración, floración, reproducción (CF)

Dado que algunas especies han reportado desplazamiento hacia latitudes mayores, la distancia en sus migraciones desde latitudes menores se ha extendido, teniendo que recorrer rutas más largas para poder encontrar los recursos necesarios para su supervivencia (Fiedler, 2003). El cambio en la disponibilidad de recursos que resulta del cambio en el clima ha afectado también el tiempo de las migraciones, observándose para el hemisferio norte, migraciones más tempranas en el año y esto trae como consecuencia épocas reproductivas más largas (Fiedler, 2003). En otros casos, el aumento en la precipitación ha ocasionado un incremento en recursos disponibles, consecuencia de esto es la supresión de las migraciones o migraciones parciales; es decir que algunos de los individuos de la población no migran al encontrar recursos disponibles en los sitios donde se encuentran (Richardson, 1978).

Frente a los cambios fenológicos observados en plantas, se ha encontrado que algunas especies presentan durante la primavera un adelanto en la floración (y producción de hojas) a una tasa de 2,3-5,2 días por década en los últimos 30 años; la evidencia sugiere que estos cambios ocurren por el aumento de temperatura promedio (Rosenzweig *et al.*, 2007). Los anfibios son uno de los grupos de fauna, cuya fenología se ve ampliamente afectada por efecto del cambio climático (Catenazzi, 2015). Esta asincronía en la reproducción genera alteraciones en las tasas de supervivencia de las poblaciones (Reading, 2007), cambios a nivel comportamental (Ruiz-Aravena *et al.*, 2014), reducción en las migraciones altitudinales (Pounds, 1999), bajo éxito reproductivo (Gao *et al.*, 2015) y alteración de la estructura de los ensamblajes (Beebe, 1995; Blaustein *et al.*, 2001; Parmesan, 2006; Green, 2016).

Cambios en los tiempos de floración tienen un efecto cascada frente a aquellos ciclos biológicos que dependen de ellos (Myneni *et al.*, 1997). Por ejemplo, en ecosistemas en Europa se ha evidenciado que la presencia de flores es necesaria para asegurar la reproducción de insectos, que a su vez son el alimento de aves migratorias, que alimentan con ellos a sus crías. Si el adelanto de la migración de las aves no coincide con el de la época de floración, hay un desacoplamiento en el ciclo biológico; además el éxito reproductivo de las aves se ve afectado de manera negativa al bajar la sobrevivencia de las crías (Visser *et al.*, 1998; Both *et al.*, 2006). Este caso puede ser extrapolado a otros en los que las interacciones de polinización están relacionadas (Memmott *et al.*, 2007) y, los desacoplamientos en los tiempos de floración y disponibilidad de polinizadores tienen efectos graves en la producción de alimentos.

### 3.3 Modificaciones en la morfología, tamaño corporal y comportamiento (MM)

El tamaño corporal tiene implicaciones importantes para la biología térmica y energía de los organismos (Gardner *et al.*, 2011), pues interactúa con la temperatura ambiente y la corporal, afectando el metabolismo y los rasgos de historia de vida (Calder, 1996). Se ha sugerido que la reducción en el tamaño corporal es una respuesta al calentamiento global (Daufresne *et al.*, 2009); sin embargo, esta sugerencia proviene de estudios localizados y de especies particulares en áreas geográficas específicas. Dado que las evidencias frente al cambio de tamaño corporal tanto en magnitud como en dirección son heterogéneas, Gardner *et al.*, (2011) indican que lo sugerido por Daufresne *et al.*, (2009) es aún prematuro.

El cambio climático actúa en sinergia con otros procesos a nivel de paisaje, como los cambios en el uso y cobertura del suelo. Algunas revisiones recientes han demostrado que dependiendo de su tamaño corporal las especies animales responden a la fragmentación del hábitat (Kosydar *et al.*, 2014) y a los efectos de borde generados en el ecotono entre bosques naturales y ambientes antropogénicos (Pfeifer *et al.*, 2017). En este sentido, el riesgo de extinción de las especies puede ser entendido a partir de algunos rasgos de las especies (Purvis *et al.*, 2000). Aún es un reto entender la relación entre el papel funcional de las especies y su respuesta, dados sus rasgos funcionales, ante factores exógenos de cambio global (Carvajal-Cogollo *et al.*, 2019). Uno de los campos emergentes, que se ha convertido en una herramienta clave para relacionar a las especies con su ambiente, es la ecología térmica (Tuff, 2016), la cual puede ayudarnos a entender mecanismos más complejos que operan sobre las poblaciones (Watling y Braga, 2015).

Entender los vínculos mecánicos que relacionan el tamaño corporal con la heterogeneidad ambiental es de vital importancia para entender la potencialidad que una especie tiene para responder al cambio climático (Gardner *et al.*, 2011). Por

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN ejemplo, estudios como el de Chan *et al.*, (2005) han observado una terminación más temprana en los periodos de hibernación que resulta preocupante, pues estas especies salen de hibernación antes de que los recursos que necesitan para su sobrevivencia estén disponibles, afectando su nutrición y tamaño corporal. Generar información de la que se cree necesario para mejorar los modelos predictivos de respuestas de las especies a los cambios. El creciente uso de modelos correlativos que no incluyen esta información puede estar obstaculizando la interpretación y poder predictivo de otras aproximaciones (Gardner *et al.*, 2011).

DESARROLLO

### 3.4 Modificación de la estructura de las comunidades (MC)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La evidencia fósil en el estudio de mamíferos ha evidenciado que el cambio climático tiene efectos en la diversidad y composición de comunidades (Barnosky *et al.*, 2003; MacDonald *et al.*, 2008). Los cambios en las comunidades de mamíferos se han relacionado con los ciclos de Milankovitch (van Dam *et al.*, 2006), con el máximo térmico entre el Paleoceno y el Eoceno (Gingerich, 2006), y con el calentamiento global durante el Pleistoceno (Shapiro *et al.*, 2004; Debruyne *et al.*, 2008). Dada esta relación algunos investigadores han usado el estudio de fósiles de mamíferos para reconstruir el paleoclima (Legendre *et al.*, 2005; Fernández y Peláez-Campomanes, 2005).

AGRADECIMIENTOS

A manera de ejemplo, la Red Amazónica de Inventarios Forestales (Rainfor) ha proporcionado evidencia del cambio en la comunidad de bosques primarios en ese ecosistema, en el que géneros de árboles de crecimiento lento han reducido su dominancia y géneros de árboles de crecimiento rápido han aumentado (Laurance *et al.*, 2005; Phillips, *et al.*, 2008). También se ha evidenciado un aumento en la densidad de lianas dentro de estos bosques primarios. Estos cambios se han atribuido al incremento de la concentración atmosférica del CO<sub>2</sub> (Phillips *et al.*, 2008).

REFERENCIAS

Lamentablemente son pocos los conjuntos de datos que tienen la continuidad necesaria para evidenciar cambios recientes en la composición y estructura de las comunidades (Buckland *et al.*, 2005). En la actualidad, se han compilado de manera rigurosa algunas bases de datos globales de estudios de campo a nivel de comunidades: el proyecto BioTIME se enfoca en ensamblar series de tiempo de muestreos de biodiversidad en lugares geográficos con buen estado de conocimiento, para entender el recambio de especies y sus patrones de abundancia y rareza en los ensamblajes (<https://synergy.st-andrews.ac.uk/biotime/biotime-database/>). Por su parte, el proyecto GLORIA (Global Observations Research Initiative in Alpine Environments) busca entender la respuesta multitemporal de las comunidades de plantas a gradientes altitudinales para entender los efectos del cambio climático en la vegetación alpina (<http://www.gloria.ac.at>). Por otro lado, los proyectos BioFRAG (Pfeifer *et al.*, 2014) y PREDICTS (Hudson *et al.*, 2017) han compilado millones de datos de especies en miles de biomas para entender y predecir la respuesta de la biodiversidad ante el cambio global.

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

Si se articulan bases de datos de estructura de comunidades, con datos de rasgos funcionales (de campo, colecciones biológicas y literatura), se podrá tener a futuro un mejor entendimiento de las reglas de ensamblaje que operan sobre los conjuntos de especies y moldean sus dinámicas, a partir de la interacción entre filtros ambientales y similitud limitante (Carvajal-Cogollo *et al.*, 2019). Es así, como estudios clásicos sobre recambio de especies a lo largo de filtros ambientales, como gradientes altitudinales (Rahbek, 2005), pueden verse enriquecidos desde miradas complementarias como las facetas: funcional y filogenética (Hernández-Ordóñez *et al.*, 2019).

### 3.5 Modificación en las interacciones bióticas (MI)

Los desacoplamientos temporales (dados por los cambios en fenología, migración o comportamiento) y el desacoplamiento espacial (dado por los cambios en las distribuciones geográficas de las especies) resultan en la afectación de las interacciones bióticas. Estos cambios se han documentado (Callaway *et al.*, 2002), y son sin duda una de las consecuencias que mayores efectos desconocidos tiene.

Uno de los casos particulares en que los cambios en las interacciones pueden afectar la salud de los ecosistemas está relacionado con el aumento de enfermedades en plantas. El ciclo de las enfermedades depende de la condición del hospedero, el patógeno y el ambiente. El aumento de la temperatura, la humedad relativa y la humedad específica de las hojas aumenta el éxito del establecimiento del patógeno y, por lo tanto, el riesgo que tienen las plantas de obtener la enfermedad (Agrios, 2005).

Los patógenos y plagas se caracterizan, generalmente, por tener dietas amplias, más de un ciclo reproductivo al año, tasas de crecimiento rápidas, ser altamente móviles, alta plasticidad fenotípica y tiempos generacionales rápidos. Estas características favorecen las especies que las poseen a la adaptación al cambio climático. No hay duda de que el cambio climático puede afectar la frecuencia e intensidad de las enfermedades epidemiológicas (Garrett *et al.*, 2009).

Una de las alertas actuales es que la resiliencia de los sistemas naturales es limitada y presenta un umbral luego del cual el sistema colapsa, debido a que depende de la capacidad de mantener sus funciones e identidad ante escenarios de cambio global (Gao *et al.*, 2016). Gao *et al.*, (2016) llaman la atención a que, dada la interdependencia de las especies para su supervivencia, una especie (y en general un sistema) con mayor número de vínculos tiende a ser más resiliente y tener mayor capacidad de adaptación ante cambios en su entorno, la extinción local de especies simplifica la red reduciendo el número de vínculos hasta presentar un colapso, que se acelera exponencialmente bajo escenarios de cambio climático.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

**CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES**

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

En el presente estudio se muestra que las instituciones colombianas, con cerca de 300 publicaciones, configuran una gran red de colaboración entre autores de instituciones colombianas con otros autores del mundo. Sin embargo, el número de publicaciones por autor es bajo (Anexo 3), aunque en los últimos ocho años ha incrementado la diversidad de áreas del conocimiento de los estudios (Figura 6), lo que permite inferir que el efecto de cambio climático sobre la biodiversidad es un tema estudiado de manera tangencial frente a las principales líneas de investigación, y atomizado en diferentes temáticas por las instituciones del país. Este escenario, en el que gran cantidad de investigadores estudian los efectos de este sobre la biodiversidad, desde diferentes enfoques y perspectivas (como las diferentes rutinas y protocolos usados por diferentes áreas del conocimiento), puede ser visto como una oportunidad para profundizar en los estudios de cambio climático desde una mirada transdisciplinar en la investigación. El paso a seguir será entonces la elaboración de un análisis a mayor profundidad del grado de colaboración y redes de coautoría entre autores de instituciones colombianas y extranjeras. Este análisis deberá mostrar, para estudios realizados sobre la biodiversidad colombiana, dinámicas temporales en las redes de colaboración por diferentes ecosistemas, grupos taxonómicos y de diferentes temáticas de investigación; para evidenciar vacíos de conocimiento en el país y oportunidades de interacción entre grupos de investigación. Por lo pronto, resaltamos dos temas generales y prioritarios para trabajar las posibles colaboraciones en cuanto a biodiversidad continental: 1. Efectos sinérgicos; y 2. Requerimientos y desafíos para la construcción de indicadores de monitoreo.

### Efectos sinérgicos

Con el paso del tiempo, la humanidad es cada vez más consciente de que el cambio climático amenaza la persistencia de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos (Bhattarai, 2017), como se demuestra por la evidencia científica destacada en este documento. Sin embargo, se debe recordar que, simultáneamente, enfrentamos múltiples fenómenos como consecuencia de la acción humana, entre los cuales están la pérdida, fragmentación y degradación del hábitat; la contaminación y el deterioro de las fuentes de agua dulce; la contaminación y la degradación del medio ambiente marino; la deforestación y el incremento de la desertización; los contaminantes orgánicos persistentes; y la desestabilización de los ciclos de fósforo y nitrógeno, entre otros. Todos estos fenómenos se encuentran interrelacionados en forma compleja y profunda, afectando la biodiversidad a través de complejos mecanismos que incluyen, por ejemplo, las enfermedades emergentes y los cambios en el uso del suelo (Hof *et al.*, 2011) o a la regeneración de los bosques y su relación con regímenes de disturbio de origen natural (Suazo-Ortuño *et al.*, 2018). Brook *et al.*, (2008) afirmaron que las interacciones entre factores que amenazan la biodiversidad generan un efecto sinérgico mayor que el efecto individual.

Uno de los efectos sinérgicos más estudiados es el del cambio climático y la pérdida de hábitat. Travis (2003) afirmó que la combinación de pérdida y fragmentación de hábitat, junto con los efectos del cambio climático puede tener consecuencias desastrosas para la conservación de la biodiversidad, especialmente para especies con requerimientos ecológicos muy específicos. Para las zonas tropicales se predice una mayor variación de las áreas de distribución de las especies, ya que es aquí donde se encuentran las mayores tasas de crecimiento de la población humana y donde las economías se sustentan principalmente de aprovechar los recursos naturales, generando mayores tasas de transformación del paisaje y de pérdida de especies (Beaudrot *et al.*, 2016, Dirzo *et al.*, 2014). Un aspecto alarmante y poco estudiado es el posible incremento en las invasiones biológicas en áreas naturales protegidas bajo escenarios de cambio climático (Nori *et al.*, 2011; Loyola *et al.*, 2012).

La tasa de adaptación del nicho climático de más de 260 especies (artrópodos, plantas, mamíferos y aves) es en promedio 20.000 veces más lenta que las tasas proyectadas de cambio climático futuro (Jezkova y Wiens, 2016). Tal como afirman los científicos, la Tierra ha ingresado en la era del Antropoceno, caracterizada por cambios de una magnitud similar a los de las otras eras geológicas de nuestro planeta. La diferencia es que esas otras eras no estuvieron marcadas por la acción del hombre, sino por eventos ocurridos en el planeta o generados desde el espacio exterior, como el choque de grandes asteroides. Vivimos en una era de cambio del planeta ocasionada por la humanidad e, ineludiblemente, nos enfrentamos a prever y mitigar estos cambios y adaptarnos a ellos.

El entendimiento y modelamiento holístico de los ecosistemas es una necesidad urgente para consolidar herramientas robustas que permitan predecir la respuesta de la biodiversidad al CC y poder plantear escenarios de respuesta en reducción y mitigación de sus efectos.

## Requerimientos y desafíos para la construcción de indicadores de monitoreo

El monitoreo es fundamental para poder entender los patrones históricos y actuales de la biodiversidad, detectar señales de efectos de CC y poder adaptar las respuestas de manejo (Hole *et al.*, 2011). Indicadores de vulnerabilidad de las especies al cambio climático se han evaluado a través de métricas que describen cambios en el rango geográfico, cambios poblacionales y probabilidad de extinción (Pacifci *et al.*, 2015; Foden *et al.*, 2016). Pese a que se han documentado numerosos efectos del CC sobre la biodiversidad, el problema de los indicadores de impacto es que son difíciles de definir, esto sucede porque los efectos del cambio climático en la biodiversidad afectan sistemas dinámicos y complejos que adicionalmente están sujetos a otros factores que pueden estar ocasionando los cambios observados (efectos sinérgicos) y que son difíciles de controlar.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN	Para la construcción de indicadores que respondan a entender los efectos del cambio climático en la biodiversidad continental se deben tener en cuenta los siguientes puntos:
PALABRAS CLAVE	
ABSTRACT	
KEY WORDS	
INTRODUCCIÓN	
DESARROLLO	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
AGRADECIMIENTOS	
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	
ANEXOS	

Para la construcción de indicadores que respondan a entender los efectos del cambio climático en la biodiversidad continental se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

a) Tener datos en escalas de tiempo adecuadas: estudios en escalas temporales cortas van a mostrar los efectos de la variabilidad del tiempo en la biodiversidad, más no del cambio en los patrones del clima; por el contrario, estudios a escalas temporales muy amplias, por ejemplo los estudios paleontológicos, enmascaran los verdaderos efectos del cambio climático antropogénico al evidenciar cambios direccionales y graduales. Recientemente, se ha sugerido que el registro fósil es impreciso, incompleto y sesgado debido a que antes del periodo Cámbrico, la composición del mar de Argonita no permitió la fosilización adecuada de los organismos con exoesqueletos de Calcio (Dunn *et al.*, 2014). Para entender los efectos del cambio climático se deben tener estudios ecológicos con series de tiempo más largas que las que se tienen actualmente y que incorporen periodos de variabilidad climática, es decir que superen los 50 años de temporalidad, o desarrollar estudios paleoecológicos más detallados enfocados en periodos de tiempo donde se haya documentado cambios rápidos en el clima (Humphries, 2009).

(b) Entender mejor las afectaciones que tendría a escala local la variación y los eventos extremos en las precipitaciones, temperaturas y concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico. Se espera que estos efectos sean más fuertes que lo que se ha observado hasta el momento en lo relacionado al aumento promedio de temperatura global (Morecroft y Keith, 2009).

(c) Entender y modelar las interacciones en los ecosistemas, tanto entre los componentes bióticos internos como con otros motores de transformación externos. Este entendimiento nos dará mejores herramientas para buscar alternativas para la mitigación y adaptación al cambio climático; de otra manera, muchos efectos del cambio climático serán “sorpresas” al carecer del entendimiento de la complejidad de los sistemas, perdiendo su poder predictivo (Liu *et al.*, 2007).

## AGRADECIMIENTOS

César Gutierrez por el diseño de la Figura 1.

## REFERENCIAS

- Agrios, G. N. (2005). Introduction to plant pathology. *Elsevier Academic Press Publication*.
- Araújo, M. B., Nogués-Bravo, D., Diniz-Filho, J. A. F., Haywood, A. M., Valdes, P. J. y Rahbek, C. (2008). Quaternary climate changes explain diversity among reptiles and amphibians. *Ecography*, 31(1), 8-15.

- Barnosky, A. D., Hadly, E. A. y Bell, C. J. (2003). Mammalian response to global warming on varied temporal scales. *Journal of Mammalogy*, 84(2), 354-368.
- Beebee, T. J. C. (1995). Amphibian breeding and climate. *Nature* 374, 219-220.
- Beaudrot, L., Ahumada, J., O'Brien, T., Álvarez-Loayza, P., Boekee, K., Campos-Arceiz, A., Eichberg, D., Espinosa, S., Fegraus, E., Fletcher, C., Gajapersad, K., Hallam, C., Hurtado, J., Jansen, P.A., Kumar, A., Larney, E., Lima, G. M. M., Mahony, C., Martin, E. H., McWilliam, A., Mugerwa, B., Ndoundou-Hockemba, M., Razafimahaimodison, J. C., Romero-Saltos, H., Rovero, F., Salvador, J., Santos, F., Sheil, D., Spironello, W. R., Willig, M. R., Winarni, N. L., Zvoleff, A. y Andelman, S. J. (2016). Standardized assessment of biodiversity trends in tropical forest protected areas: the end is not in sight. *PLoS Biology*, 14(1), e1002357.
- Beckage, B., Osborne, B., Gavin, D. G., Pucko, C., Siccama, T. y Perkins, T. (2008). A rapid upward shift of a forest ecotone during 40 years of warming in the Green Mountains of Vermont. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(11), 4197-4202.
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W. y Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology letters*, 15(4), 365-377.
- Bhattarai, U. (2017). Impacts of climate change on biodiversity and ecosystem services: direction for future research. *Hydro Nepal*, 20, 41-48.
- Blaustein, A. R., Belden, L. K., Olson, D. H., Green, D. M., Root, T. L. y Kiesecker, J. M. (2001). Amphibian breeding and climate change. *Conservation Biology*, 15(6), 1804-1809.
- Bonino, M. F., Azócar, D. L. M., Schulte II, J. A., Abdala, C. S. y Cruz, F. B. (2015). Thermal sensitivity of cold climate lizards and the importance of distributional ranges. *Zoology*, 118(4), 281-290.
- Both, C., Bouwhuis, S., Lessells, C. M. y Visser, M. E. (2006). Climate change and population declines in a long-distance migratory bird. *Nature*, 441(7089), 81.
- Brook, B. W., Sodhi, N. S. y Bradshaw, C. J. (2008). Synergies among extinction drivers under global change. *Trends in ecology & evolution*, 23(8), 453-460.
- Buckland, S. T., Magurran, A. E., Green, R. E. y Fewster, R. M. (2005). Monitoring change in biodiversity through composite indices. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1454), 243-254.
- Calder, W. A. (1996). *Size, function, and life history*. Courier Corporation.
- Callaway, R. M., Brooker, R. W., Choler, P., Kikvidze, Z., Lortie, C. J., Michalet, R., Paolini, L., Pugnaire, F. I., Newingham, B., Aschehoug, E. T., Armas, C., Kikodze, D. y Cook, B. J. (2002) Positive interactions among alpine plants increase with stress. *Nature*, 417, 844-848.
- Carvajal-Cogollo, J. E., Bernal-González, V., Paternina-Hernández, A., Muñoz-Ávila, J. A., Urbina-Cardona, J. N. y Vargas-Salinas, F. (2019). Reglas de ensamblaje en anfibios y reptiles en bosque seco tropical de la región Caribe de Colombia: patrones y mecanismos. En: *Anfibios y reptiles en bosques secos del caribe colombiano*. UPTC - UniQuindio-Ecopetrol.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

- RESUMEN Chan, K. S., Mysterud, A., Øritsland, N. A., Severinsen, T. y Stenseth, N. C. (2005). Continuous and discrete extreme climatic events affecting the dynamics of a high-arctic reindeer population. *Oecologia*, 145(4), 556-563.
- PALABRAS CLAVE
- ABSTRACT Chen, I. C., Hill, J. K., Ohlemüller, R., Roy, D. B. y Thomas, C. D. (2011). Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science*, 333(6045), 1024-1026.
- KEY WORDS
- INTRODUCCIÓN Colwell, R. K., Brehm, G., Cardelús, C. L., Gilman, A. C. y Longino, J. T. (2008). Global Warming Elevational Range Shifts, and Lowland Biotic Attrition in the Wet Tropics. *Science*, 322,258-261.
- DESARROLLO
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES Daufresne, M., Lengfellner, K. y Sommer, U. (2009). Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(31), 12788-12793.
- AGRADECIMIENTOS
- REFERENCIAS Debruyne, R., Chu, G., King, C. E., Bos, K., Kuch, M., Schwarz, C., Szpak, P., Gröcke, D. R., Matheus, P., Zazula, G., Guthrie, D., Froese, D., Buigues, B., de Marliave, C., Flemming, C., Poinar, D., Fisher, D., Southon, J., Tikhonov, A. N., MacPhee, R. D. y Poinar, H. N. (2008). Out of America: ancient DNA evidence for a new world origin of late quaternary woolly mammoths. *Current Biology*, 18(17), 1320-1326.
- SOBRE LOS AUTORES
- ANEXOS Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Huey, R. B., Sheldon, K. S., Ghalambor, C. K., Haak, D. C. y Martin, P. R. (2008). Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(18), 6668-6672.
- Dirzo, R., Young, H. S., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, N. J. y Collen, B. (2014). Defaunation in the Anthropocene. *Science*, 345(6195), 401-406.
- Dunn, C. W., Giribet, G., Edgecombe, G. D. y Hejnol, A. (2014). Animal phylogeny and its evolutionary implications. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 45, 371-395.
- Fernández, M. H. y Peláez-Campomanes, P. (2005). Quantitative palaeoclimatic inference based on terrestrial mammal faunas. *Global Ecology and Biogeography*, 14(1), 39-56.
- Fiedler, W. (2003). Recent changes in migratory behaviour of birds: a compilation of field observations and ringing data. En *Avian migration* (pp. 21-38). Berlín, Heidelberg: Springer.
- Foden, W. B., Pacifici, M. y Hole, D. (2016). Setting the scene. En Foden, W. B. y Young, B. E. (Eds.) (2016). IUCN SSC Guidelines for Assessing Species' Vulnerability to Climate Change. Version 1.0. Occasional Paper of the IUCN Species Survival Commission No. 59. Cambridge, UK and Gland, Switzerland: IUCN Species Survival Commission.
- Forero-Medina, G., Joppa, L. y Pimm, S. L. (2011). Constraints to species' elevational range shifts as climate changes. *Conservation Biology*, 25(1), 163-171.
- Gao, X., Jin, C., Camargo, A. y Li, Y. (2015). Allocation trade-off under climate warming in experimental amphibian populations. *PeerJ*, 3, e1326.
- Gao, J., Barzel, B. y Barabási, A. L. (2016). Universal resilience patterns in complex networks. *Nature*, 530(7590), 307.
- Gardner, J. L., Peters, A., Kearney, M. R., Joseph, L. y Heinsohn, R. (2011). Declining body size: a third universal response to warming?. *Trends in ecology & evolution*, 26(6), 285-291.

- Garrett, K. A., Nita, M., De Wolf, E. D., Esker, P. D., Gómez-Montano, L. y Sparks, A. H. (2016). Plant pathogens as indicators of climate change. En *Climate Change* (pp. 325-338). Elsevier.
- Gingerich, P. D. (2006). Environment and evolution through the Paleocene-Eocene thermal maximum. *Trends in ecology & evolution*, 21(5), 246-253.
- Graham, C. H., Parra, J. L., Rahbek, C. y McGuire, J. A. (2009). Phylogenetic structure in tropical hummingbird communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(Supplement 2), 19673-19678.
- Green, D. M. (2017). Amphibian breeding phenology trends under climate change: Predicting the past to forecast the future. *Global change biology*, 23(2), 646-656.
- Hernández-Ordóñez, O., Santos, B., Pyron, A., Arroyo-Rodríguez, V., Urbina-Cardona, J. N., Parra, G. y Reynoso, V. (2019). Species sorting and mass effect along forest succession: evidence from taxonomic, functional, and phylogenetic diversity of amphibian communities. *Ecology and Evolution* en prensa.
- Hof, C., Araujo, M. B., Jetz, W. y Rahbek, C. (2011). Additive threats from pathogens, climate and land-use change for global amphibian diversity. *Nature*, 480(7378), 516.
- Hole, D. G., Young, K. R., Seimon, A., Wichtendahl, C. G., Hoffmann, D., Schutze Paez, K., Sanchez, S., Muchoney, D., Grau, H. R. y Ramírez, E. (2011). Adaptive management for biodiversity conservation under climate change -A tropical Andean perspective. En S. K. Herzog, R. Martínez, P. M. Jørgensen y H. Tiessen (Comps.), *Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes*. São José dos Campos y París: Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global y Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente.
- Hudson, L. N., Newbold, T., Contu, S., Hill, S. L., Lysenko, I., De Palma, A. y Booth, H. (2017). The database of the Predicts (Projecting responses of ecological diversity in changing terrestrial systems) project. *Ecology and Evolution*, 7(1), 145-188.
- Huey, R. B., Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Vitt, L. J., Hertz, P. E., Álvarez Pérez, H. J. y Garland Jr, T. (2009). Why tropical forest lizards are vulnerable to climate warming. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1664), 1939-1948.
- Humphries, M. M. (2009). Mammal ecology as an indicator of climate change. In *Climate Change* (pp. 197-214).
- Jezkova, T. y Wiens, J. J. (2016). Rates of change in climatic niches in plant and animal populations are much slower than projected climate change. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1843), 20162104.
- Kessler, M., Kluge, J., Hemp, A. y Ohlemüller, R. (2011). A global comparative analysis of elevational species richness patterns of ferns. *Global Ecology and Biogeography*, 20(6), 868-880.
- Körner, C. (2007). The use of 'altitude' in ecological research. *Trends in ecology & evolution*, 22(11), 569-574.
- Kosydar, A. J., Conquest, L. L. y Tewksbury, J. J. (2014). Can life histories predict the effects of habitat fragmentation? A meta-analysis with terrestrial mammals. *Appl. Ecol. Environ. Res*, 12, 505-521.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

- RESUMEN Laurance, W. F., Oliveira, A. A., Laurance, S. G., Condit, R., Dick, C. W., Andrade, A., Nascimento, H. E. M., Lovejoy, T. E. y Ribeiro, J. E. (2005). Altered tree communities in undisturbed Amazonian forests: A consequence of global change? *Biotropica: The Journal of Biology and Conservation*, 37(2), 160-162.
- PALABRAS CLAVE
- ABSTRACT Legendre, S., Montuire, S., Maridet, O. y Escarguel, G. (2005). Rodents and climate: a new model for estimating past temperatures. *Earth and Planetary Science Letters*, 235(1-2), 408-420.
- KEY WORDS
- INTRODUCCIÓN
- DESARROLLO Liu, J., Dietz, T., Carpenter, S. R., Alberti, M., Folke, C., Moran, E., Pell, A. N., Deadman, P., Kratz, T., Lubchenco, J., Ostrom, E., Ouyang, Z., Provencher, W., Redman, C. L., Schneider, S. H. y Taylor, W. W. (2007). Complexity of coupled human and natural systems. *Science*, 317(5844), 1513-1516.
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- AGRADECIMIENTOS Loyola, R. D., Nabout, J. C., Trindade Filho, J., Lemes, P., Cardona, J. N. U., Dobrovolski, R., Sagnori, M.D. y Diniz Filho, J. A. F. (2012). Climate change might drive species into reserves: a case study of the American bullfrog in the Atlantic Forest Biodiversity Hotspot. *Alytes*, 29(1),61-74.
- REFERENCIAS
- SOBRE LOS AUTORES MacDonal, G. M., Bennett, K. D., Jackson, S. T., Parducci, L., Smith, F. A., Smol, J. P. y Willis, K. J. (2008). Impacts of climate change on species, populations and communities: palaeobiogeographical insights and frontiers. *Progress in Physical Geography*, 32(2), 139-172.
- ANEXOS
- Martínez-Meyer, E., Townsend Peterson, A. y Hargrove, W. W. (2004), Ecological niches as stable distributional constraints on mammal species, with implications for Pleistocene extinctions and climate change projections for biodiversity. *Global Ecology and Biogeography*, 13, 305-314.
- Memmott, J., Craze, P. G., Waser, N. M. y Price, M. V. (2007). Global warming and the disruption of plant–pollinator interactions. *Ecology letters*, 10(8), 710-717.
- Morecroft, M. D. y Keith, S. A. (2009). Plant ecology as an indicator of climate and global change. En *Climate Change* (pp. 297-305).
- Moritz, C., Patton, J. L., Conroy, C. J., Parra, J. L., White, G. C. y Beissinger, S. R. (2008). Impact of a century of climate change on small-mammal communities in Yosemite National Park, USA. *Science*, 322(5899), 261-264.
- Myneni, R. B., Keeling, C. D., Tucker, C. J., Asrar, G. y Nemani, R. R. (1997). Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981-1991. *Nature*, 386,698-701.
- Navas, C. A., (1997). Thermal Andes: Extremes at high elevations in the physiological ecology of frogs. *Journal of thermal*, 22(6), 467-477.
- Navas, C. A., Gomes, F. R. y Carvalho, J. E. (2008). Thermal relationships and exercise physiology in anuran amphibians : Integration and evolutionary implications. *Comparative biochemistry and physiology*, Part A 151, 151, 344-362.
- Nori, J., Urbina-Cardona, J. N., Loyola, R. D., Lescano, J. N. y Leynaud, G. C. (2011). Climate change and American bullfrog invasion: what could we expect in South America? *PloS one*, 6(10), e25718.
- Pacifici, M., Foden, W. B., Visconti, P., Watson, J. E., Butchart, S. H., Kovacs, K. M., Scheffers, B. R., Hole, D. G., Martin, T. G., Akcakaya, H. R., Corlett, R. T., Huntley, B., Bickford, D., Carr, J. A., Hoffmann, A. A., Midgley, G. F., Pearce-Kelly, P., Pearson, R.

- G., Williams, S. E., Willis, S. G., Young, B. y Rondinini, C. (2015). Assessing species vulnerability to climate change. *Nature Climate Change*, 5, 215-225.
- Parmesan, C. y Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421, 37-42.
- Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual review of ecology, evolution and systematics*, 37, 637-69.
- Pecl, G. T., Araujo, M. B., Bell, J. D., Blanchard, J., Bonebrake, T. C., Chen, I. C., Clark, T. D., Colwell, R. K., Danielsen, F., Evengard, B., Falconi, L., Ferrier, A., Frusher, A., García, R. A., Griffiths, R. A., Hobday, A. J., Janion-Scheepers, C., Jarzyna, M. A., Jennings, S., Lenoir, J., Linnetved, H. I., Martin, V. Y., McCormack, P. C., McDonald, J., Mitchell, N. J., Mustonen, T., Pandolfi, J. M., Pettorelli, N., Popova, E., Robinson, S. A., Scheffers, B. R., Shaw, J. D., Sorte, C. J. B., Strugnell, J. M., Sunday, J. M., Tuanmu, M. N., Vergés, A., Villanueva, C., Wernberg, T., Wapstra, E. y Williams S. E. (2017). Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science*, 355, eaai9214.
- Pfeifer, M. (2014). BIOFRAG – a new database for analyzing BIOdiversity responses to forest FRAGmentation. *Ecology and Evolution*, 4(9), 1524–1537.
- Pfeifer, M., Lefebvre, V., Peres, C. A., Banks-Leite, C., Wearn, O. R., Marsh, C. J., Butchart, S. H. M., Arroyo-Rodríguez, V., Barlow, J., Cerezo, A., Cisneros, L., D’Cruze, N., Faria, D., Hadley, A., Harris, S. M., Klingbeil, B. T., Kormann, U., Lens, L., Medina-Rangel, G. F., Morante-Filho, J. C., Olivier, P., Peters, S. L., Pidgeon, A., Ribeiro, D. B., Scherber, C., Schneider-Maunoury, L., Struebig, M., Urbina-Cardona, N., Watling, J. I., Willig, M. R., Wood, E. M. y Ewers R. M. (2017). Creation of forest edges has a global impact on forest vertebrates. *Nature*, 551(7679), 187.
- Phillips, O. L., Lewis, S. L., Baker, T. R., Chao, K. J. y Higuchi, N. (2008). The changing Amazon forest. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*.
- Pounds, J. y M. Crump. (1994). Amphibian declines and climatic disturbance: the case of the golden toad and the harlequin frog. *Conservation Biology*, 8, 72-85.
- Pounds, A. J., Fogden, M. P. L. y Cambell, J. H. (1999). Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature*, 398, 611-615.
- Pounds, J. A., Fogden, M. P. L. y Masters, K. L. (2005). Responses of natural communities to climate change in a highland tropical forest. En Lovejoy, T. E. y L. Hanna. (Eds.). *Climate Change and Biodiversity*. Yale Univ. Press, New Haven, U.S.A. 70-74.
- Purvis, A., Gittleman, J. L., Cowlshaw, G. y Mace, G. M. (2000). Predicting extinction risk in declining species. *Proceedings of the royal society of London. Series B: Biological Sciences*, 267(1456), 1947-1952,
- Rahbek, C. (2005). The role of spatial scale and the perception of large-scale species-richness patterns. *Ecology letters*, 8(2), 224-239.
- Reading, C. J. (2007). Linking global warming to amphibian declines through its effects on female body condition and survivorship. *Oecologia*, 151(1), 125-131.
- Richardson, W. J. (1978) Timing and amount of bird migration in relation to weather: a review. *Oikos*, 30, 303-310.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

- RESUMEN Rodríguez-Trelles, F. y Rodríguez, M. A. (1998). Rapid micro-evolution and loss of chromosomal diversity in *Drosophila* in response to climate warming. *Evolutionary Ecology*, 12(7), 829-838.
- PALABRAS CLAVE
- ABSTRACT Rosenzweig, C., Casassa, G., Karoly, D. J., Imeson, A., Liu, C., Menzel, A., Rawlins, S., Root, T. L., Seguin, B. y Tryjanowski, P. (2007). Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. En Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., van der Linden, P.J., Hanson, C.E. (Eds.), *Climate Change. (2007). Impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. *Cambridge UP, Cambridge, UK*, 79-131.
- KEY WORDS
- INTRODUCCIÓN
- DESARROLLO
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- AGRADECIMIENTOS
- REFERENCIAS
- SOBRE LOS AUTORES
- ANEXOS
- Ruiz-Aravena, M., González-Méndez, A., Estay, S. A., Gaitán-Espitia, J. D., Barria-Oyarzo, I., Bartheld, J. L. y Bacigalupe, L. D. (2014). Impact of global warming at the range margins: phenotypic plasticity and behavioral thermoregulation will buffer an endemic amphibian. *Ecology and Evolution* doi: 10.1002/ece3.1315
- Shapiro, B., Drummond, A. J., Rambaut, A., Wilson, M. C., Matheus, P. E., Sher, A. V., Pybus, O.G., Thomas, M., Gilbert, P., Barnes, I., Binladen, J., Willerslev, E., Hansen, A. J., Baryshnikov, G.F., Burns, J.A., Davydov, S., Driver, J. C., Froese, D. G., Harington, C. H., Keddie, G., Kosintsev, P., Kunz, M. L., Martin, L. D., Stephenson, R. O., Storer, J., Tedford, R., Zimov, S. y Cooper, A. (2004). Rise and fall of the Beringian steppe bison. *Science*, 306(5701), 1561-1565.
- Sekercioglu, C. H., Schneider, S. H., Fay, J. P. y Loarie, S. R. (2008). Climate change, elevational range shifts, and bird extinctions. *Conservation biology*, 22(1), 140-150.
- Sekercioglu, C. H., Primack, R. B., y Wormworth, J. (2012). The effects of climate change on tropical birds. *Biological Conservation*, 148(1), 1-18.
- Seimon, T. A., Seimon, A., Daszak, P., Halloy, S. R. P., Schloegel, L. M., Aguilar, C. A., Sowell, P., Hyatt, A. D., Konecky, B. y Simmons, J.E. (2007). Upward range extension of Andean anurans and chytridiomycosis to extreme elevations in response to tropical deglaciation. *Global Change Biology*, 13, 288-299.
- Sinervo, B., Mendez-De la Cruz, F., Miles, D. B., Heulin, B., Bastiaans, E., Villagrán-Santa Cruz, M., Lara-Resendiz, R., Martínez-Méndez, N., Calderón-Espinosa, M. L., Meza-Lázaro, R. N., Gadsden, H., Ávila, L. J., Morando, M., De La Riva, I. J., Victoriano, P., Duarte-Rocha, C. F., Ibargüengoytía, N., Aguilar Puntriano, C., Massot, M., Lepetz, V., Oksanen, T. A., Chapple, D. G., Bauer, A. M., Branch, W. R., Clobert, J. y Sites, J. W. Jr. (2010). Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches. *Science*, 328(5980), 894-899.
- Soberón, J. y Peterson, A. T. (2011). Ecological niche shifts and environmental space anisotropy: a cautionary note. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82, 1348-1355.
- Suazo-Ortuño, I., Urbina-Cardona, J. N., Lara-Urbe, N., Marroquín-Páramo, J., Soto-Sandoval, Y., Rangel-Orozco, López-Toledo, L., Benítez-Malvido, J. y Alvarado-Díaz, J. (2018). Impact of a hurricane on the herpetofaunal assemblages of a successional chronosequence in a tropical dry forest. *Biotropica*. <https://doi.org/10.1111/btp.12544>
- Sundqvist, M. K., Sanders, N. J. y Wardle, D. A. (2013). Community and ecosystem responses to elevational gradients: processes, mechanisms, and insights for global change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 44, 261-280.

- Travis, J. M. J. (2003). Climate change and habitat destruction: a deadly anthropogenic cocktail. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 270(1514), 467-473.
- Tuff, K. T., Tuff, T. y Davies, K. F. (2016). A framework for integrating thermal biology into fragmentation research. *Ecology letters*, 19(4), 361-374.
- Urbina-Cardona, J. N. (2011). Gradientes andinos en la diversidad y patrones de endemismo en anfibios y reptiles de Colombia: Posibles respuestas al cambio climático. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas-Universidad Militar Nueva Granada*, 7(1),74-91.
- Van Dam, J. A., Aziz, H. A., Sierra, M. Á. Á., Hilgen, F. J., van den Hoek Ostende, L. W., Lourens, L. J., Mein, P., van der Meulen, A. J. y Pelaez-Campomanes, P. (2006). Long-period astronomical forcing of mammal turnover. *Nature*, 443(7112), 687.
- Visser, M. E., Noordwijk, A. V., Tinbergen, J. M. y Lessells, C. M. (1998). Warmer springs lead to mistimed reproduction in great tits (*Parus major*). *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 265(1408), 1867-1870.
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J. y Melillo, J. M. (1997). Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 277(5325), 494-499.
- Vitt, L. y Caldwell, J. (2013). *Herpetology. An introductory biology of amphibians and reptiles*. 3ra Edición. Academic Press is an imprint of Elsevier. 698p.
- von Humboldt, A. (1849) *Aspects of Nature in Different Lands and Different Climates, with Scientific Elucidations*. Traductor Sabine, M. Longman, Brown, Green and Longman, London.
- Walther, G-R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J. C., Fromentin, J-M., Hoegh-Guldberg, O. y Bairlein, F. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416, 389-395.
- Watling, J. I. y Braga, L. (2015). Desiccation resistance explains amphibian distributions in a fragmented tropical forest landscape. *Landscape ecology*, 30(8), 1449-1459.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

## SOBRE LOS AUTORES

### María Cecilia Londoño

Investigadora del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

<http://orcid.org/0000-0002-2317-5503>

### Liliana Patricia Saboyá

Estudiante del Doctorado en Estudios Ambientales y Rurales de la Facultad de Estudios Ambientales y Rurales de la Pontificia Universidad Javeriana.

<https://orcid.org/0000-0002-0499-6664>

RESUMEN **Nicolás Urbina-Cardona**

PALABRAS CLAVE Profesor investigador del Departamento de Ecología y Territorio de la Facultad de Estudios Ambientales y Rurales de la Pontificia Universidad Javeriana.  
ABSTRACT <https://orcid.org/0000-0002-4174-8467>  
KEY WORDS

INTRODUCCIÓN Citación sugerida

DESARROLLO Londoño, M. C., Saboyá L. P. y Urbina-Cardona, N. (2019). Conocimiento científico de los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad continental: productividad de las instituciones colombianas y propuesta para un análisis integral. *Biodiversidad en la Práctica*, 4(1), 86-110.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

## ANEXOS

**Anexo 1.** Cantidad de publicaciones por temas encontrados sobre biodiversidad y cambio climático en ambientes dulceacuícolas, marinos y costeros, buscados en Web of Science y año de publicación, para Colombia y el mundo.

**Anexo 2.** Producción de publicaciones sobre biodiversidad y cambio climático por país.

**Anexo 3.** Autores por número de publicaciones sobre biodiversidad y cambio climático en Colombia.

# Biodiversidad EN LA PRÁCTICA

Documentos de trabajo del Instituto Humboldt



## EDICIÓN CAMBIO CLIMÁTICO

VOLUMEN 4 - NÚMERO 1 - 2019 - PP. 111-140  
Recibido: 21 de diciembre de 2018 -  
Aprobado: 13 de marzo de 2019.

Melissa Abud Hoyos  
WWF Colombia  
[mabud@wwf.org.co](mailto:mabud@wwf.org.co)

Luis Germán Naranjo  
WWF Colombia  
[lgnaranjo@wwf.org.co](mailto:lgnaranjo@wwf.org.co)

Jairo Guerrero  
WWF Colombia  
[jaguerrero@wwf.org.co](mailto:jaguerrero@wwf.org.co)

Oscar Guevara  
WWF Colombia  
[oiguevara@wwf.org.co](mailto:oiguevara@wwf.org.co)

César Freddy Suárez  
WWF Colombia  
[cfsuarez@wwf.org.co](mailto:cfsuarez@wwf.org.co)

Johanna Prüssmann  
WWF Colombia  
[jprussmann@wwf.org.co](mailto:jprussmann@wwf.org.co)



METODOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS

---

## Conservación de la biodiversidad en un contexto de clima cambiante: experiencias de WWF Colombia en los últimos diez años

Biodiversity conservation in a changing climate: ten years of experiences from WWF Colombia

### RESUMEN

Durante la última década se ha incrementado la producción de información climática para la toma de decisiones en conservación y manejo de la biodiversidad, tanto en Colombia como en países vecinos. Buscando promover la adaptación y aumentar la resiliencia de paisajes estratégicos frente al clima y sus cambios, WWF y sus socios han sido parte de este progreso. En este trabajo, presentamos siete experiencias ilustrativas de estos avances, con el objetivo de dar a conocer los métodos y resultados más relevantes, demostrar el carácter de las alianzas interinstitucionales, las lecciones aprendidas y evidenciar las barreras halladas en la realización de distintos tipos de análisis, tales como la estimación del cambio futuro en temperatura y precipitación, el uso de herramientas para la modelación hidrológica, la aplicación de

RESUMEN	ejercicios de planeación sistemática de la conservación, la estimación del cambio en la clasificación climática de ecosistemas estratégicos con el uso de las Zonas de Vida de Holdridge o Caldas Lang y la creación de análisis basados en la percepción e información científica como ARCA y CAMPA, entre otros.
PALABRAS CLAVE	
ABSTRACT	
KEY WORDS	Palabras clave: Adaptación al cambio climático. Distribución potencial. Modelación hidrológica. Ordenamiento territorial. Paisajes. Transformación ecológica.
INTRODUCCIÓN	

MARCO CONCEPTUAL

## ABSTRACT

MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

During the last decade, the production of climate information for decision making in conservation and biodiversity management, both in Colombia and in neighboring countries, has greatly increased. Seeking to promote adaptation and increase the resilience of strategic landscapes in the face of a changing climate, WWF and its partners have taken part of this development. In this work, we present seven illustrative experiences of such advances, to share the most relevant methods and results, evidencing the nature of inter-institutional alliances, lessons learned and barriers found in the implementation of different types of analysis, like the estimation of future change in temperature and precipitation, use of tools for hydrological modeling, application of systematic conservation planning exercises, estimation of changes in climate classification of strategic ecosystems using the Holdridge or Caldas Lang life zones, and creation of analyses based on perception and scientific information, such as ARCA and CAMPA, among others.

**Key words:** Climate change adaptation. Ecological transformation. Hydrological modeling. Landscapes. Potential distribution. Territorial planning.

## INTRODUCCIÓN

El comienzo del siglo XXI determinó cambios importantes en la percepción colectiva de muchos fenómenos y en la forma como la sociedad se aproxima a la identificación y a la solución de problemas complejos. El acceso masivo a la información, la velocidad creciente de las comunicaciones y el reconocimiento de haber ingresado a una nueva época geológica, son factores contundentes que obligan a replantear muchos procesos.

De estos tres, el último es sin duda el más significativo, dado que implica la concreción de procesos acumulativos no lineales de cambio ambiental que, si bien habían sido señalados desde mucho antes, apenas con la evaluación de ecosistemas del milenio (2005) se hicieron evidentes para un amplio público, demandando acciones contundentes e incluso cambios de paradigmas.

El desarrollo de medidas de adaptación al cambio y la variabilidad climática es un ejemplo de esta situación. Asegurar el futuro del patrimonio de biodiversidad y el

bienestar de la sociedad plantea múltiples retos, especialmente en un país megadiverso como Colombia. La complejidad de sus comunidades bióticas, la variedad de sistemas socioeconómicos y la respuesta diferencial a la variación climática de cada región debida a la heterogeneidad espacial (Naranjo y Suárez, 2010), implican un panorama permanente de manejo adaptativo.

A pesar de la naturaleza dinámica de los sistemas ecológicos, los programas y proyectos de conservación de la biodiversidad han partido de la consideración de marcos conceptuales relativamente rígidos, entre cuyos supuestos se encuentran la consideración de las variables climáticas propias de las regiones consideradas como factores determinantes de la presencia o ausencia de objetos de conservación específicos. Sin embargo, la admisión de escenarios de cambio global obliga a considerar, como mínimo, la probabilidad de cambios en la distribución de especies y la expansión o contracción de ecosistemas naturales. La migración altitudinal de comunidades de plantas en respuesta al incremento de la temperatura media del aire puede conducir al cambio en la distribución de muchas otras especies que tienen un estrecho rango en gradientes de elevación (Epstein *et al.*, 1998; Relman *et al.*, 2008).

De igual manera, la consideración de objetos de bienestar humano como parte de programas y proyectos de conservación de la biodiversidad demanda una visión dinámica de los determinantes ambientales del territorio a medida que la frecuencia, intensidad y alcance de las sequías e inundaciones incrementa o se hace más errática, pues la vulnerabilidad futura de los sistemas socioeconómicos en gran medida estará determinada por la disponibilidad de la base de recursos. Lo anterior hace necesarias las evaluaciones regionales y locales de la relación entre los servicios ecosistémicos y las variables climáticas que se relacionan con ellos (Naranjo y Suárez, 2010).

Estas consideraciones han sido elementos importantes en los métodos de planeación de acciones de conservación de WWF en Colombia desde hace más de una década. Dado que el clima es un factor detonante de procesos de transformación, consideramos urgente avanzar en la comprensión de los factores condicionantes de la vulnerabilidad y la resiliencia climática de la biodiversidad. En este documento, presentamos una revisión de algunos de los procesos más sobresalientes de este enfoque institucional, con el objeto de compartir las lecciones aprendidas y evidenciar las barreras halladas en el proceso de integrar los análisis climáticos a los procesos de conservación de la biodiversidad.

## MARCO CONCEPTUAL

No existe una solución simple para abordar los riesgos y oportunidades que enfrenta la conservación de la biodiversidad en un contexto climático rápidamente cambiante (Guevara *et al.*, 2014). Potenciar el rol de distintos tipos de ecosistemas como sumideros de carbono, mantener coberturas naturales para evitar y/o reducir las emisiones gases efecto invernadero, o reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia de

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN	los sistemas naturales y humanos ante los efectos reales o esperados de un cambio climático (adaptación), son todos problemas complejos, reforzados por el rol único que desempeña la biodiversidad en el mantenimiento de la resiliencia.
PALABRAS CLAVE	
ABSTRACT	
KEY WORDS	Reconociendo esta complejidad, WWF ha ido ajustando las bases de sus conceptos y métodos de planeación de acciones de conservación desde hace más de una década.
INTRODUCCIÓN	Dado que el clima es un factor detonante de procesos de transformación y que aun cuando en el corto plazo se manifiesta principalmente a través de fenómenos hidrometeorológicos extremos, a mediano y a largo plazo implica múltiples y complejas modificaciones de las condiciones biofísicas y procesos ecológicos (Kerkhoff <i>et al.</i> , 2018), es importante avanzar en la comprensión de los factores condicionantes de la vulnerabilidad climática de la biodiversidad, lo mismo que de aquellos que determinan su resiliencia climática. A partir de este enfoque, en el proceso de identificar y seleccionar objetivos de conservación de la biodiversidad es conveniente maximizar los co-beneficios de la mitigación y la adaptación climática para abordar, de forma integral y sostenible, las contribuciones de la biodiversidad al bienestar humano, principalmente desde el punto de vista de los servicios ecosistémicos.
MARCO CONCEPTUAL	
MÉTODOS	
RESULTADOS	
DISCUSIÓN	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
AGRADECIMIENTOS	
REFERENCIAS	Una de las herramientas más importantes para lograr este nivel de desarrollo de los análisis climáticos, de riesgo y de capacidad de adaptación son los sistemas de información geográfica (SIG). Estos permiten la representación y/o el procesamiento de una amplia gama de datos y tipos de información, a la vez que facilitan su espacialización para la toma de decisiones y el ordenamiento ambiental del territorio. Algunos métodos, plataformas y software se enfocan a servicios ecosistémicos como la regulación y el aprovisionamiento de agua (Gómez-Baggethun y de Groot, 2007), a partir de diferentes modelos utilizados para distintos requerimientos, escalas y regiones como el modelo hidrológico Fiesta/Waterworld (Mulligan y Burke, 2005; Mulligan, 2012). Este último se calibra a partir de información climática de variables como precipitación y temperatura mensual y de coberturas de la tierra categorizadas en suelo descubierto, vegetación herbácea y bosque.
SOBRE LOS AUTORES	
ANEXOS	

Un software frecuentemente utilizado para estimar la distribución actual y futura de especies es MAXENT (Phillips *et al.*, 2017). Utiliza información climática de línea base y escenarios proyectados de cambio climático y ha evolucionado rápidamente gracias a los ajustes sugeridos por expertos y la identificación de variables asociadas a la ecología de las especies. También existen herramientas que permiten el registro de información casi en tiempo real, facilitando la identificación de impactos como los incendios con el uso de imágenes satelitales, como es el caso de la información suministrada por la NASA (MODIS Collection 6 NRT Hotspot / Active Fire Detections MCD14DL <https://earthdata.nasa.gov/firms>).

Estas herramientas han sido parte de los análisis climáticos realizados para promover los procesos de conservación, a través de la provisión de información necesaria para

la planificación del territorio, incorporada en muchos casos a diferentes instrumentos tales como los Planes de Ordenamiento Territorial y los Planes de Ordenamiento (POT) y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA), entre otros.

## MÉTODOS Y RESULTADOS

### Selección de las experiencias

La experiencia de WWF en Colombia en la integración del cambio climático dentro del portafolio de proyectos de conservación es una historia que tiene más de una década de implementación de iniciativas que, en perspectiva, son casos de estudio que ilustran diferentes ciclos de aprendizaje. Para socializar los ejemplos más útiles se seleccionaron siete experiencias de un total de 16 análisis (Figura 1, Anexo 1). A lo largo de este documento, las experiencias se presentan según su objeto de estudio y escala lo cual las hace particulares.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

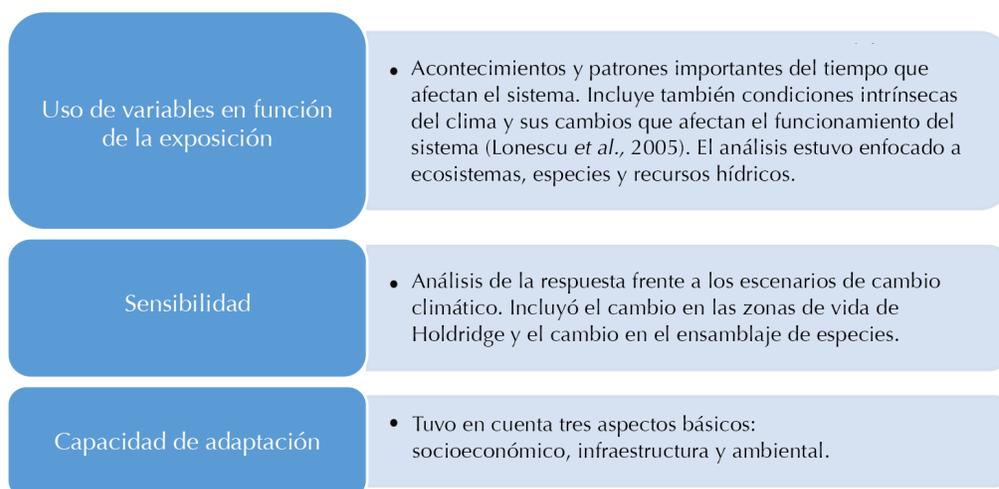


**Figura 1.** Ubicación geográfica de las experiencias seleccionadas como casos de estudio. Fuente: Elaboración propia.

RESUMEN	<b>Experiencia 1 enfocada en un hot spot ecoregional. “Cambio climático en un paisaje vivo: vulnerabilidad y adaptación en la Cordillera Real Oriental (CRO)”</b>
PALABRAS CLAVE	
ABSTRACT	
KEY WORDS	
INTRODUCCIÓN	
MARCO CONCEPTUAL	
MÉTODOS	
RESULTADOS	
DISCUSIÓN	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
AGRADECIMIENTOS	
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	
ANEXOS	

El análisis fue realizado en el contexto de un proyecto trinacional financiado por la Unión Europea entre 2007 y 2009. Con el fin de reducir las amenazas a la conservación en la ecorregión más biodiversa de los Andes del Norte, la Fundación Natura de Ecuador, WWF Perú y WWF Colombia aunaron esfuerzos para generar una evaluación de la vulnerabilidad de los sistemas ecológicos y sociales al cambio climático. El área de estudio se extiende desde la vertiente oriental del Macizo Colombiano hasta el Abra de Porculla en el Perú, esta región ocupa un área de 109.400 km<sup>2</sup> y comprende las montañas de las vertientes amazónicas. La CRO, abarca siete grandes cuencas, Caquetá, Putumayo, Napo, Pastaza, Santiago, Zamora/Cenepa y Marañón (Naranjo, 2010).

Este análisis fue el primero en WWF en incluir el componente de cambio climático como una amenaza y el cálculo de múltiples indicadores, algunos de ellos climáticos, para estimar componentes de riesgo y capacidad de adaptación. Los estudios técnicos, los cálculos y los lineamientos generados se centraron en dos componentes principales, el hidrológico y el de biodiversidad (Figura 2). Es importante resaltar que durante este proceso se generaron por primera vez modelaciones potenciales de distribución de aves, mamíferos y plantas para la toma de decisiones frente al cambio climático en el paisaje seleccionado.



**Figura 2.** Principales componentes del análisis para la estimación de la vulnerabilidad y capacidad de adaptación en la Cordillera Real Oriental. Elaboración propia.

Por ser un tema nuevo para las instituciones participantes, los análisis climáticos constituyeron un gran reto que posteriormente daría paso a la toma de decisiones locales y regionales en la CRO y sentaría un precedente para futuros análisis para enfrentar los desafíos de un clima cambiante.

## Experiencia 2 enfocada en áreas protegidas marino-costeras. “Estrategias de adaptación en los sitios naturales más excepcionales del planeta”

En el año 2011 y con financiamiento de la Unión Europea, inició la implementación de uno de los primeros proyectos que, en el mundo, abordó la agenda de adaptación climática en áreas protegidas marinas y costeras. Contó con la participación de tres países (Colombia, Filipinas y Madagascar) y la coordinación de la oficina de WWF Internacional. En Colombia, fueron socios de implementación del proyecto Parques Nacionales Naturales de Colombia, Corponariño y WWF, en un área geográfica que incluyó los ecosistemas de manglar de la zona costera del departamento de Nariño y los Parques Nacionales Gorgona y Sanquianga.

Esta iniciativa abordó múltiples retos y los resultados obtenidos representan, al día de hoy, importantes avances en el fortalecimiento de la planeación y el manejo efectivo de sistemas de áreas protegidas con la consideración del cambio climático como un determinante fundamental. Dentro de ellos se encuentran:

1. Ampliar la forma como se incorpora el clima dentro de los modelos de planeación del manejo. En este proyecto se desarrollaron y probaron opciones asociados al cambio climático, la variabilidad climática y eventos hidrometeorológicos y oceanográficos extremos, para en conjunto, tener una perspectiva ampliada de las múltiples formas como un clima cambiante puede detonar fenómenos físicos que potencialmente pueden afectar los objetos de conservación y el manejo de las áreas protegidas.
2. Se establecieron métodos uniformes para evaluar y seleccionar las presiones, amenazas y riesgos tanto climáticos como no climáticos, de manera tal que existe un marco de referencia común, transversal, para todo el proceso de formulación del plan de manejo del área protegida. De esta manera, se optimiza la transversalización del cambio climático dentro del ciclo de planeación del manejo de las áreas (Figura 3).
3. Se formularon portafolios de adaptación climática para cada uno de los sitios de implementación (PNN Gorgona, PNN Sanquianga, Manglares de Nariño) que hacen parte integral de las acciones de manejo de las áreas protegidas.

Este proyecto permitió crear un marco de referencia que, en conjunto, integró las múltiples posibilidades que ofrece el proceso de planeación del manejo de las áreas protegidas

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN  
PALABRAS CLAVE  
ABSTRACT  
KEY WORDS  
INTRODUCCIÓN  
MARCO CONCEPTUAL  
MÉTODOS  
RESULTADOS  
DISCUSIÓN  
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES  
AGRADECIMIENTOS  
REFERENCIAS  
SOBRE LOS AUTORES  
ANEXOS

para integrar la adaptación climática incluyendo la “Metodología para la Planificación de la Adaptación Climática en Áreas Marinas y Costeras Protegidas” (CAMPA). De esta forma, y en adelante, se consolidó una aproximación metodológica, en la que se busca un fortalecimiento a partir de una integración efectiva del cambio climático en la totalidad del ciclo de planeación del manejo, y por defecto, en el análisis de la efectividad del mismo.

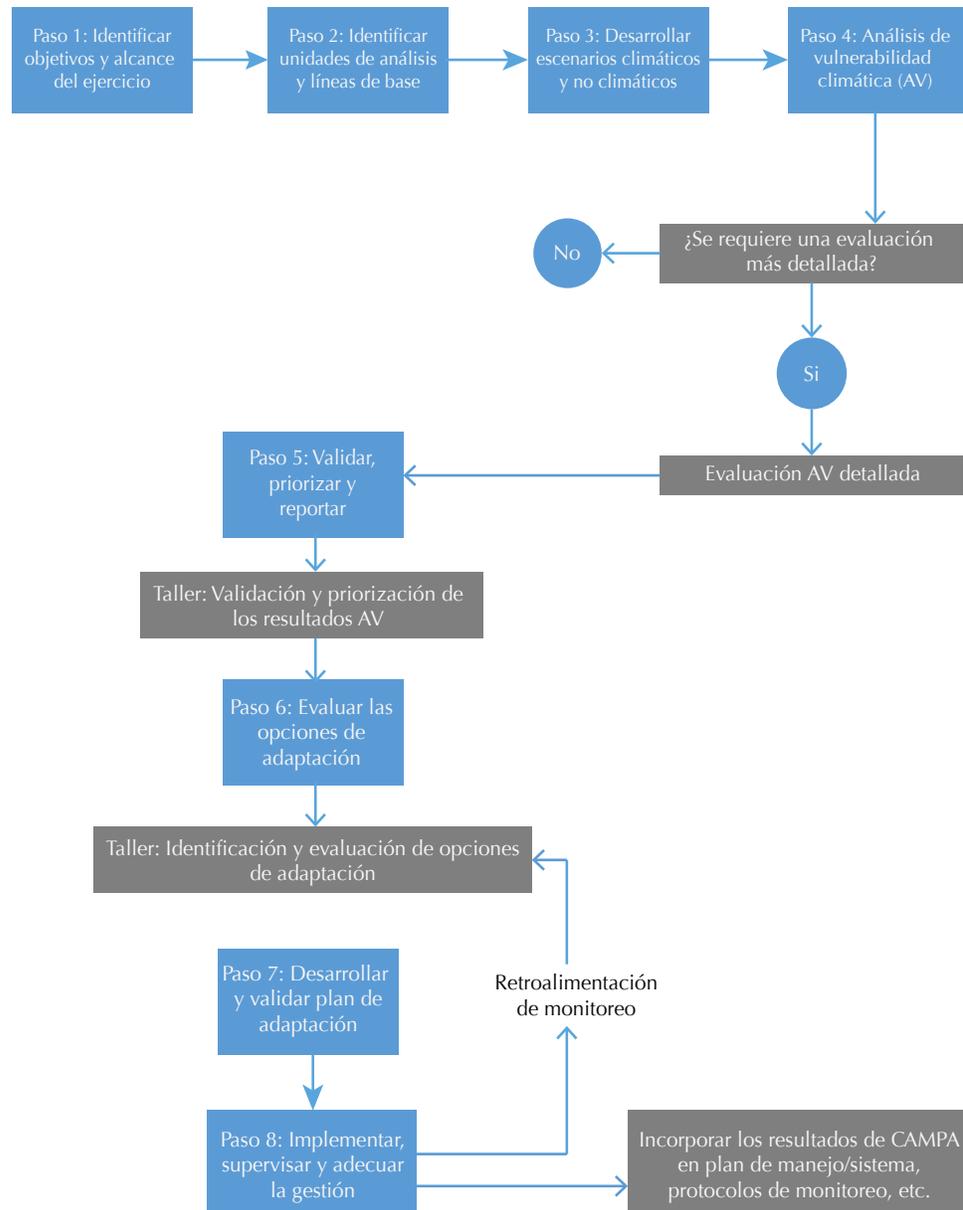
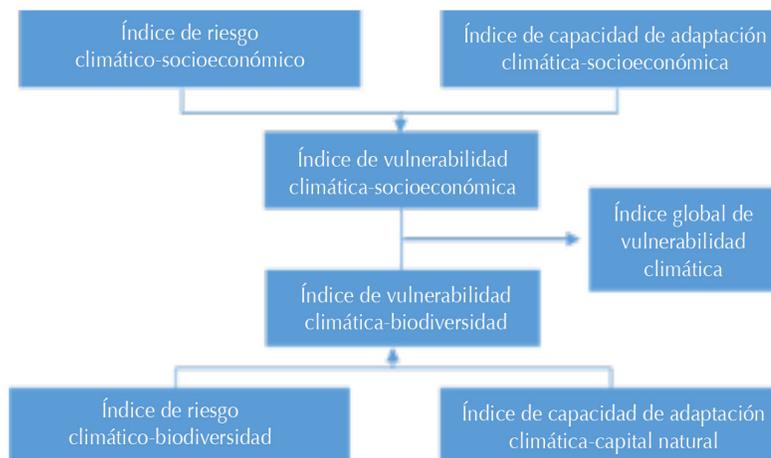


Figura 3. Pasos y componentes generales de la metodología CAMPA (Belokurov et al., 2015).

### Experiencia 3 enfocada en un departamento y su adaptación. “Plan Territorial de Adaptación Climática del Departamento de Nariño” (PTAC)

El Plan fue desarrollado por WWF Colombia y Corponariño, y financiado con fondos de Corponariño, WWF Reino Unido y Colombia, y el cofinanciamiento de la Unión Europea. Este proceso se caracterizó por numerosos aspectos positivos: Fue una iniciativa voluntaria de la Corporación, cuando no existía reglamentación del estado colombiano que lo exigiera, lo cual permitió empezar a promover la adaptación en el Departamento antes que en otros territorios. Este Plan fue uno de los primeros en el País, lo cual ha generado interés por parte de profesionales e instituciones que han querido tenerlo como base para otros ejercicios.

Para el desarrollo de sus análisis técnicos, se generaron modelaciones que habían sido poco utilizadas para este tipo de instrumentos en el país, como fue el caso de las modelaciones enfocadas en evidenciar los posibles cambios futuros ocasionados por el cambio climático en la biodiversidad y el recurso hídrico para la toma de decisiones de adaptación (Figura 4). Incluyó la creación y el desarrollo de un juicioso análisis de percepción con los actores locales y comunidades de las diferentes subregiones del Departamento, denominado ARCA (Análisis Rápido de Riesgos Climáticos y Capacidad de Adaptación) (Figura 5). Este análisis de percepción continúa evolucionando y ha sido utilizado en otros procesos promovidos por WWF y sus socios. Los resultados del conocimiento local sirvieron para complementar, validar y precisar los análisis técnicos. El ejercicio también permitió que los habitantes y tomadores de decisión del territorio propusieran sus propias soluciones bajo la orientación de un equipo técnico, lo cual hizo acertado y legítimo al proceso.



**Figura 4.** Componentes principales y sistema de índices de los estudios técnicos del PTAC. Elaboración propia.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

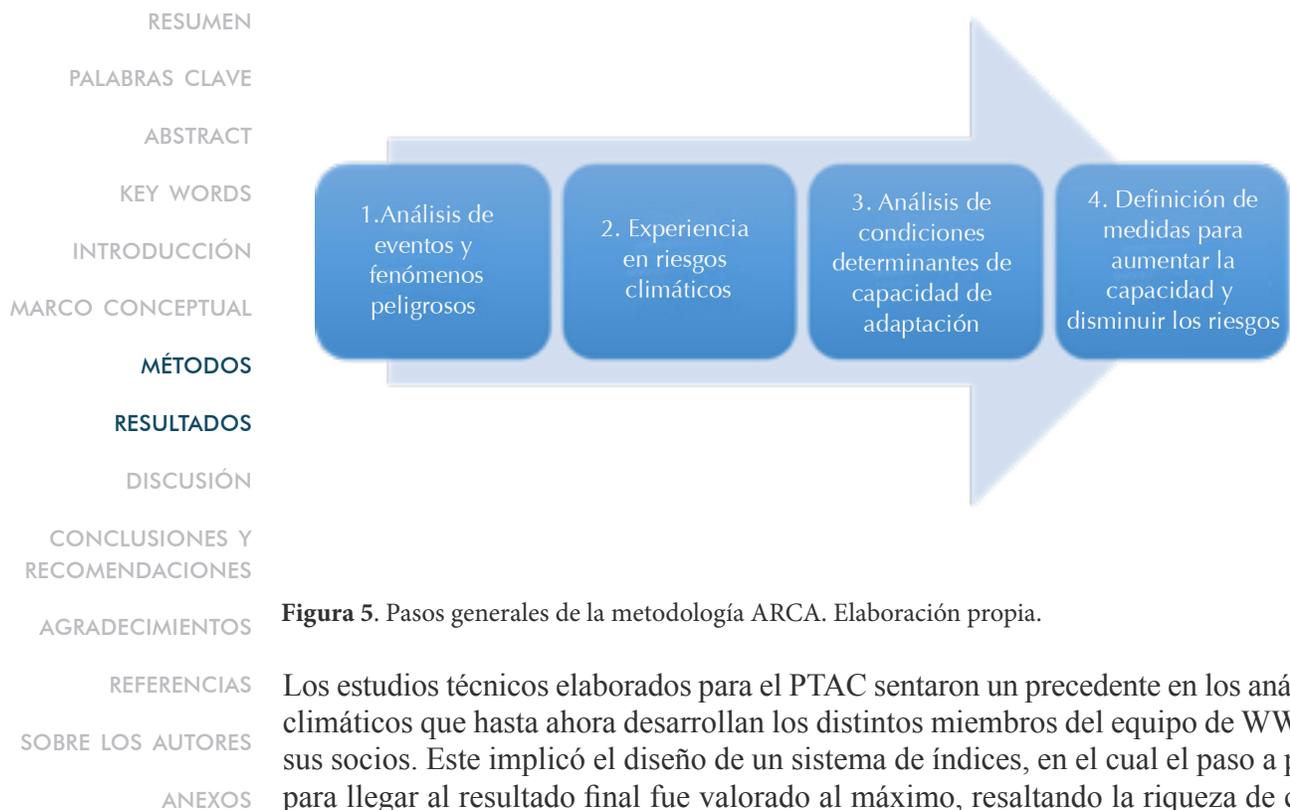


Figura 5. Pasos generales de la metodología ARCA. Elaboración propia.

Los estudios técnicos elaborados para el PTAC sentaron un precedente en los análisis climáticos que hasta ahora desarrollan los distintos miembros del equipo de WWF y sus socios. Este implicó el diseño de un sistema de índices, en el cual el paso a paso para llegar al resultado final fue valorado al máximo, resaltando la riqueza de cada componente para la definición de lineamientos y programas prioritarios. Posterior al Plan, se desarrollaron otros ejercicios que tomaron como base parte de su estructura conceptual y metodológica. Estos han implicado nuevos retos debido al cambio de las escalas, los enfoques particulares y el avance en las metodologías de modelación climática.

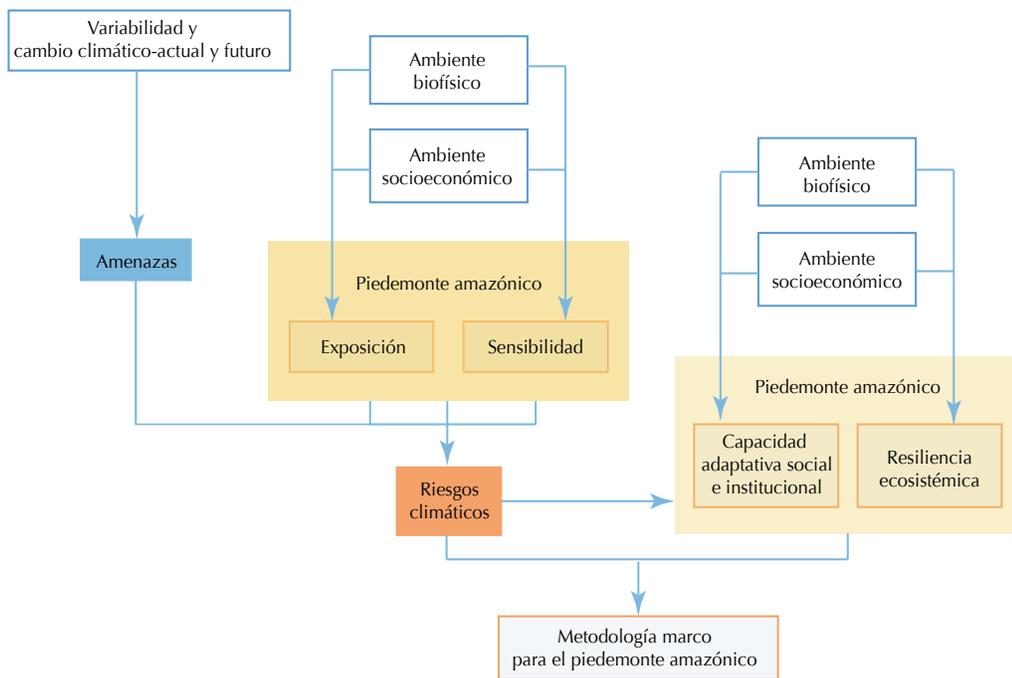
#### Experiencia 4 enfocada en cuencas hidrográficas estratégicas. “Análisis de Riesgos y Capacidad de Adaptación en el Piedemonte Amazónico”

El análisis fue desarrollado durante el año 2013, en el marco de la Iniciativa de Conservación de la Amazonia Andina (ICAA), financiado por USAID y ejecutado por WWF. Dada la importancia de la influencia del clima y de las transformaciones antrópicas en la regulación de los procesos hidrológicos, ecosistémicos, la gestión institucional y las actividades cotidianas y productivas de las comunidades presentes en las cuencas Sarabando, Fragua Chorroso y Guineo (departamentos de Caquetá y Putumayo) fue necesario generar insumos técnicos y basados en el conocimiento local para preparar hacia la adaptación climática.

Además de las cuencas mencionadas, este paisaje incluyó los municipios de Villagarzón, Mocoa, Piamonte, Santa Rosa, San José del Fragua, Palestina, Acevedo, Albania y Belén de los Andaquíes; y las áreas protegidas Parque Nacional Natural Serranía de los Churumbelos Auka-Wasi y Parque Nacional Natural Alto Fragua Indi Wasi.

Este análisis ofreció la línea base climática y una aproximación a la variabilidad climática de la zona, la identificación de áreas de amenaza climática, los potenciales impactos ocasionados por el cambio climático y los eventos extremos, las percepciones de los habitantes en relación con las experiencias en afectaciones históricas que se han presentado y la integración de índices hidrológicos, biológicos y socioeconómicos a nivel de cuencas y de municipios. Estas aproximaciones constituyeron los análisis de riesgo climático y capacidad de adaptación para el área de estudio en el piedemonte amazónico colombiano (Figura 6).

- RESUMEN
- PALABRAS CLAVE
- ABSTRACT
- KEY WORDS
- INTRODUCCIÓN
- MARCO CONCEPTUAL
- MÉTODOS
- RESULTADOS
- DISCUSIÓN
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- AGRADECIMIENTOS
- REFERENCIAS
- SOBRE LOS AUTORES
- ANEXOS

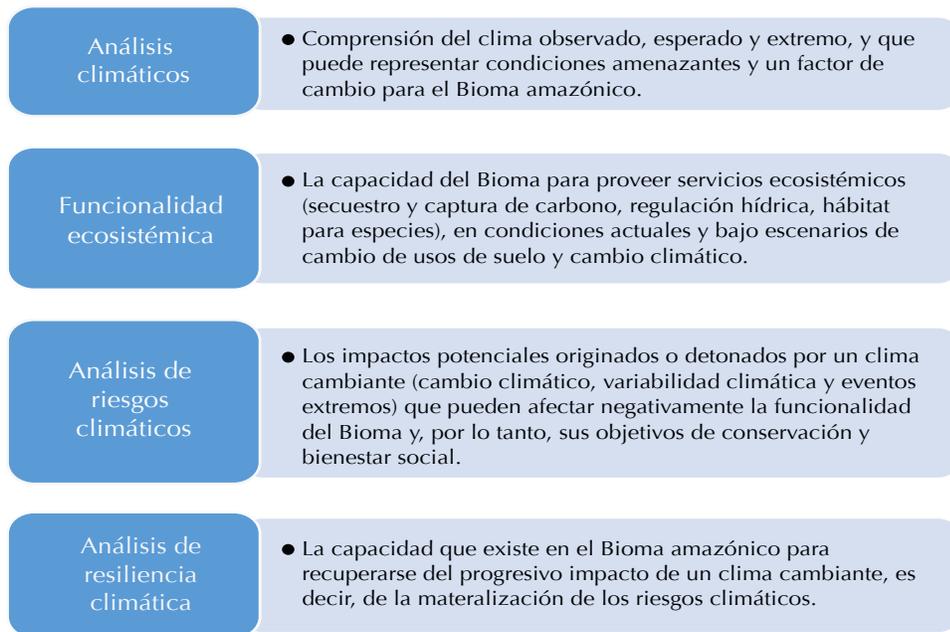


**Figura 6.** Metodología general para la estimación de condiciones de riesgo climático y capacidad de adaptación en el piedemonte amazónico. Elaboración propia.

Los resultados obtenidos de los estudios técnicos y de los análisis de percepción con el uso de la herramienta “Análisis Rápidos de Riesgo Climático y Capacidad de Adaptación” (ARCA), facilitaron y orientaron la definición de medidas de adaptación con el apoyo de los actores locales. Las medidas de adaptación generadas se orientaron a las cuencas, las áreas protegidas, los municipios, las comunidades y los medios de vida y los sectores económicos inmersos en las matrices del paisaje del piedemonte amazónico en Colombia.

RESUMEN	Este proceso permitió hacer énfasis en la planeación para la conservación climáticamente inteligente teniendo como unidad geográfica, biofísica y social a la cuenca hidrográfica, y a la escala municipal, como unidad fundamental para potenciar la
PALABRAS CLAVE	gestión institucional ante el cambio climático. Posterior a los análisis y lineamientos,
ABSTRACT	los municipios de Mocoa, Piamonte y Colón, fueron ejemplo como ejercicios piloto
KEY WORDS	para la inclusión de recomendaciones de gestión climática en los Planes y Esquemas
INTRODUCCIÓN	de Ordenamiento Territorial.
MARCO CONCEPTUAL	<b>Experiencia 5 enfocada en uno de los biomas más importantes del planeta. “Análisis de vulnerabilidad y riesgo del Bioma amazónico y sus áreas protegidas”</b>
MÉTODOS	
RESULTADOS	
DISCUSIÓN	El análisis realizado durante los años 2015 y 2016 en el marco del proyecto Visión Amazónica, fue un esfuerzo conjunto de Redparques con el apoyo de las instituciones nacionales de los sistemas de áreas protegidas de los países amazónicos y organizaciones como WWF, FAO, PNUMA, UICN, como parte de su compromiso de incluir criterios de cambio climático en la toma de decisiones para la conservación y manejo efectivo. Tuvo como objetivo contribuir con la evaluación de las necesidades de adaptación climática del Bioma amazónico, integrándola a su vez a una visión en construcción denominada Visión de Conservación Regional para la Amazonía. Esta visión ha permitido definir una ruta para el manejo y la conservación de los recursos naturales del Bioma, que a su vez integra una red de áreas protegidas para responder al cambio climático y el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades locales (Prüssmann <i>et al.</i> , 2016).
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
AGRADECIMIENTOS	
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	
ANEXOS	

El estudio se enfocó en los ecosistemas de los nueve países del Bioma amazónico: Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, Guyana Francesa, Perú, Surinam y Venezuela. El análisis incluyó cuatro componentes (Figura 7): 1. El climático, que describe el clima observado, el esperado y los eventos extremos que pueden afectar negativamente al Bioma; 2. El de funcionalidad ecosistémica, enfocado a los servicios ecosistémicos como el secuestro de carbono, la regulación hídrica y el hábitat para especies, y cómo estos podrían cambiar bajo escenarios de cambio climático; 3. El de riesgos climáticos, que permitió identificar impactos potenciales originados o detonados por un clima cambiante que pueden afectar al Bioma; 4. El de capacidad de adaptación y aproximaciones a la resiliencia de los ecosistemas del Bioma (Prüssmann *et al.*, 2017). Esta información sirvió como insumo para la generación de un portafolio de áreas prioritarias de conservación, basado en varios ejercicios de planeación sistemática de la conservación utilizando el software MARXAN, una herramienta esencial para orientar a los gobiernos, investigadores y a la sociedad civil en la toma de decisiones para la conservación y el manejo efectivo que permita mantener la funcionalidad e integridad ecológica, además de desarrollar e implementar una agenda de resiliencia al cambio climático para esta región (Prüssmann *et al.*, 2017).



**Figura 7.** Principales componentes de la metodología utilizada para el análisis de riesgos y capacidad de adaptación del Bioma amazónico. Fuente: Prüssmann *et al.*, 2016.

Uno de los análisis que se quieren resaltar de este ejercicio, fue el del cambio en la distribución de 24 especies de importancia en el Bioma. Tomando como base las relaciones tróficas entre estas especies, reportadas en la literatura científica, y por medio de modelaciones, se estimaron posibles cambios futuros en su distribución y la posible pérdida de relaciones interespecíficas a causa del cambio climático esperado para el año 2060 (RCP 8.5). A pesar de constituir una mínima representación de la gran biodiversidad amazónica, este análisis representa un acercamiento a entender posibles impactos futuros del cambio climático sobre relaciones interespecíficas y, por ende, la funcionalidad ecológica del bioma.

Por otra parte, al observar los refugios climáticos resultantes de los cambios en las distribuciones, se evidenció que no todos se encontraban dentro de las áreas protegidas ya existentes y que una porción se ubicaba en los piedemontes y montañas del Bioma. Lo anterior indica que, ante un panorama de clima cambiante, posiblemente las áreas protegidas no son las únicas estrategias suficientes para el mantenimiento de la biodiversidad y la funcionalidad de la región. Estos resultados constituyen un reto para el aumento de la resiliencia de esta importante región, donde el manejo de las presiones antrópicas actuales y el fortalecimiento de estrategias complementarias de conservación son medidas prioritarias para los próximos años (López *et al.*, 2015).

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN  
PALABRAS CLAVE  
ABSTRACT  
KEY WORDS  
INTRODUCCIÓN  
MARCO CONCEPTUAL  
MÉTODOS  
RESULTADOS  
DISCUSIÓN  
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES  
AGRADECIMIENTOS  
REFERENCIAS  
SOBRE LOS AUTORES  
ANEXOS

## Experiencia 6 enfocada en un marco conceptual para la gestión de las áreas protegidas Colombianas. “Futuros de Conservación”

El análisis fue desarrollado durante los años 2016 y 2017, por medio de un esquema de colaboración interinstitucional entre Luc Hoffmann Institute, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) Land and Water, Equilibrium Research, The Australian National University y Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNNC).

El proceso comprendió dos zonas piloto en las cuales ya se habían elaborado estudios orientados a aumentar la resiliencia climática y se habían promovido otros procesos de conservación. La zona piloto uno, estuvo delimitada por el complejo de páramos del Parque Nacional Natural (PNN) los Nevados y la cuenca del río Otún. La zona piloto dos, incluía a las cuencas y áreas protegidas del Piedemonte amazónico, entre estas los PNN Alto Fragua Indi Wasi, Churumbelos y Cueva de los Guácharos.

Más allá de brindar información que permitiera comprender las implicaciones del cambio climático, la variabilidad y los eventos extremos en estas zonas piloto, el proceso estuvo orientado a la comprensión del concepto de «transformación ecológica» y sus consecuencias en dichos paisajes, asumiendo la transformación observada y esperada en los socioecosistemas como una cascada de impactos. Lo anterior conllevó identificar los retos para la gestión que iban a implicar ajustes en la forma clásica de administrar las áreas protegidas y las estrategias complementarias de conservación. En este proceso de reflexión, los servicios ecosistémicos jugaron un papel fundamental para la creación de nuevas rutas y mecanismos que permitieran el manejo efectivo de la biodiversidad a pesar de los cambios y transformaciones esperados (Figura 8).

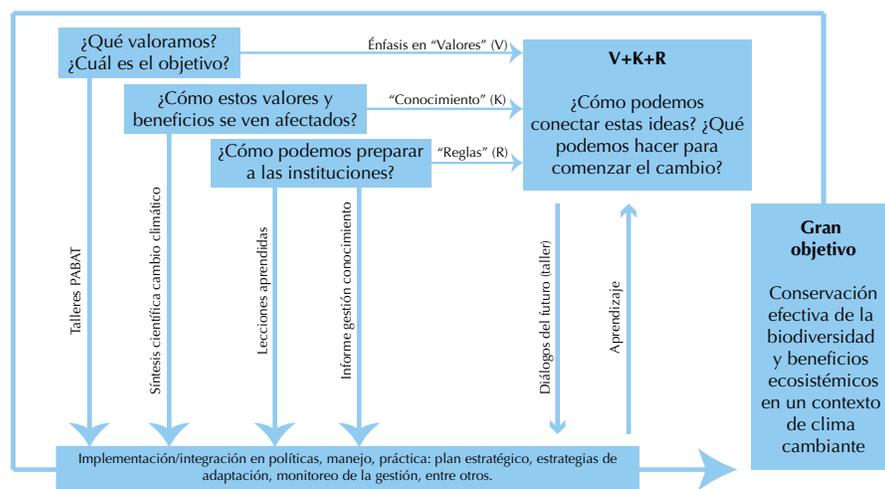


Figura 8. Metodología y componentes fundamentales del enfoque de Futuros de Conservación.

Este nuevo enfoque fue integrado en los lineamientos de la estrategia de PNN como una herramienta para la gestión de las áreas protegidas incluso bajo condiciones de clima cambiante y transformación ecológica, metodología que posiciona a los beneficios o servicios ecosistémicos identificados por los usuarios y responsables de las áreas protegidas como componentes fundamentales para la resiliencia climática de los paisajes estratégicos.

### Experiencia 7 enfocada en un ecosistema único y estratégico. “Proyecto Páramos”

El análisis de vulnerabilidad se realizó para los municipios del Parque Nacional Natural Los Nevados y tenía como finalidad identificar cual es el impacto ocasionado por variaciones en las condiciones climáticas en el páramo sobre los municipios de cuatro departamentos: Tolima (municipios de Ibagué, Cajamarca, Anzoátegui, Santa Isabel, Herveo y Marulanda), Risaralda (municipios de Pereira, y Santa Rosa de Cabal), Quindío (municipio de Salento) y Caldas (municipios de Manizales, Salamina, Aranzazu, Neira y Villamaría). Los estudios técnicos estuvieron basados en la propuesta del Panel Intergubernamental de Expertos del Cambio Climático-IPCC (IPCC, 2014) que considera que el riesgo se encuentra en función del peligro, la exposición y la vulnerabilidad. Para este proyecto el riesgo fue analizado de forma multidimensional (social, biodiversidad).

Para estimar el clima actual y futuro fue necesario realizar modelación climática que permitiera por un lado generar una línea base a partir de la información recopilada por las estaciones meteorológicas del IDEAM, que se encuentran en el área de estudio y aplicar modelos de interpolación de superficies utilizando como variables los datos de precipitación acumulada media mensual y temperatura máxima, media y mínima mensual para el periodo (1986-2015) e interpolada utilizando el método THIN PLATE SPLINE (Hutchinson, 1998) que utiliza la elevación como covariable. El escenario proyectado de cambio climático utilizado fue el B1, modelo MPIM: ECHAM 5.0, periodo 2040-2060. Con esta información climática fue calculado el Regional Climate Change Index (RCCI), el cual es un índice de comparación diseñado para identificar cuáles son las regiones que más responden al cambio climático (Giorgi, 2006) y utilizando el modelo hidrológico Fiesta/Waterworld (Mulligan y Burke, 2005; Mulligan, 2012). Se estimó el balance hídrico para la línea base y el escenario de cambio climático.

Para este proyecto también se calculó la capacidad de adaptación que tenían estos municipios y ecosistemas a través de indicadores que describieran los rasgos de capacidad ambiental y el desempeño integral de los municipios (Figura 9). Es importante mencionar que a pesar de haber generado la información climática e hidrológica necesaria para cuantificar y describir los riesgos esperados por un clima cambiante, para análisis futuros se deben producir insumos con mayor detalle y mejor escala

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN	cartográfica que permitan mejorar la toma de decisiones y ser cada vez más efectivos en la definición de acciones frente al clima cambiante.
PALABRAS CLAVE	
ABSTRACT	
KEY WORDS	
INTRODUCCIÓN	
MARCO CONCEPTUAL	
MÉTODOS	<b>Análisis de peligros climáticos</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Las zonas geográficas del área de estudio donde el clima observado, esperado y extremo representa condiciones amenazantes y un factor de cambio.</li></ul>
RESULTADOS	<b>Análisis de riesgos climáticos</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Los impactos potenciales originados o detonados por un clima cambiante que pueden afectar negativamente la integridad ecológica y el mejoramiento del bienestar social en la región.</li></ul>
DISCUSIÓN	<b>Análisis de capacidad de adaptación</b> <ul style="list-style-type: none"><li>La capacidad que existe en el territorio para recuperarse del progresivo impacto de un clima cambiante, es decir, de la materialización de los riesgos climáticos.</li></ul>
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
AGRADECIMIENTOS	<b>Figura 9.</b> Principales componentes de la metodología para la estimación de riesgos climáticos y la capacidad de adaptación del Proyecto Páramos, ecosistemas estratégicos de Nevados. Elaboración propia.
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	
ANEXOS	Algunos análisis, modelaciones e índices relevantes para el desarrollo de las metodologías correspondientes a las siete experiencias descritas, se comparan de forma sistemática en la tabla 1.

## DISCUSIÓN

No existe una metodología única para el uso de herramientas de medición y modelación climática que permita el desarrollo de análisis de los riesgos climáticos y las condiciones de capacidad de adaptación de una zona de estudio determinada, un área o división política particular. La experiencia de WWF y sus socios en los últimos diez años ha sugerido que el abordaje de los análisis, sus escenarios climáticos y las apuestas de gestión para la conservación climáticamente inteligente dependen de las particularidades, las potencialidades en el territorio, los avances científicos, la información disponible, y las apuestas políticas comunitarias, sectoriales y/o institucionales para promover la adaptación de un paisaje o territorio dado.

El avance en la identificación de necesidades para enfrentar un nuevo panorama de clima cambiante y como consecuencia de transformación ecológica y cultural, depende de múltiples factores y de la forma como los generadores de información y los tomadores de decisión sepan sortear las dificultades, vacíos de información y, en general, la falta de recursos económicos. De acuerdo a lo anterior, se mencionan los principales aspectos a tener en cuenta, partiendo de las experiencias ganadas durante el desarrollo de los siete casos descritos anteriormente.

**Tabla 1.** Metodologías, análisis, modelaciones, variables, hitos y resultados a resaltar en cada una de las experiencias.

Nombre del análisis, escala y ubicación geográfica	Metodologías y análisis	Modelaciones y variables relevantes	Hitos y nuevos elementos incorporados a los análisis	Resultados relevantes
<p>Cordillera Real Oriental:</p> <p>Paisaje de la Cordillera Real Oriental: Ecuador, Colombia y Perú.</p>	<p>Estimación de la vulnerabilidad climática basado en dos sistemas: Biodiversidad e Hidrología.</p>	<p>Modelación del nicho climático de aves, mamíferos y plantas, cálculo del cambio del ensamblaje de las especies analizadas y análisis de los refugios climáticos observados (Maxent <a href="http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/">http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/</a>).</p> <p>Cambio en la distribución de las zonas de vida.</p> <p>Índices de exposición y sensibilidad del sistema Biodiversidad y del sistema Hidrología.</p> <p>Índice de capacidad de adaptación basado en las dimensiones socioeconómica, infraestructura y ambiental.</p>	<p>Primer análisis de vulnerabilidad al cambio climático realizado por WWF en Colombia y en la Cordillera Real Oriental.</p> <p>Modelación de la distribución actual y futura de especies representativas.</p> <p>Incorporación de diversos análisis orientados a la evaluación de los niveles de amenaza y riesgo de los ecosistemas y del recurso hídrico.</p> <p>Incluyó el cambio proyectado en la clasificación climática de ecosistemas (zonas de vida de Holdridge y uso de Worldclim).</p> <p>Identificación de lineamientos de ordenamiento territorial y de política asociados a los instrumentos de planificación.</p>	<p>Se observaron incrementos progresivos en la temperatura y variaciones locales significativas en la precipitación.</p> <p>Los glaciares, el bosque andino muy húmedo y el bosque andino pluvial tenderían a disminuir.</p> <p>Los mayores valores de cambio en el ensamblaje de especies se esperan en las cuencas altas del Napo y Pastaza.</p> <p>Pastaza presentó los mayores valores de sensibilidad.</p>
<p>Estrategias de adaptación en los sitios naturales más excepcionales del planeta:</p> <p>Áreas protegidas marino-costeras: Gorgona y Sanquianga.</p>	<p>CAMPA</p>	<p>Uso de información secundaria generada por el comité científico y responsables del monitoreo de las áreas protegidas.</p> <p>Información contenida en planes de manejo y específicamente en los ejercicios de presiones y amenazas generados en el pasado.</p>	<p>Desarrolló la primera metodología de WWF con análisis de percepción e información científica de cambio climático para las áreas protegidas marino-costeras colombianas.</p>	<p>Se identificaron amenazas como la acidificación del mar, el aumento del nivel del mar, cambios en la frecuencia e intensidad de eventos ENOS, entre otros fenómenos.</p> <p>Se calcularon indicadores de riesgo para los objetos de conservación de ambas áreas protegidas y los atributos de integridad más propensos a ser afectados. Por ejemplo, las costas rocosas, las comunidades de aves marinas, los octocorales, el delfín manchado (<i>Stenella attenuata</i>) y el ensamble de peces demersales resultaron ser los que mayor nivel de riesgo presentaron en Gorgona.</p> <p>Se definieron las medidas de adaptación necesarias.</p>

<p>Plan de Adaptación del departamento de Nariño:</p> <p>Departamental: Nariño.</p>	<p>Análisis de riesgos Climáticos y Capacidad de Adaptación.</p> <p>Análisis de Percepción ARCA.</p> <p>Definición de lineamientos de adaptación para Nariño.</p>	<p>Índice Regional de Cambio Climático (RCCI-Giorgi, 2006).</p> <p>Clasificación climática Caldas-Lang e índice de cambio futuro.</p> <p>Cálculo de zonas de amenaza ante fenómenos de origen hidrometeorológico, oceanográfico y antropogénico. Entre estas: aumento permanente del nivel medio del mar (Invemar, datos cartográficos 2011) y frecuencia y concentración de incendios.</p> <p>Índice de vulnerabilidad por disponibilidad de agua (IDEAM, 2010).</p> <p>Índice de oferta hídrica actual y futura (IDEAM, 2010 e InVEST datos procesados durante 2012).</p> <p>Índices de desertificación, escorrenría y retención de sedimentos (IDEAM, 2010).</p> <p>Modelación de la distribución potencial de especies VOC (algoritmo de ponderados de Mahalanobis y Maxent).</p> <p>Análisis de representatividad ecosistémica respecto a valores regionales y nacionales.</p> <p>Caracterización histórica de daños y pérdidas a causa de eventos climáticos extremos-Desinventar (Coporación OSSO, <a href="http://www.desinventar.org">www.desinventar.org</a>) y Unidad Nacional de Gestión del Riesgo.</p> <p>Análisis de la influencia de El Niño y La Niña en el territorio.</p> <p>Cálculo integrado de índices de peligro climático, de vulnerabilidad climática y de riesgo climático.</p> <p>Cálculo del índice integrado de capacidad de adaptación.</p>	<p>Primer Plan de Adaptación desarrollado por WWF y uno de los primeros en Colombia.</p> <p>Amplio desarrollo en análisis de riesgo ambiental.</p> <p>Selección de especies objeto de conservación con expertos en biodiversidad del Departamento.</p> <p>Restauración de manglares como piloto de adaptación en zonas costeras.</p>	<p>Se identificaron las condiciones y los municipios con mayor potencial de riesgo y vulnerabilidad climática, entre estos Barbacoas, Ipiales, Potosí, Funes, Tangua y Pasto.</p> <p>El cálculo de los índices implicó numerosos análisis, estos permitieron definir los programas prioritarios de adaptación, como la sostenibilidad del recurso hídrico, el fortalecimiento a los procesos de planificación, biodiversidad y áreas protegidas, gestión del riesgo de desastres de origen hidrometeorológico y oceanográfico, desarrollo urbano, seguridad alimentaria, gobernanza y gestión financiera.</p>
---	---	---	--	---

<p>Análisis de Riesgos y Capacidad de Adaptación en el marco de la Iniciativa de Conservación de la Amazonia Andina:</p> <p>Cuencas hidrográficas del Piedemonte amazónico: Sarabando, Guineo y Fragua Chorroso.</p>	<p>Análisis de Riesgos Climáticos y Capacidad de Adaptación. ARCA.</p>	<p>Índice Regional de Cambio Climático (RCCI) (Giorgi, 2006).</p> <p>Cálculo de zonas de amenaza ante fenómenos de origen hidrometeorológico, oceanográfico y antropogénico.</p> <p>Análisis de la influencia de 18 índices de variabilidad climática para la región.</p> <p>Clasificación climática Zonas de Vida de Holdridge e índice de cambio futuro.</p> <p>Frecuencia y concentración de incendios (MODIS Collection 6 NRT Hotspot / Active Fire Detections MCD14DL. Available on line [<a href="https://earthdata.nasa.gov/firms">https://earthdata.nasa.gov/firms</a>]. DOI: 10.5067/FIRMS/MODIS/MCD14DL.NRT.006).</p> <p>Modelación del balance hídrico actual y Futuro.</p> <p>Estimación de usos del suelo y factores de cambio con el uso de coberturas de la tierra CORINE Land Cover (IDEAM et al., 2012).</p> <p>Caracterización histórica de daños y pérdidas a causa de eventos climáticos extremos-Desinventar.</p> <p>Cálculo integrado de índices de peligro climático, de vulnerabilidad climática y de riesgo climático.</p> <p>Cálculo del índice integrado de capacidad de adaptación.</p>	<p>Enfoque en cuencas hidrográficas estratégicas para las comunidades del Piedemonte amazónico.</p> <p>Estimación de la deforestación proyectada al año 2040 basada en la percepción de actores locales y modelaciones con el uso del software Idrisi y el módulo Land Change Modeler.</p> <p>Incorporación de lineamientos de adaptación y mitigación en Planes y Esquemas de Ordenamiento territorial en municipios del Piedemonte amazónico por orden de Consejos Municipales.</p> <p>Lineamientos articulados a los determinantes ambientales definidos con la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia (Corpoamazonía).</p>	<p>El análisis evidenció que los ecosistemas, las comunidades y sus medios de vida, y los sectores y actividades económicas de las cuencas estudiadas se encuentran expuestos a diferentes amenazas que pueden ser detonadas por variaciones en las condiciones climáticas. De igual forma, estos componentes del territorio han sido afectados por fenómenos físicos potencialmente peligrosos de origen hidrometeorológico, hidrometeorológicos, hidroclimáticos y meteopiroecológicos.</p> <p>De acuerdo a las proyecciones calculadas se esperan aumentos en la temperatura y precipitación lo cual puede intensificar dichos fenómenos y causar importantes afectaciones si no se implementan las medidas de adaptación necesarias.</p> <p>Los territorios poseen una capacidad de adaptación baja. En el caso de los instrumentos de planificación, las agendas de gestión, actores o procesos existentes en la zona, algunos de estos poseen un enfoque hacia la adaptación climática, sin embargo los casos aún son pocos y no son suficientes.</p> <p>Los resultados indicaron importantes niveles de riesgo relacionados con la dimensión social en los municipios de Santa Rosa y Piamonte, seguidos de Mocoa, Villagarzón y San José del Fragua. En términos ambientales los mayores niveles de riesgo se observan en el municipio de Mocoa, seguido de Villagarzón y San José del Fragua.</p>
--	--	---	--	--

<p>Análisis de vulnerabilidad y riesgo del Bioma amazónico y sus áreas protegidas definido por Olson y Dinerstein (1998): Brasil, Bolivia, Venezuela, Surinam, Perú, Guyana Francesa, Guyana, Ecuador y Colombia.</p>	<p>Análisis de riesgos Climáticos. Definición de oportunidades de conservación.</p>	<p>Índice Regional de Cambio Climático (RCCI) (Giorgi, 2006).  Cálculo de zonas de amenaza ante fenómenos de origen hidrometeorológico, oceanográfico y antropogénico.  Estimación de la captura de carbono (Baccini <i>et al.</i>, 2012).  Modelación hidrológica con el uso de InVEST.  Modelación de la distribución potencial de especies y servicios ecosistémicos asociados con el uso de Maxent.  Estimación de la deforestación mediante análisis multitemporales.  Frecuencia y concentración de incendios (MODIS Collection 6 NRT Hotspot / Active Fire Detections MCD14DL. Available on line [<a href="https://earthdata.nasa.gov/firms">https://earthdata.nasa.gov/firms</a>]. DOI: 10.5067/FIRMS/MODIS/MCD14DL.NRT.006) y relación con Índice Oceánico (ONI).  Índice de Riesgo Ecológico - ERI (Mattson y Angermeier, 2007).  Cálculo integrado de índices de peligro climático, de vulnerabilidad climática y de riesgo climático.</p>	<p>Involucró nueve países, sus gobiernos y sus sistemas nacionales de áreas protegidas para el desarrollo de estrategias de adaptación, mitigación y conservación a nivel del Bioma amazónico.</p>	<p>A continuación se resaltan sólo algunos de los resultados más relevantes:  En términos generales, para el RCP8.5 se espera un aumento de la temperatura a entre 0,3 y 3 °C en el Bioma amazónico, esto depende del área específica a evaluar.  Se esperan variaciones en la precipitación del Bioma. Los aumentos se registran al norte (cerca al 20%), las disminuciones se registran al suroeste y oriente (cerca al 20%).  Teniendo en cuenta la estimación del RCCI, los estados de Pará, Mato Grosso y Rondonia registrarán los mayores efectos potenciales del cambio climático.  Se espera que las inundaciones y las sequías continúen aumentando. Por otra parte, las variaciones más importantes en el comportamiento del recurso hídrico se presentan en las cuencas menos protegidas.  También se espera una disminución del contenido de carbono en tres cuartas partes del Bioma.  De acuerdo a las modelaciones fue posible inferir que se afectarán la distribución, las redes tróficas y los servicios ecosistémicos asociados a las especies del Bioma.  Finalmente, se observaron alarmantes tendencias de transformación del Bioma. Por ejemplo, durante el año 2000 y el 2013 se deforestaron aproximadamente 269.970 km<sup>2</sup>. Estas dinámicas de intervención disminuyen la resiliencia de la Amazonía y sus áreas protegidas ante el cambio climático.</p>
---	---	---	--	---

<p>Futuros de Conservación:</p> <p>Paisajes y áreas protegidas: Piedemonte amazónico, PNN Los Nevados y Cuenca del río Otún.</p>	<p>Síntesis científica en torno a las áreas protegidas y las transformaciones ecológicas.</p> <p>Diálogos del Futuro.</p> <p>PABAT.</p> <p>Análisis de percepción en torno a cambio climático y conocimiento.</p>	<p>Proceso de revisión y análisis de información secundaria en relación a las transformaciones ecológicas observadas y esperadas en Colombia y las zonas de estudio.</p>	<p>Inició el proceso de comprensión del concepto de Transformación Ecológica por el cambio climático por parte de los equipos de trabajo de las áreas protegidas seleccionadas como piloto del Sistema de Parques Nacionales de Colombia.</p> <p>Esta nueva forma de pensar influyó en la planeación y gestión de las áreas protegidas en un contexto de clima cambiante.</p>	<p>Se logró influir en la percepción hacia la transformación ecológica por parte de los funcionarios de las instituciones públicas ambientales con competencia en las zonas piloto.</p> <p>El desarrollo de la metodología PABAT facilitó la identificación de los beneficios de las áreas protegidas por parte de las comunidades circundantes.</p> <p>El proceso permitió recopilar y analizar los impactos y transformaciones ecológicas observadas y esperadas en los beneficios ecosistémicos y en la biodiversidad de las áreas piloto. Se identificaron las estrategias, las barreras, los actores fundamentales y las oportunidades existentes para lograr una adaptación efectiva.</p>
<p>Proyecto Páramos:</p> <p>Paisaje y ecosistemas estratégicos del PNN Los Nevados y municipios circundantes.</p>	<p>Análisis de Riesgos Climáticos y Capacidad de Adaptación.</p> <p>ARCA.</p> <p>Definición de lineamientos de adaptación.</p>	<p>Índice Regional de Cambio Climático (RCCI-Giorgi, 2006).</p> <p>Cálculo de zonas de amenaza ante fenómenos de origen hidrometeorológico y antropogénico.</p> <p>Estimación de la captura de carbono (Baccini <i>et al.</i>, 2012).</p> <p>Modelación hidrológica-Fiesta/Waterworld (Mulligan y Burke, 2005; Mulligan, 2012).</p> <p>Índice de Riesgo Ecológico-ERI (Mattson y Angermeier, 2007).</p> <p>Caracterización histórica de daños y pérdidas a causa de eventos climáticos extremos-Desinventar.</p> <p>Cálculo integrado de índices de peligro climático, de vulnerabilidad climática y de riesgo climático.</p> <p>Cálculo del índice integrado de capacidad de adaptación.</p>	<p>Enfocó los análisis de riesgo y capacidad de adaptación en una zona de importancia RAMSAR y a su vez protegida (Parque Nacional Natural Los Nevados).</p> <p>Ajustó los modelos climáticos regionales ya existentes como un esfuerzo adicional para precisar aún más los resultados de las modelaciones climáticas ya existentes.</p>	<p>Se evidenció que todos los municipios del área de estudio están expuestos a amenazas climáticas como el incremento en la temperatura y variaciones en la precipitación a futuro. Estos territorios y ecosistemas estratégicos también son susceptibles a fenómenos relacionados con el clima como los deslizamientos, las inundaciones, los vendavales, las olas de calor, las heladas y los cambios en la dinámica de caudales y del recurso hídrico en general.</p> <p>La mayoría de los fenómenos no se observaban en la cartografía disponible, lo cual fue un resultado relevante de los análisis ARCA. Al profundizar en el comportamiento de dichas amenazas, se evidenció que el fenómeno de El Niño y La Niña ejercen una notable influencia en el comportamiento las condiciones climáticas y la manifestación de estos fenómenos.</p> <p>11 de los 17 municipios con ecosistemas estratégicos presentaron altos niveles de riesgo.</p>

RESUMEN	<b>Aporte de los análisis climáticos para el desarrollo de otros enfoques</b>
PALABRAS CLAVE	La conservación climáticamente inteligente es aquella que entiende que el clima constituye un factor determinante en la dinámica de los ecosistemas, incluyendo al ser humano, sus estructuras y procesos. Para abordar este contexto es necesario plantear metas, objetivos e indicadores visionarios que consideren consciente y deliberadamente los riesgos, retos y oportunidades de un clima cambiante. Este enfoque permite disminuir los niveles de incertidumbre para la implementación de acciones acertadas, comprendiendo la diversidad de los territorios ocupados por los objetos de conservación (WWF Colombia, 2015).
ABSTRACT	
KEY WORDS	
INTRODUCCIÓN	
MARCO CONCEPTUAL	
MÉTODOS	
RESULTADOS	Los esfuerzos para promover una conservación de este tipo han implicado, con el paso del tiempo, las alianzas estratégicas con múltiples socios y actores, una visión cada vez más integral del territorio, la experticia en el uso y comprensión de la evolución de las herramientas SIG y su articulación con metodologías climáticas, así como el desarrollo de análisis complejos de tal forma que en ocasiones integran múltiples dimensiones como la económica o sectorial, la ambiental y la social. Los retos asumidos en los últimos diez años han implicado revisar el enfoque de socio ecosistemas en paisajes estratégicos, el valor de la integridad y la resiliencia climática para la adaptación, la veracidad de la transformación ecológica (Dunlop y Brown, 2008) y los ecosistemas emergentes (Hobbs <i>et al.</i> , 2006), y reconocer la importancia de la ecología funcional como herramienta para enfrentar los retos de un clima cambiante.
<b>DISCUSIÓN</b>	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
AGRADECIMIENTOS	
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	
ANEXOS	

La experiencia de WWF y sus socios en los últimos años evidenció que el desarrollo de análisis climáticos orientados a la conservación requiere la inclusión de múltiples variables. Los análisis a realizar deben reconocer la influencia del clima tanto en los sistemas sociales como ecológicos y por lo tanto, la adaptación debe promoverse de manera integral. Los componentes y procesos del territorio o del paisaje son afectados por los cambios en el clima y a su vez son puntos de partida para promover la conservación climáticamente inteligente.

### Unidad de análisis

La unidad de análisis y uso de diferentes escalas varía, se ve condicionada por diferentes factores, incluyendo a los socios que están interesados en la producción de información y la gestión para la adaptación en el territorio. Por ejemplo, para el contexto colombiano, una comunidad indígena, una alcaldía, una gobernación, un ministerio o el Gobierno Nacional podrán sugerir la necesidad de análisis y lineamientos de adaptación en el resguardo, el municipio, el departamento o el país respectivamente, limitándolo a la división político-administrativa del territorio.

Por otra parte, para la selección de la unidad de análisis es fundamental la información ambiental, económica, social y política disponible en las bases de datos oficiales y no

oficiales para el cálculo de indicadores climáticos y el desarrollo de análisis derivados. Por lo general se ha observado que las bases de datos como las del “Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial” (SIGOT, [http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/frames\\_pagina.aspx](http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/frames_pagina.aspx)) contienen un mayor número de indicadores para el cálculo de otros indicadores e índices integrados. La existencia de información a este nivel permite generar análisis a escala municipal, útiles para la toma de decisiones por parte de las instituciones oficiales competentes.

La unidad de análisis puede ser mucho más versátil bajo un enfoque ecosistémico, biológico, ecológico y/o ambiental, por ejemplo, esta puede estar delimitada por una o varias cuencas, por un sistema léntico, por un ecosistema dado, por un bioma, por un área protegida o un sistema de áreas protegidas y por un corredor o paisaje de alta importancia ecosistémica, entre otras.

Finalmente, el Gobierno Nacional reglamentó el Sistema Nacional del Clima (SIS-CLIMA) y el desarrollo de Planes Integrales de Gestión del Cambio Climático Sectoriales y Planes Integrales de Gestión del Cambio Climático Territoriales, en el marco de la Ley de Cambio Climático (Ley No. 1931 del 27 de julio de 2018, <http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY%201931%20DEL%2027%20DE%20JULIO%20DE%202018.pdf>). Lo anterior posiciona dentro de las prioridades de las instituciones oficiales el desarrollo de dichos instrumentos que requieren de estudios técnicos climáticos, donde la unidad de análisis está por definición casi predeterminada.

## Vacíos de información y atemporalidad en los datos vs. tiempo

De forma simultánea a la definición de la unidad de análisis, ha sido necesario verificar la cantidad y calidad de la información disponible para el desarrollo de los análisis, las modelaciones climáticas y el cálculo de índices e indicadores propuestos (según cada caso). El panorama ideal sería contar con toda la información necesaria, aunque esta condición no siempre se cumple. A pesar de los esfuerzos para aumentar los registros y el conocimiento de la biodiversidad en Colombia y países vecinos, en numerosas ocasiones los datos no son representativos y deben ser complementados con múltiples fuentes de información. Por ejemplo, para la modelación de una especie, en ocasiones no basta con las coordenadas existentes en las bases de datos en línea y por lo tanto es necesaria la búsqueda de artículos que contengan registros de especies, así como el contacto directo con expertos, grupos de investigación, áreas protegidas, entre otras instituciones para complementar la información.

Otra barrera identificada al momento de comparar datos entre las unidades de análisis (por ejemplo, entre municipios) es la atemporalidad de los datos, razón por la cual es necesaria una revisión de la información, la identificación de rangos temporales y métodos comparables y, en ocasiones, recurrir a procesos estadísticos para identificar

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN	tendencias en el comportamiento de los datos. Teniendo en cuenta que los tiempos para el desarrollo de los estudios técnicos siempre son limitados en el marco de un proyecto o proceso determinado, es necesario contar con un equipo de trabajo que reconoce que existen niveles de incertidumbre en la información, que recurre al beneficio de las alianzas interinstitucionales, a la colaboración entre actores, a métodos estadísticos para procesar los datos de la mejor forma posible mientras se mejora la calidad de la información para futuros análisis.
PALABRAS CLAVE	
ABSTRACT	
KEY WORDS	
INTRODUCCIÓN	
MARCO CONCEPTUAL	Para el caso de los análisis que incluyen más de un país, es frecuente que se presente incompatibilidad de los datos existentes entre países, debido a que las fechas de inicio de la toma de datos, el tipo de indicadores y los métodos de medición varían de acuerdo con los sistemas de monitoreo de los institutos ambientales, de investigación y de aquellos responsables de la información, por lo cual es necesario recurrir a procesos de homologación.
MÉTODOS	
RESULTADOS	
<b>DISCUSIÓN</b>	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	<b>La importancia de los ejercicios de percepción y validación de los análisis</b>
AGRADECIMIENTOS	A lo largo de los años, WWF y sus socios han creado e incorporado en sus análisis, ejercicios de percepción. Estas metodologías como CAMPA y ARCA se implementan de manera simultánea al desarrollo de los análisis técnicos que son elaborados a partir del procesamiento de datos, indicadores y cartografía. Su objetivo es complementar con el conocimiento técnico de expertos, comités científicos, comunidades, instituciones y conocedores del contexto local la información obtenida. El uso de estas metodologías no solo permite hacer más robustos los resultados, si no, definir las acciones y lineamientos de adaptación a partir de las propuestas de los participantes, lo cual le da legitimidad al proceso y permite el seguimiento y fortalecimiento de las acciones futuras por parte de ellos mismos.
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	
ANEXOS	

## Los observatorios y plataformas al servicio de los actores locales y regionales

Una de las barreras que no permiten una gestión climática efectiva en los territorios es la articulación deficiente entre los tomadores de decisión y los generadores de información para el manejo de la información ambiental (Kerkhoff *et al.*, 2018). Como respuesta a lo anterior WWF y sus socios han desarrollado aplicativos que permiten a los interesados contar con insumos cartográficos y espaciales disponibles en plataformas virtuales. Las plataformas han sido productos derivados de algunos de los análisis realizados. Estas iniciativas han facilitado la toma de decisiones para la conservación climáticamente inteligente después de finalizar los proyectos, quedando en manos de instituciones que administran la información al servicio de los futuros procesos. Un ejemplo de ello es el conjunto de aplicativos web (storymap y geovisor) generados en el marco del análisis de vulnerabilidad y riesgo, y el portafolio de oportunidades de conservación para el Bioma amazónico.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La experiencia conseguida a lo largo de más de diez años de trabajo continuo integrando consideraciones climáticas a los procesos de conservación y uso sostenible de la biodiversidad en Colombia y regiones vecinas ha permitido a WWF una mejor comprensión y dominio del uso de herramientas SIG aplicadas a distintas metodologías climáticas, lo mismo que su capacidad para establecer y mantener articulaciones estratégicas con múltiples socios y actores. Esta experticia, sumada a una visión cada vez más integral del territorio, ha traído consigo avances importantes en el desarrollo de análisis complejos que, la mayoría de las veces, integran múltiples dimensiones como la económica, la sectorial, la ambiental y la social. Aunque a lo largo de la presentación de los siete casos analizados se recogen algunas lecciones aprendidas para otros actores interesados en la solución de problemas similares, consideramos relevante destacar algunos elementos a manera de conclusiones y recomendaciones.

En primer lugar, la transversalización de los análisis climáticos dentro de los procesos que desarrolla WWF con sus socios implicó el montaje de un sistema de índices, en cuyo diseño los distintos pasos que se dieron para llegar al resultado final fueron reconocidos como elementos valiosos de la definición de lineamientos y programas prioritarios.

Uno de estos pasos consistió en la generación de modelos potenciales de distribución de aves, mamíferos y plantas como instrumentos para la toma de decisiones frente al cambio climático a escala de paisaje. La identificación de cambios potenciales de distribución y la modificación o pérdida de relaciones interespecíficas fueron elementos importantes para la comprensión de la dinámica de servicios ecosistémicos en escenarios de cambio climático.

Otros tipos de modelaciones permitieron estimar proyecciones que han sido fundamentales para orientar la adaptación hacia escenarios plausibles de cambio futuro. Algunas de estas son las que evidencian el cambio en las condiciones climáticas, en las dinámicas hidrológicas y marino-costeras, en la clasificación climática de los ecosistemas y en las tendencias de la deforestación, entre otras. Respecto a las trayectorias de emisiones y escenarios, su selección casi siempre ha sido una decisión política de las instituciones y comunidades interesadas en los análisis, esta decisión depende de las apuestas, la visión, las tendencias y las oportunidades existentes para la gestión climática en los territorios.

Por su parte, el uso de los análisis de valoración de servicios ecosistémicos ha sido otro elemento fundamental para la identificación de mecanismos de manejo efectivo de la biodiversidad en entornos cambiantes en colaboración con actores locales. En todas las experiencias analizadas, el conocimiento local sirvió para complementar, validar y precisar los análisis técnicos. El valor de esta validación es especialmente importante, pues hizo posible que tanto los habitantes como los tomadores de decisión

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

**CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES**

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN	en los territorios considerados propusieran sus propias soluciones bajo la orientación de un equipo técnico.
PALABRAS CLAVE	
ABSTRACT	En otras situaciones, el uso de análisis de percepción fue una herramienta importante que no solo hizo más robustos los resultados, sino que además permitió definir acciones y lineamientos de adaptación acordes a las expectativas e historia de vida de los participantes, lo cual le da legitimidad al proceso y permite el seguimiento y fortalecimiento de las acciones futuras por parte de ellos mismos.
KEY WORDS	
INTRODUCCIÓN	
MARCO CONCEPTUAL	
MÉTODOS	En lo que respecta a la aplicación de estos análisis y procedimientos al manejo de áreas protegidas, el establecimiento de métodos uniformes para evaluar y seleccionar las presiones, amenazas y riesgos tanto climáticos como no climáticos da como resultado un marco de referencia común y transversal para la formulación de planes de manejo. Este enfoque para la gestión de las áreas protegidas bajo condiciones de clima cambiante y transformación ecológica, posiciona a los beneficios o servicios ecosistémicos identificados por los usuarios y responsables de las áreas protegidas como componentes fundamentales para la resiliencia climática de paisajes estratégicos.
RESULTADOS	
DISCUSIÓN	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
AGRADECIMIENTOS	
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	Cada una de las experiencias se caracterizó por tener un objeto de estudio particular, casi siempre definido por los actores sociales o institucionales que desean promover soluciones para la gestión climática alrededor de ese interés específico. Cada proceso contó con una escala distinta -cuenca, piedemonte, departamento, bioma, área protegida, sistema de áreas protegidas, ecosistema estratégico- lo cual dependió del objeto de estudio definido, de sus dinámicas sociales y naturales y de la información disponible. Esta particularidad ha permitido resaltar que no existe una escala predeterminada para el desarrollo de estudios y procesos que permitan promover la adaptación y mitigación ante el cambio climático.
ANEXOS	

## AGRADECIMIENTOS

A las instituciones, comunidades, redes de trabajo, fuentes de financiación y miembros de WWF por hacer posible el avance en la comprensión de los retos del cambio climático en el contexto de la conservación.

## REFERENCIAS

- Baccini, A., Goetz, S. J., Walker, W. S., Laporte, N. T., Sun, M., Sulla-Menashe, D., Hackler, J., Beck, P. S. A., Dubayah, R., Friedl, M. A., Samanta, S. y Houghton, R. A. (2012). Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nature Climate Change*, 2, 182-185.
- Belokurov, A., Baskinas, L. T., Biyo, R., Clausen, A., Dudley, N., Guevara, O., Lumanog, J., Rakotondrazafy, H., Ramahery, V., Salao, C., Stolton, S. y Zogib, L. (2015). *Mareas*

- cambiantes: Metodología para la planificación de la adaptación climática en áreas marinas y costeras protegidas (CAMP)*. Gland, Suiza: WWF. 172 pp.
- Dunlop, M. y Brown, P. R. (2008). *Implications of climate change for Australia's National Reserve System: A preliminary assessment*. (Report to the Department of Climate Change). Canberra, Australia: Department of Climate Change. 155 pp.
- Epstein, P. R., Diaz, H. F., Elias, S., Grabherr, G., Graham, N. E., Martens, W. J. M., Mosley-Thompson, E. y Susskind, E. J. (1998). Biological and physical signs of climate change: focus on mosquito-borne disease. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 409-417.
- Giorgi, F. (2006). Climate change hot-spots. *Geophysical research letters*, 33, 1-4.
- Gómez-Baggethun, E. y de Groot, R. (2007). Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía. *Revista Ecosistemas*, 16 (3), 4-14.
- Guevara, O. G., Naranjo, L. G. y Chaves, M. E. (2014). Past, Present and Future. *Dimensions of Climate Smart Conservation: Evidence and Learning from WWF Colombia*. Cali, Colombia: WWF. 34 p.
- Hobbs, R. J., Arico, S., Aronson, J., Baron, J.S., Bridgewater, P., Cramer, V. A., Epstein, P. R., Ewel, J., Klink, C. A., Lugo, A. E., Norton, D., Ojima, D., Richardson, D. M., Sanderson, E.W., Valladares, F., Vila, M., Zamora, R., y Zobel, M. (2006). Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order. *Global Ecology and Biogeography*, 15, 1-7.
- Hutchinson, M. (1998). Interpolation of Rainfall Data with Thin Plate Smoothing Splines-Part II: Analysis of Topographic Dependence. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, 2(2), 139-151.
- IDEAM. (2010). *Estudio Nacional del Agua 2010*. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 408 pp.
- IDEAM, MADS, IGAC, IIAP, SINCHI, PNN y WWF. (2012). “Capa Nacional de Coberturas de la Tierra (periodo 2005-2009): Metodología CORINE Land Cover adaptada para para Colombia escala 1:100.000, V1.0.” Mapa Nacional. Bogotá. D.C. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/coberturas-nacionales>.
- IPCC (2014). *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad-Resumen para responsables de políticas*. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (Informe Técnico). Organización Meteorológica Mundial. Ginebra, Suiza, 34 pp.
- Kerkhoff, L., Munera, C., Dudley, N., Guevara, O., Wyborn, C., Figueroa, C., Dunlop, M., Abud-Hoyos, M., Castiblanco, J. y Becerra, L. (2018). *Towards future-oriented conservation: Managing protected areas in an era of climate change*. *Ambio. A Journal of the human environment*. Published online. <https://doi.org/10.1007/s13280-018-1121-0>.
- López, C., Abud, M. y Prüssmann, J. (2015). *Distribución actual y futura de 24 especies del Bioma amazónico*. (Informe Técnico). Cali: WWF Colombia. 39 pp.
- Mattson, K. M. y Angermeier, P. L. (2007). Integrating human impacts and ecological integrity into a risk-based protocol for conservation planning. *Environmental Management*, 39, 125-138.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, D.C: World Resources Institute. 155 pp.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN	Mulligan, M. (2012). Water World: a self-parameterising, physically-based model for application in data-poor but problem-rich environments globally. <i>Hydrology Research</i> , 44(5), 748-769.
PALABRAS CLAVE	Mulligan, M. y Burke, S. (2005). <i>FIESTA Fog Interception for the Enhancement of Streamflow in Tropical Areas</i> . (Technical Report). AMBIOTEK. United Kingdom. 173 pp.
ABSTRACT	Naranjo, L. G. (2010). <i>Cambio climático en un paisaje vivo: Vulnerabilidad y adaptación en la Cordillera Real Oriental de Colombia, Ecuador y Perú</i> . Cali: WWF Colombia y Fundación Natura. 106 pp.
KEY WORDS	
INTRODUCCIÓN	Naranjo, L. G. y Suárez, C. F. (2010). Determinación de la vulnerabilidad de ecosistemas andinos al cambio climático: ¿quién es vulnerable a qué?. En Naranjo, L.G. (Eds.). <i>Cambio climático en un paisaje vivo: Vulnerabilidad y adaptación en la Cordillera Real Oriental de Colombia, Ecuador y Perú</i> . Pp: 17-24. Cali, Colombia: Fundación Natura-WWF.
MARCO CONCEPTUAL	Olson, D. M. y Dinerstein, E. (1998). The Global 200: A representation approach to conserving the Earth's most biologically valuable ecoregions. <i>Conservation Biology</i> , 12, 502-515.
MÉTODOS	Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E. y Blair, M. E. (2017). Opening the black box: an open source release of Maxent. <i>Ecography</i> , 40, 887-893.
RESULTADOS	Prüssmann, J., Suárez, C., Guevara, O. y Vergara, A. (2016). <i>Análisis de vulnerabilidad y riesgo climático del bioma amazónico y sus áreas protegidas</i> . Cali, Colombia: REDPARQUES Parques Nacionales Naturales de Colombia, Ministerio del Ambiente - Ecuador, Ministerio del Ambiente-Perú / Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado, WWF. 48 pp.
DISCUSIÓN	Relman, D. A., Hamburg, M. A., Choffnes, E. R. y Mack. A. (2008). Global Climate Change and Extreme Weather Events: Understanding the Contributions to Infectious Disease Emergence: Workshop Summary-Forum on Microbial Threats Board on Global Health, Washington D.C, 280 pp.
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	WWF Colombia. (2015). <i>Climate Smart Conservation. Análisis en torno al marco conceptual y caso piloto del Piedemonte amazónico</i> . (Informe Técnico). Cali: WWF Colombia. 41 pp.
AGRADECIMIENTOS	
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	
ANEXOS	

## SOBRE LOS AUTORES

### Melissa Abud Hoyos

WWF Colombia  
mabud@wwf.org.co

### Luis Germán Naranjo

WWF Colombia  
lgnaranjo@wwf.org.co

### Jairo Guerrero

WWF Colombia  
jaguerrero@wwf.org.co

**Oscar Guevara**

WWF Colombia  
ojguevara@wwf.org.co

**César Freddy Suárez**

WWF Colombia  
cfsuarez@wwf.org.co

**Johanna Prüssmann**

WWF Colombia  
jprussmann@wwf.org.co

Citación sugerida:

Abud Hoyos, M., Naranjo, L. G., Guerrero, J., Guevara, O., Suárez, C. F. y Prüssmann, J. (2019). Conservación de la biodiversidad en un contexto del clima cambiante: experiencias de WWF Colombia en los últimos diez años. *Biodiversidad en la Práctica*, 4(1), 111-140.

**ANEXOS**

**Anexo 1.** Otros análisis en conservación y cambio climático desarrollados por WWF y sus socios en los últimos años. En color gris se resaltan las experiencias seleccionadas como casos de estudio para el artículo.

Título de la experiencia	Año	Ubicación
Cambio climático en un paisaje vivo: vulnerabilidad y adaptación en la Cordillera Real Oriental (CRO)	2007-2009	Cordillera Real Oriental
EpiCentre for Climate Conservation: Adaptation Strategies for the Northern Andes	2007-2008	Páramos de Anaime Chili y Chiles-El Angel, y cuenca del río Güiza
Sustainable Conservation Approach in Priority Ecosystems	2010-2012	PNN Alto Fragua Indi Wasi y zona circundante
Estrategias de adaptación en los sitios naturales más excepcionales del planeta	2011	PNN Sanquianga y PNN Gorgona
Landscape Management in Chocó-Darién Priority Watersheds	2011-2012	Chocó
Implicaciones del cambio climático en el Oso Andino en el piedemonte amazónico	2012	Piedemonte amazónico
Aproximaciones de los sectores al cambio climático	2012	Departamento del Meta
Fortalecimiento a los Nodos Regionales de Cambio Climático	2013	Colombia
Análisis de Riesgos y Capacidad de Adaptación del Piedemonte amazónico	2013	Piedemonte amazónico: Cuencas Sarabando, Fragua Chorroso y Guineo.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MARCO CONCEPTUAL

MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN	Plan Territorial de Adaptación Climática del Departamento de Nariño (PTAC)	2013-2014	Departamento de Nariño
PALABRAS CLAVE	Risaralda, preparándose para el cambio climático	2014	Departamento de Risaralda
ABSTRACT	Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima del Oriente Antioqueño	2017-2018	Oriente Antioqueño
KEY WORDS	Análisis de vulnerabilidad y riesgo del Bioma amazónico y sus áreas protegidas	2015-2016	Bioma amazónico
INTRODUCCIÓN	Variabilidad espacio-temporal del sistema océano-atmosférico en el Pacífico ecuatorial oriental	2015-2016	Cuenca Pacífica Colombiana y Pacífico ecuatorial oriental
MARCO CONCEPTUAL	Futuros de Conservación	2016-2017	Parque Nacional Natural los Nevados, cuenca del río Otún, PNN Alto Fragua Indiwasi, Churumbelos y Cueva de los Guácharos
MÉTODOS			
RESULTADOS	Proyecto Páramos	2017-2018	Parque Nacional Natural los Nevados
DISCUSIÓN			
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES			
AGRADECIMIENTOS			
REFERENCIAS			
SOBRE LOS AUTORES			
ANEXOS			

# Biodiversidad EN LA PRÁCTICA

Documentos de trabajo del Instituto Humboldt



EDICIÓN  
**CAMBIO CLIMÁTICO**

VOLUMEN 4 - NÚMERO 1 - 2019 - PP. 141-149

Recibido: 28 de septiembre de 2018 -

Aprobado: 22 de febrero de 2019.

**María Claudia Vélez Crismatt**  
Ministerio de Relaciones Exteriores de Colombia  
maria.velez@cancilleria.gov.co

**Juan Sebastián Gómez Martínez**  
Ministerio de Relaciones Exteriores de Colombia  
juan.gomez@cancilleria.gov.co



REFLEXIÓN

---

## **Sinergias entre la Convención sobre Diversidad Biológica y la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el cambio climático desde una perspectiva de la agenda internacional**

Synergies between the Convention on Biological Diversity and United Nations

Framework Convention on Climate Change from an international agenda perspective

### **RESUMEN**

El siguiente documento presenta una revisión de las sinergias existentes entre los acuerdos multilaterales ambientales de cambio climático y el Convenio sobre Diversidad Biológica, demostrando cómo la Agenda 2030 se ha convertido en el eje articulador de las acciones para el desarrollo sostenible. Al final expone los retos existentes a la hora de materializar el trabajo conjunto entre los diferentes acuerdos multilaterales.

**Palabras clave:** Acuerdos multilaterales ambientales. Enfoques *top-down* & *bottom-up*. Gobernanza ambiental.

RESUMEN **ABSTRACT**

PALABRAS CLAVE

**ABSTRACT**

**KEY WORDS**

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

This document reviews the current synergies between multilateral environmental agreements of climate change and the Convention on Biological Diversity, reflecting on how the 2030 Agenda has become an articulating axis for sustainable development efforts. It concludes by highlighting some of the main challenges to materialize the joint action of multilateral agreements.

**Keywords:** Environmental governance. Multilateral environmental agreements. *Top-down & bottom-up* approaches.

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la agenda internacional se ha visto permeada por la aparición de temas ambientales que cada vez se tornan más relevantes para los Estados, la sociedad civil y las organizaciones internacionales. Asistimos, pues, a lo que algunos autores como Mayntz (2002) y Rodríguez (2005) denominan “globalización ecológica o ambiental”, respectivamente.

El segundo autor define la globalización como un proceso de interconexión e interdependencia en todos los aspectos de la vida contemporánea en el ámbito mundial, y reconoce que este proceso ha tenido manifestaciones tangibles en materia ambiental, entre ellos, el surgimiento del ambientalismo, las consecuencias ambientales del proceso de globalización económica y la identificación del ambiente como un bien público global. Asimismo, afirma que esta globalización ambiental surgió luego de tres hitos: i) la Conferencia de Naciones Unidas sobre la Conservación de los Recursos Naturales (1949); ii) la Conferencia de Estocolmo sobre Medio Ambiente Humano (1972), y iii) la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, más conocida como Cumbre de la Tierra (1992) (Rodríguez, 2005).

Por su parte, para Mayntz (2002) “la globalización implica una apertura potencial de todo tipo de transacciones económicas, culturales o políticas hacia todas las regiones del mundo y a todos los actores públicos y privados capaces de entrar en juego”, siendo la globalización ecológica uno de los seis aspectos característicos de este fenómeno. Este incluye (pero no se agota allí) la expansión de los problemas ambientales y todas las externalidades negativas que produce un Estado y causan impacto en los otros, a saber, el deterioro incremental de la capa de ozono, la emisiones de CO<sub>2</sub>, la extinción de algunas especies, entre otros.

Estos fenómenos limitan la capacidad de acción individual de los Estados y los obliga a actuar de manera colectiva frente a los problemas comunes. Y fue esto lo que sucedió en 1992, durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD), realizada en Río de Janeiro, cuando los Estados

acordaron, entre otros, abrir a firma, en 1992 dos instrumentos internacionales sobre el medio ambiente: la Convención sobre Diversidad Biológica, la Convención Marco sobre Cambio Climático, y en 1994, la Convención sobre Desertificación.

## DESARROLLO

### Soluciones desde el multilateralismo: convenciones de Río

La primera de ellas, la Convención sobre Diversidad Biológica, se convierte en el principal instrumento vinculante que vela por la conservación de la biodiversidad, el uso sostenible de la misma y la distribución justa y equitativa de los beneficios que se obtienen del uso de los recursos genéticos (Naciones Unidas, 1992b). Este tratado incluye todos los componentes de la biodiversidad: recursos genéticos, especies y ecosistemas, y los reconoce como elementos de valor incalculable que contribuyen efectivamente al desarrollo económico y social de la humanidad. (Naciones Unidas, 1992b).

Por su parte la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, y todos los instrumentos jurídicos conexos que adopte la Conferencia de las Partes, en calidad de máximo órgano decisorio, pretenden la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático (Artículo 2, Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, 1992). Si bien el reconocimiento de esta problemática tiene un enfoque científico, la convención reconoce sus interconexiones tanto con el medio ambiente como con el desarrollo, pues dispone que la estabilización debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, se asegure la producción de alimentos y se permita el desarrollo económico de una manera sostenible (Naciones Unidas, 1992a).

Es posible afirmar que la Convención de Cambio Climático tiene un espíritu de largo plazo, pues reconoce que las acciones a tomar son de transformación, para garantizar la seguridad de las generaciones futuras. No obstante, no establece una meta cuantitativa o específica con la que se pueda realizar efectivo seguimiento, ni con las que se pueda enfrentar la información de la implementación para identificar brechas y necesidades para lograr la estabilización mencionada.

Lo anterior lo soluciona el Acuerdo de París, concebido con el espíritu de mejorar la aplicación de la convención, en tanto establece metas medibles y verificables a largo plazo. El acuerdo pretende “mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de los 2 grados centígrados con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a los 1,5 grados centígrados con respecto a los niveles preindustriales” (Acuerdo de París, 2015).

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

**RESUMEN** Así mismo, se establecen metas para aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático, promover la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, y situar los flujos financieros en un nivel compatible con una trayectoria coherente con la resiliencia necesitada y un desarrollo bajo en emisiones (Artículo 2, Acuerdo de París, Naciones Unidas, 2015a).

**PALABRAS CLAVE**

**ABSTRACT**

**KEY WORDS**

**INTRODUCCIÓN**

**DESARROLLO**

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

**REFERENCIAS**

**SOBRE LOS AUTORES**

De esta manera, el Acuerdo de París logra fijar unas metas cuantitativas y vinculantes frente a las cuales se podrá medir y enfrentar las contribuciones de cada país, y así poder identificar el estado de implementación de acciones globales, compararlos frente a los objetivos, e identificar la brecha en esfuerzos realizados. Esto es especialmente importante, pues permitirá reconocer las necesidades mundiales frente al cambio climático y logrará que, cada vez más, los compromisos de los países sean más eficientes para lograr la estabilización del clima.

Igualmente, el Acuerdo de París establece la comunicación de las estrategias de desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero a largo plazo, específicamente a mediados de siglo (Decisión 1/CP21, 2015, Par 35). Estos instrumentos se convierten entonces, en el marco de referencia sobre el cual los países presentarán sus sucesivas contribuciones.

En el marco de la CBD, en su décima Conferencia de las Partes, los Estados adoptaron el Plan Estratégico de Biodiversidad 2011-2020, afirmando que era necesario “tomar medidas efectivas y urgentes para detener la pérdida de biodiversidad (...)” pero reconocieron que lograr cambios significativos en la situación de la biodiversidad era una tarea a largo plazo, por lo que se incluyó una visión a 2050: estableciendo que para esa fecha “la diversidad biológica se valora, conserva, restaura y utiliza en forma racional, manteniendo los servicios de los ecosistemas, sosteniendo un planeta sano y brindando beneficios esenciales para todos.” (Decisión X/2, 2010). Adicionalmente, los países signatarios acordaron el Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020, que se constituye como el principal marco de acción para la aplicación de los tres objetivos del convenio. Este plan incluye la Misión, Visión y un conjunto de 20 metas, conocidas como Metas Aichi, que permitirían a las Partes y otros actores la consecución de dicha visión.

Si bien es cierto que las Metas Aichi fueron planteadas para el 2020 (incluso algunas de ellas a 2015) es necesario mencionar que las Partes han venido trabajando para orientar la agenda de biodiversidad a más largo plazo, tal como lo menciona la Visión a 2050; asimismo, la Convención de Diversidad Biológica ha querido integrar su trabajo con otros marcos internacionales, como la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

Ahora bien, aunque cada convención tiene objetivos de largo plazo y pretende la transformación de su esfera de influencia temática, no se puede desconocer el propósito con el que se diseñaron, enmarcado en la Declaración de Río sobre el Medio

Ambiente y el Desarrollo, de proteger la integridad del sistema ambiental y de desarrollo mundial (Naciones Unidas, 1992c). Hoy en día, este propósito sigue vigente y se ha logrado materializar con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en especial porque se convierte en el punto de convergencia de las acciones que se implementen a nivel internacional, nacional y local y, por lo tanto, en una oportunidad para lograr una mayor coherencia y sinergia entre las convenciones.

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, adoptada por los jefes de Estado y de Gobierno a través de la Resolución 70/1 del 25 de septiembre de 2015, es el resultado de la decisión de la Conferencia de Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible (conocida como Río+20) celebrada en 2012. Tras un trabajo de varios años se establecieron entonces 17 objetivos y 169 metas, alineados a las tres dimensiones del desarrollo sostenible (económica, social y ambiental) (Resolución 70/1, 2015). Esta agenda define las prioridades y rige los esfuerzos en materia de desarrollo sostenible a nivel global hasta 2030. Una de las principales características de la agenda es su carácter interrelacionado e indivisible, pues permite avanzar hacia una mayor intersectorialidad de las políticas.

Respecto a las convenciones de Diversidad Biológica y Cambio Climático, la agenda tiene objetivos de desarrollo específicos: el 13, 14 y 15, que buscan fortalecer la resiliencia y capacidad de adaptación frente a los efectos adversos del cambio climático, incorporar las medidas relacionadas con cambio climático a las políticas nacionales y luchar contra la pérdida de biodiversidad, respectivamente (Objetivos de Desarrollo Sostenible, 2015). Adicional a esto, es importante resaltar que la agenda ha sido concebida como un instrumento integral e indivisible, es decir, las temáticas deben abordarse de manera complementaria y transversal para así cumplir con las metas que conjuntamente nos hemos trazado.

La Conferencia de las Partes de la Convención de Diversidad Biológica ha reconocido que la Agenda 2030 es quizás el proceso internacional más pertinente y ambicioso, por lo que ha promovido entre las Partes un enfoque colaborativo, en donde integren la biodiversidad en la implementación de todos los Objetivos de Desarrollo Sostenible, “fomentando así la vinculación entre los esfuerzos para implementar las estrategias y planes de acción nacionales en materia de biodiversidad y las estrategias y planes para los Objetivos de Desarrollo Sostenible” (Decisión XIII/3, 2016).

Asimismo, ha exhortado a las Partes a que “consideren la posibilidad de emplear un enfoque integrado para la consecución de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la implementación de las estrategias y planes de acción nacionales en materia de biodiversidad” (Decisión XIII/3, 2016).

Por su parte, y a pesar de que en el preámbulo del Acuerdo de París se acoge con satisfacción la Agenda 2030, no existen decisiones que insten a las partes de este acuerdo, ni de la Convención Marco, en la materia.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

RESUMEN **Principales retos**

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

Pese a los avances logrados, y a los esfuerzos de los Estados en el marco de estos dos instrumentos (CBD y CMNUCC), los resultados no han sido suficientes para hacer frente a los desafíos que enfrentamos: en la actualidad, la vida en el planeta es menos capaz de adaptarse a los cambios del clima debido a que estos están sucediendo con mayor rapidez. De acuerdo con el quinto reporte del Panel Intergubernamental de Expertos de Cambio Climático, el calentamiento en el sistema climático es inequívoco, y desde la década de 1950 muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2015). La atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido y el nivel del mar se ha elevado.

Según el panel, la influencia humana en el sistema climático es clara, y las emisiones antropogénicas recientes de gases de efecto invernadero son las más altas de la historia. El incremento gradual del cambio climático ha tenido impactos generalizados en los sistemas humanos y naturales (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2015). De esta manera, el relacionamiento entre los efectos adversos del cambio climático, producido por factores antropogénicos, y la pérdida de diversidad biológica y sus servicios ecosistémicos, es de carácter directo e inequívoco (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2015).

El cambio climático y la pérdida de biodiversidad son dos fenómenos que requieren de esfuerzos colectivos para ser abordados. Sin embargo, en ocasiones, durante las reuniones de las máximas instancias decisorias de las convenciones, las cuestiones científicas se ven opacadas por consideraciones políticas, que desatienden el llamado de los órganos técnicos y científicos que los mismos Estados han creado. Llama la atención que en las últimas reuniones de la COP (2017 y 2018) se haya empezado a cuestionar la validez del conocimiento producido por las plataformas científicas IPCC e IPBES; adicionalmente, por momentos existe la sensación de que la necesidad de “elevar la ambición” de las acciones es solo una necesidad discursiva que no corresponde con el desarrollo de las negociaciones y sus resultados, y que los esfuerzos de algunas delegaciones están enfocados en diluir la obligatoriedad de cualquier decisión a tomar.

Algo similar ocurre con las sinergias entre instrumentos que cada vez son más valoradas y a las que discursivamente se les da gran relevancia: a 25 años de las convenciones, aún no se ha logrado una articulación que satisfaga las necesidades identificadas de que estas fortalezcan sus sinergias y trabajen conjuntamente. Actualmente en las negociaciones de la CBD y en las decisiones adoptadas por la Conferencia de las Partes es recurrente encontrar referencias a los procesos relativos al cambio climático, tanto en la Convención Marco como en el Acuerdo de París,

y ante la necesidad de un trabajo conjunto; sin embargo, no ocurre lo mismo en el sentido contrario, y hasta la fecha no hay decisiones concretas que permitan afirmar que la COP de Cambio Climático quiera incluir disposiciones sobre biodiversidad en sus trabajos.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Identificadas las principales características de largo plazo de las Convenios de Diversidad Biológica y Cambio Climático, y reconociendo la Agenda 2030 de desarrollo sostenible como posible punto de convergencia entre las diferentes medidas adoptadas en relación con el desarrollo sostenible, nos queda identificar espacios concretos entre los cuales se debe trabajar para materializar las sinergias.

Esta es una cuestión abierta, que se convierte en una oportunidad para innovar y explorar medidas de trabajo. Existen interrogantes acerca de cuál debe ser el modelo adoptado, por ejemplo ¿el enfoque de las sinergias debe ser *top-down*? Es decir, empezar por un trabajo conjunto entre las convenciones, en el que se adopten decisiones para una posterior implementación a nivel nacional. ¿Qué implicaría esto?: ¿trabajo conjunto entre los órganos subsidiarios de cada convención?, ¿sesiones conjuntas?, ¿grupos de trabajo específicos para examinar el tema?

Se ha visto ya, cómo se han logrado dinámicas conjuntas entre diferentes convenciones como las respectivas a manejos de sustancias químicas: las convenciones de Basilea, Rotterdam y Estocolmo. Aunque el trabajo común tiene énfasis en la gestión administrativa, puede ser un ejemplo relevante sobre cómo avanzar.

O, si por el contrario, ¿el enfoque debe ser *bottom-up*?, desde una perspectiva local y nacional, en donde los países, de acuerdo a sus circunstancias nacionales, indiquen cuál sería la mejor forma de converger las dos temáticas. Hasta el día de hoy, hay varias buenas prácticas que permiten entender que esta opción es viable, como por ejemplo, la adaptación a los efectos adversos al cambio climático basada en ecosistemas, o la incorporación de medidas de protección de biodiversidad y sus servicios ecosistémicos en las Contribuciones Nacionalmente Determinadas de los países.

En cualquier caso, e independiente de cuál sea el enfoque, o si se necesita una aproximación híbrida entre lo *top-down* y lo *bottom-up*, es innegable que se requiere voluntad política para materializar las sinergias y los compromisos internacionales asumidos; asimismo, necesitamos más países líderes que trabajen por el desarrollo sostenible, que inspiren, impulsen y se comprometan con acciones concretas. Adicionalmente, será fundamental contar con el empoderamiento de la sociedad civil, donde cada vez más demanden a sus gobiernos compromisos claros hacia un verdadero desarrollo sostenible; y finalmente, será clave involucrar al sector privado, dejar de verlo como el causante de las desgracias ambientales y empezar a contar con ellos en las soluciones innovadoras de las que tanto se habla en el ámbito internacional.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

RESUMEN **REFERENCIAS**

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

- Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. (2015). *Decisión 1/CP21*. Bonn, Alemania.
- Convención sobre la Diversidad Biológica. (2010a). *Decisión X/2*. Montreal, Canadá.
- Convención sobre la Diversidad Biológica. (2010b). *Plan Estratégico 2011-2020: Metas Aichi*. Recuperado de <https://www.cbd.int/doc/strategic-plan/2011-2020/Aichi-Targets-ES.pdf>
- Convención sobre la Diversidad Biológica. (2016). *Decisión XIII/3*. Montreal, Canadá.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2015). *Cambio Climático 2014. Informe de síntesis*. Recuperado de [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM\\_es.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM_es.pdf)
- Mayntz, R. (2002). Los Estados nacionales y la gobernanza global. *Revista del CLAD. Reforma y Democracia*, 24, 1-8.
- Naciones Unidas. (1992<sup>a</sup>). *Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Nueva York.
- Naciones Unidas. (1992b). *Convención sobre la Diversidad Biológica*. Nueva York.
- Naciones Unidas. (1992c). *Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo*. Nueva York.
- Naciones Unidas. (2015a). *Acuerdo de París*. Nueva York.
- Naciones Unidas. (2015b). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Recuperado de <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Naciones Unidas. (2015c). *Resolución 70/1*. Nueva York.
- Rodríguez, M. (2005). Política exterior de Colombia en el ámbito global. *En Colombia y su política exterior en el siglo XXI*. Pp. 145-213. Bogotá, Colombia: CEREC.

## SOBRE LOS AUTORES

### María Claudia Vélez Crismatt

Es funcionaria adscrita a la carrera diplomática de Colombia desde el 2016. Politóloga de la Universidad EAFIT. Es asesora para temas de biodiversidad y ha participado en la delegación colombiana de diferentes tratados multilaterales ambientales: Convención sobre Diversidad Biológica, Convención sobre el Comercio de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre, Convención Ramsar sobre Humedales de Importancia Internacional, y la negociación de un Nuevo Instrumento Jurídicamente Vinculante Sobre Biodiversidad más Allá de la Jurisdicción Nacional.

### Juan Sebastián Gómez Martínez

Es funcionario adscrito a la carrera diplomática de Colombia desde el 2015. Profesional en Gobierno y relaciones internacionales de la universidad Externado de Colombia. Estuvo involucrado en la formulación y ejecución de la posición colombiana en los diferentes espacios de negociación multilateral sobre cambio climático.

Hizo parte de la delegación colombiana que asumió la presidencia *pro tempore* de AILAC durante la COP24 de diciembre de 2018, en la cual se adoptó el paquete de Katowice, en el cual se establecen las reglas para la implementación del Acuerdo de París sobre cambio climático.

#### Citación sugerida

Velez-Crismatt, M. C. y Gómez-Martínez, J. S. (2019). Sinergias entre la Convención sobre Diversidad Biológica y la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el cambio climático desde una perspectiva de la agenda internacional. *Biodiversidad en la Práctica*, 4(1), 141-149.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

**SOBRE LOS AUTORES**

# Biodiversidad EN LA PRÁCTICA

Documentos de trabajo del Instituto Humboldt

VOLUMEN 4 - NÚMERO 1 - 2019 - PP. 150-172

Recibido: 18 de febrero de 2019 -

Aprobado: 02 de abril de 2019.

Luis Daniel Llambí  
Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas  
Universidad de los Andes, Venezuela  
ldllambi@gmail.com

María Teresa Becerra  
Independiente  
mtbecerra@gmail.com

Manuel Peralvo  
Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecoregión  
Andina  
manuel.peralvo@condesan.org

Andrés Avella  
Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von  
Humboldt  
eavella@humboldt.org.co

Martín Baruffol  
Royal Botanical Gardens, Kew  
Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von  
Humboldt  
martin.baruffol@gmail.com

Liz Johanna Díaz  
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales  
(Ideam)  
ljdiaz@ideam.gov.co



METODOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS

## Construcción de una Estrategia para el Monitoreo Integrado de los Ecosistemas de Alta Montaña en Colombia

Building a Strategy for the Integrated Monitoring of High Mountain Ecosystems in Colombia

### RESUMEN

Se presenta una síntesis de la propuesta para una estrategia de monitoreo integrado de los ecosistemas de alta montaña en Colombia, formulada a través de un proceso de discusión y consulta con la participación de múltiples actores con experiencia en el monitoreo de ecosistemas altoandinos del país. La propuesta parte de la necesidad de contar con sistemas integrados de monitoreo con un enfoque de manejo adaptativo, que permitan evaluar el impacto de los cambios en el contexto político-económico y el cambio global sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, y que aporten insumos para la planificación territorial, la adaptación al cambio climático y la restauración ecológica. Se priorizan los ecosistemas

altoandinos de Colombia ya que incluyen ecosistemas estratégicos como los páramos y glaciares y constituyen un *hotspot* global de biodiversidad, proveyendo servicios ecosistémicos clave como la regulación de la oferta hídrica para una creciente población rural y urbana. Adicionalmente presentan una alta exposición y vulnerabilidad frente al cambio climático. Existe un número importante de experiencias de monitoreo a nivel nacional y en la zona altoandina de Colombia, incluyendo esquemas de seguimiento de biomasa y carbono, diversidad taxonómica y funcional, clima, dinámica hídrica y glaciares, así como cambios en el uso de la tierra y las dinámicas socioambientales. Tomando como base esta experiencia, se discuten los retos que plantea su articulación en un sistema integrado y se presenta la síntesis de un modelo conceptual multiescalar de los principales procesos generadores de cambio y las principales variables respuestas que pudieran ser objeto de monitoreo, desde el ámbito nacional hasta el nivel de ecosistemas o parcelas. Finalmente, se presentan los principales productos esperados de la implementación de la estrategia, un esquema de organización institucional y los próximos pasos que consideramos necesarios para promover su consolidación.

**Palabras clave:** Biodiversidad. Bosque altoandino. Páramos. Servicios ecosistémicos. Uso de la tierra.

## ABSTRACT

We present a synthesis of a proposal for integrated monitoring of high Andean ecosystems in Colombia, formulated through a process of discussion and consultation with multiple stakeholders with experience in monitoring mountain ecosystems in the country. The proposal takes as point of departure the need for developing integrated monitoring systems, with an adaptive management approach that allows evaluation of impacts of changes in socio-economic contexts and the effects of global change on biodiversity and ecosystem services. Also, this approach provides relevant information for territorial planning, climate change adaptation and ecological restoration. We prioritize high Andean ecosystems in Colombia because they include strategic ecosystems such as paramos, wetlands and glaciers, are global biodiversity hotspots, provide key ecosystem services including regulation of water provision for a growing rural and urban population, and exhibit a high vulnerability to climate change. There are numerous monitoring schemes at a national level and in the Andean region of Colombia, including initiatives that monitor biomass and carbon, taxonomic and functional diversity, climate, hydrology and glacier dynamics, as well as studies on land-use and socio-economic dynamics. Considering this accumulated experience, we discuss the challenges for their assimilation into an integrated system and propose a multiscale conceptual model of the main drivers of change and the response variables that could be monitored, from the national to the ecosystem/plot scale. Finally, we present the main expected products of the strategy, a possible institutional framework and the next steps that we consider are necessary for promoting its consolidation.

**Keywords:** Biodiversity. Ecosystem services. Land-use. Mountain forests. Paramos.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

METODOLOGÍA

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

RESUMEN **INTRODUCCIÓN**

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

**INTRODUCCIÓN**

METODOLOGÍA

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

Los ecosistemas de bosques altoandinos y páramos de Colombia enfrentan fuertes presiones producto de la interacción de los efectos del cambio climático y la transformación del uso de la tierra, en escenarios políticos dinámicos que incluyen la reestructuración de las dinámicas socioambientales producto de la globalización y el postconflicto (Sarmiento *et al.*, 2017; Sierra *et al.*, 2017). Para enfrentar estos retos es esencial contar con información a diferentes escalas espaciotemporales, que permitan evaluar la respuesta de estos ecosistemas ante procesos de cambio global y mejorar el conocimiento sobre las dinámicas de las comunidades biológicas, sus interacciones y los determinantes de la provisión de servicios ecosistémicos.

Bajo el liderazgo del Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y las instituciones del Sistema Nacional Ambiental (Sina), se ha venido planteando la formulación de un Programa Nacional de Monitoreo de Ecosistemas. Este programa está orientado a ofrecer lineamientos que orienten y que potencialicen las iniciativas de monitoreo y seguimiento de los ecosistemas en el país. De esta manera, su implementación ofrecería un marco para generar y gestionar eficientemente información de sistemas de monitoreo de base científica que permita entender el estado de los ecosistemas y sus servicios, analizar las tendencias de cambio y orientar las acciones que se requieren para su conservación y uso sostenible. Así, el Programa Nacional de Monitoreo tiene la potencialidad de ser la base para la toma de decisiones sobre el uso y conservación de los ecosistemas de Colombia.

Existen en el país varias experiencias de monitoreo y seguimiento ambiental de largo plazo promovidas desde instituciones públicas, académicas y de la sociedad civil (Sierra *et al.*, 2017; Vallejo y Gómez, 2017). Conocer y entender los procesos que se desarrollan, los protocolos metodológicos que implementan, los actores involucrados y el tipo de reportes que generan es la base para proponer procesos integrados de monitoreo de ecosistemas que contribuyan a generar y articular iniciativas de orden regional y nacional. Particularmente, en los Andes colombianos existen varias plataformas de monitoreo de biodiversidad, carbono, hidrología, glaciares y uso del suelo (ver detalles en la sección de antecedentes), que pueden ser la base para proponer un esquema de monitoreo integrado de ecosistemas, conocer los vacíos de información y orientar procesos de trabajo articulado entre la academia, los institutos de investigación, la sociedad civil y las comunidades involucradas.

El presente documento presenta una síntesis del proceso de construcción de la propuesta de una Estrategia de Monitoreo Integrado de los Ecosistemas de Alta Montaña de Colombia (EMA), con el ánimo de contribuir al Programa Nacional de Monitoreo de Ecosistemas, analizar los mecanismos necesarios para articular procesos de monitoreo existentes e identificar vacíos de información. Se espera que la implementación de la propuesta pueda servir de modelo a replicar para promover el monitoreo integrado de otros ecosistemas del país.

## 1.1. Monitoreo integrado de la biodiversidad y servicios ecosistémicos

Existe un creciente consenso de que la pérdida de la biodiversidad tiene efectos significativos sobre los servicios que prestan los ecosistemas y sobre el bienestar humano (Isbell *et al.*, 2017). Esto se debe a la estrecha relación existente entre la biodiversidad y la productividad ecosistémica, la eficiencia en el uso de los recursos y la resiliencia frente a transformaciones (Tilman *et al.*, 2014). Sin embargo, es común que los sistemas de monitoreo evalúen la biodiversidad y procesos como la regulación hídrica o la acumulación de carbono en la biomasa de forma independiente. Así, surge la necesidad de contar con sistemas integrados con un enfoque de manejo adaptativo, que permitan evaluar el impacto de los cambios globales sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos y que aporten insumos para la planificación territorial, la adaptación al cambio climático y la restauración ecológica (Nichols y Williams, 2006; Lindenmayer *et al.*, 2013; Díaz *et al.*, 2015; Vallejo y Gómez, 2017).

El monitoreo de largo plazo puede ser definido como la medición repetida de un conjunto de variables y procesos de cambio a múltiples escalas espaciales, durante un periodo extendido de tiempo (al menos cinco años), de acuerdo a un marco conceptual integrado y una serie de protocolos estandarizados de medición (Vos *et al.*, 2000; Lindemeyer y Likens, 2010; Figura 1). La ventaja de contar con un sistema integrado de monitoreo radica en la diversidad de funciones que puede cumplir, incluyendo:

- Evaluar el impacto de cambios en el contexto político y económico (por ej. cambios en escenarios de postconflicto), la efectividad de las políticas de ordenación del territorio y los Planes de Desarrollo con Enfoque Territorial (PDET). Un aspecto clave es la generación de información que permita dar seguimiento al estado de conservación y gestión sostenible de las zonas de alta montaña en el contexto de la Ley 1930 del 2018 que norma la gestión integral de los páramos y el proceso de zonificación de los mismos (ver también IAvH, 2016).
- Evaluar la efectividad de estrategias de adaptación al cambio climático y aportar información para el diseño de incentivos económicos para la conservación.
- Evaluar la efectividad y orientar la implementación de estrategias manejo, reconversión productiva sostenible y restauración ecológica (por ej. Plan Nacional de Restauración).
- Proveer alertas tempranas sobre los efectos del cambio climático y del uso de la tierra.
- Generar espacios para el trabajo articulado interinstitucional, para la participación ciudadana en el monitoreo y el manejo adaptativo de los ecosistemas, además de aportar enfoques e información novedosa para la educación ambiental y la valoración de los ecosistemas altoandinos de Colombia.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

METODOLOGÍA

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

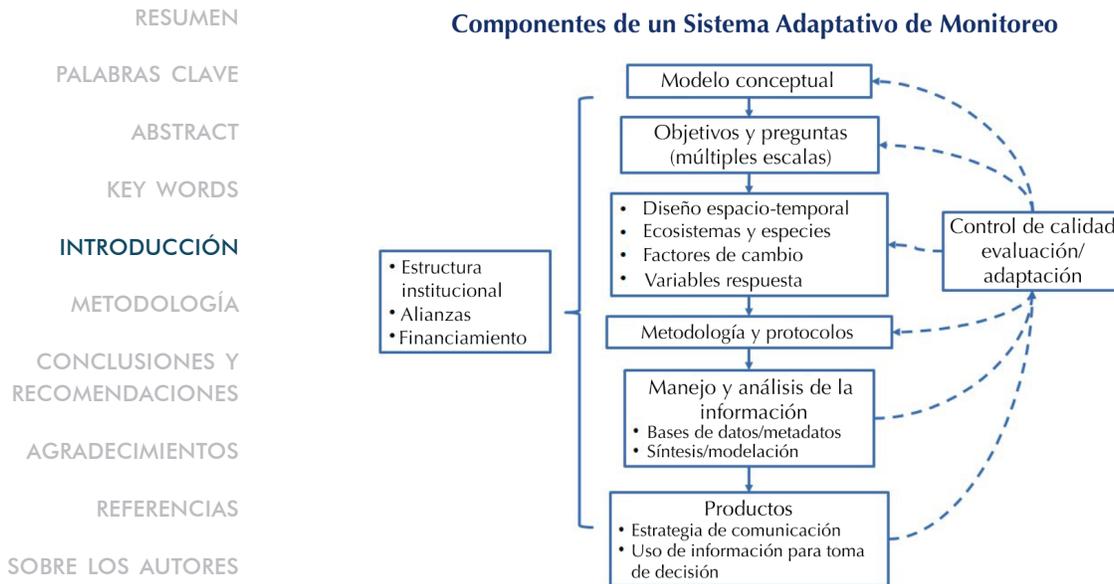


Figura 1. Componentes claves de un sistema integral de monitoreo para el manejo adaptativo de los ecosistemas a múltiples escalas (Adaptado de: Lindenmayer *et al.*, 2010).

## 1.2. ¿Por qué monitorear los ecosistemas altoandinos de Colombia?

La zona de alta montaña en Colombia comprende una marcada heterogeneidad de condiciones ambientales, a lo largo de complejos gradientes de variación que son producto de la elevación y la presencia de varios sistemas montañosos con regímenes climáticos, geología, suelos e historias de uso humano muy diferentes (Sarmiento y León, 2015). A escala 1:100.000, los ecosistemas incluidos en la zona de alta montaña (sobre los 2800 m de elevación) cubren en el país una superficie de 4.125.500 ha, equivalentes al 3,6 % del territorio continental y 11,5 % de la región Andina de Colombia, de las cuales aproximadamente 2.900.000 ha corresponden a páramos (Sarmiento *et al.*, 2017; Figura 2).

Los ecosistemas de bosques altoandinos y páramos de Colombia son escenarios muy dinámicos como resultado de los cambios en las estrategias de uso de la tierra, en contextos políticos que incluyen la reestructuración de las dinámicas socioambientales vinculadas con procesos como la globalización, el postconflicto y la delimitación legal de los páramos (Morales y Armenteras, 2013; Sierra *et al.*, 2017; Sarmiento *et al.*, 2017). A su vez, se considera que los territorios de la alta montaña están entre los más expuestos y vulnerables a los efectos del cambio climático (Castaño-Uribe, 2002; Hofstede *et al.*, 2014; Duque *et al.*, 2015). Así, entre las razones más importantes para establecer como foco de una estrategia de monitoreo integrado a los ecosistemas altoandinos de Colombia están:

- Incluir ecosistemas estratégicos para el país (páramos, humedales, glaciares).
- Ser parte del mayor punto caliente global de biodiversidad, los Andes tropicales.
- Proveer servicios ecosistémicos claves incluyendo la regulación de la oferta hídrica para una creciente población y una importante acumulación de carbono en su biomasa y suelos.
- Estar ubicados en la región de mayor concentración de población en el país, con una larga historia de ocupación.
- Presentar una alta vulnerabilidad y exposición frente al cambio climático.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

METODOLOGÍA

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

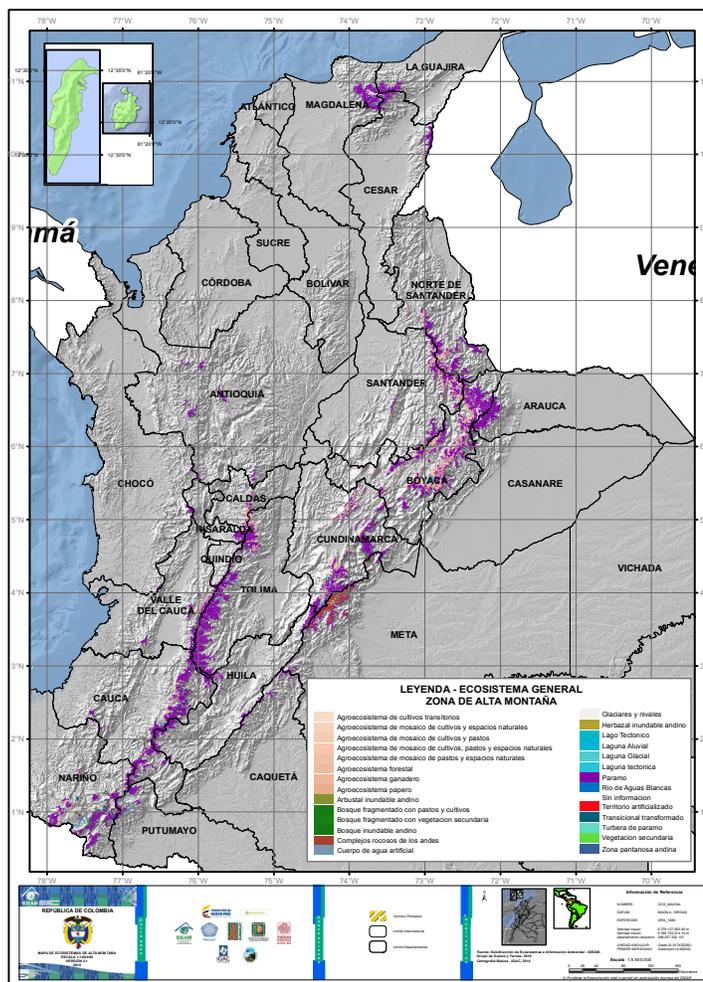


Figura 2. Ecosistemas generales incluidos en la zona de alta montaña (sobre los 2800 m s. n. m.). Fuente: Mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia (MEC), escala 1:100.000 (Ideam et al., 2017).

RESUMEN **METODOLOGÍA**

PALABRAS CLAVE

**El proceso de construcción de la propuesta**

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

**METODOLOGÍA**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

La construcción de la propuesta para una Estrategia de Monitoreo Integrado de los Ecosistemas de Alta Montaña de Colombia (EMA) partió de la contribución de múltiples actores con experiencia en el monitoreo de ecosistemas altoandinos del país. El proceso, dirigido a establecer un modelo conceptual y de articulación de actores, se basó en la identificación de las iniciativas de monitoreo existentes, así como en los principales vacíos de información y retos para la consolidación de un sistema integrado de monitoreo, y siguió los siguientes pasos:

- Recopilación, revisión y sistematización de documentos técnicos, literatura científica, mapas y revisiones ya existentes (incluyendo la generación de un repositorio de documentación).
- Realización de una encuesta electrónica dirigida a actores con experiencia en el diseño y/o implementación de programas de monitoreo y seguimiento ambiental en ecosistemas altoandinos de Colombia. Los resultados de las encuestas se sistematizaron en un catálogo de 12 experiencias de monitoreo en que se señalan objetivos de cada programa, objetos y variables monitoreados, diseño del sistema de medición y aspectos sobre el manejo de datos, mantenimiento y arreglo institucional de los sistemas.
- Entrevistas semiestructuradas a 26 actores con experiencia en programas de monitoreo, en las que se profundizan aspectos documentados en la encuesta electrónica así como temas transversales para la articulación de un sistema integrado, incluyendo las posibles estrategias necesarias para garantizar su sostenibilidad.
- Realización del taller *Diversidad y funcionamiento de ecosistemas Andinos de Colombia en escenarios de cambio ambiental: Hacia un sistema integrado de monitoreo* (en julio de 2018, liderado por el Ideam). El evento contó con la participación de más de 70 personas pertenecientes a diferentes instituciones del Sina, instituciones académicas y representantes de diversas organizaciones de la sociedad civil. El punto de partida fue la presentación de una primera versión de la propuesta de monitoreo integral y de las redes de monitoreo que coordina el Consorcio para el Desarrollo de la Ecorregión Andina (Condesan) a lo largo de los Andes de Sudamérica. El trabajo sobre los componentes de esta propuesta de monitoreo estuvo estructurado en torno a paneles de expertos temáticos (biodiversidad, biomasa y carbono, clima e hidrología, uso de la tierra, políticas y conservación), en la modalidad de conversatorio y mesas de trabajo, que abordaron diferentes temas transversales para la construcción efectiva de la propuesta de monitoreo (preguntas clave, vacíos temáticos y espaciales existentes, sostenibilidad, arreglos institucionales; más detalles en las memorias del taller en Llambí, 2018).

## La Propuesta de Monitoreo Integrado de Ecosistemas Altoandinos

### Antecedentes de Monitoreo en Ecosistemas de Alta Montaña

A nivel internacional existen varias plataformas de monitoreo integral dedicadas a ecosistemas de montaña. Algunas de las más importantes incluyen la Red Internacional de Investigación Ecológica de Largo Plazo (ILTER), el Servicio Mundial de Monitoreo de Glaciares (WGMS), la Red Global de Observatorios de Montaña (GNOMO) y redes sudamericanas en las que Colombia participa activamente, como la Red de Bosques Andinos y la Red Gloria-Andes de monitoreo de la vegetación en cumbres.

A nivel nacional existen también varias redes de seguimiento de largo plazo incluyendo el Sistema Nacional de Indicadores Ambientales, el Sistema de Información de la Biodiversidad, la Red de Estaciones Hidrometeorológicas, el Inventario Forestal Nacional y el Plan de Investigación y Monitoreo del Sistema Nacional de Áreas Protegidas. Por otro lado, la investigación ambiental en los ecosistemas de alta montaña tiene una larga tradición en el caso de Colombia (Rangel-Churio, 2000; van der Hammen, 2002). Esta investigación ha sido acompañada por el desarrollo de protocolos y experiencias de monitoreo y un seguimiento ambiental de largo plazo, todo esto promovido desde instituciones públicas, académicas y de la sociedad civil, abordando los siguientes aspectos (para más detalles, ver la versión de la propuesta en Ideam *et al.*, 2018):

- **Diversidad específica y funcional de flora y fauna:** ha involucrado el establecimiento de parcelas permanentes de monitoreo de biodiversidad, incluyendo la diversidad funcional y filogenética. Algunos ejemplos incluyen el seguimiento de la sucesión primaria en zonas de colonización periglacial (Nevado de Santa Isabel, Cuellar, 2017) y en cumbres altoandinas (Cocuy, Gloria-Andes, Cuesta *et al.*, 2017), así como iniciativas a lo largo de gradientes altitudinales en el Santuario de Flora y Fauna de Iguaque, en bosques de niebla en Antioquia y otras regiones del país y en bosques altoandinos de robles (por ej. Duque *et al.*, 2015; Quintero *et al.*, 2017; Avella *et al.*, 2017).
- **Biomasa vegetal y ciclo del carbono:** además del establecimiento de parcelas permanentes del Inventario Forestal Nacional (que incluye más de 97 localidades Andinas, Ideam, 2017) y de las iniciativas mencionadas en el punto anterior, se han realizado avances importantes en el estudio de la dinámica de la biomasa y carbono en los suelos de alta montaña con el establecimiento de parcelas de seguimiento a lo largo de gradientes de elevación en base a protocolos detallados estandarizados (Rueda *et al.*, 2015; Ideam-Igac, 2018).

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

METODOLOGÍA

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

- RESUMEN
- PALABRAS CLAVE
- ABSTRACT
- KEY WORDS
- INTRODUCCIÓN
- METODOLOGÍA
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- AGRADECIMIENTOS
- REFERENCIAS
- SOBRE LOS AUTORES
- **Clima, dinámica hídrica y glaciares:** en el contexto del Proyecto Páramo (Unión Europea, 2014-2018), el Instituto Humboldt y el Ideam han desarrollado un protocolo detallado para orientar el monitoreo hidrológico en páramos del país a múltiples escalas (García-Herrán, 2018). El Ideam también lidera un programa sistemático de monitoreo de la dinámica de cobertura y balance de masa de los glaciares de Colombia (ver Ceballos *et al.*, 2012; Rabatel *et al.*, 2017). Un ejemplo interesante de la aplicación de un enfoque ecohidrológico que integra a su vez una perspectiva socioecológica para el monitoreo de ecosistemas de alta montaña es el del Observatorio Poleka Kasue (ver Ruíz-Carrascal, 2016).
  - **Uso de la tierra y gobernanza ambiental:** en el caso de los bosques andinos y altoandinos, varios autores han realizado análisis multitemporales de los cambios en la cobertura de ecosistemas y los procesos de transformación a escala nacional (ver, por ej. Etter *et al.*, 2006; Etter *et al.*, 2008; Armenteras *et al.*, 2011; Morales y Armenteras, 2013). Vale la pena resaltar la iniciativa del Observatorio de Bosques Andinos de Antioquía (OBA), cuyo objetivo es caracterizar el estado de salud de los ecosistemas de bosque andino y sus tendencias de cambio (Quintero *et al.*, 2017). En el caso de los páramos, el proyecto Insumos para la Delimitación de Ecosistemas Estratégicos. Páramos y Humedales (Instituto Humboldt, Fondo de Adaptación), incluyó un análisis detallado de las coberturas de ecosistemas y procesos de transformación (a escala 1:25.000) y su relación con la dinámica socioambiental en 21 de los 36 complejos de páramo (ver IAvH, 2016; Sarmiento *et al.*, 2017).
  - **Monitoreo de especies claves de flora y fauna:** en el contexto de la alta montaña colombiana, dos programas emblemáticos de monitoreo de especies clave son el de seguimiento poblacional y fitosanitario de especies de frailejones y el programa de largo plazo de seguimiento del oso andino (Marquez *et al.*, 2017; Medina *et al.*, 2009; Salinas *et al.*, 2013).

### Retos identificados por los actores consultados

En el marco de las entrevistas y los resultados del taller *Diversidad y Funcionamiento de Ecosistemas Andinos de Colombia en Escenarios de Cambio Ambiental*, se evidenció la necesidad de definir preguntas acordes con las realidades actuales del país, que se formulen conjuntamente entre los usuarios, generadores y gestores de la información. Durante el proceso de formulación de la EMA se enfatizó en la importancia de entender no solo las dinámicas de los ecosistemas naturales (por ej. en la zona de transición bosque-páramo) sino los procesos de cambio de uso de la tierra y los procesos asociados a ecosistemas transformados, de manera que se promueva una visión integral de los ecosistemas de la alta montaña en Colombia y se haga posible el seguimiento de los impactos de las políticas públicas en la conservación de estos ecosistemas. Igualmente, se planteó la necesidad de integrar el análisis de las dimensiones biológicas y sociales, así como el monitoreo de las estrategias de restauración

ecológica. También se discutió la importancia de integrar en los sistemas de monitoreo, a escala regional y de parcelas, el estudio de aspectos clave como la diversidad funcional de las comunidades biológicas, su relación con los servicios ecosistémicos y su respuesta al cambio climático, las propiedades biofísicas del suelo y su relación con la dinámica hídrica y de almacenamiento de agua y carbono, además de otros procesos asociados a las dinámicas hidrológicas (infiltración, escorrentía superficial, ecofisiología de especies dominantes).

Una de las conclusiones principales es que la implementación de la EMA requiere la identificación de los principales vacíos temáticos de los esquemas existentes. Los participantes en el taller y los entrevistados resaltaron la necesidad de identificar vacíos en la instrumentación asociada a temas hidrometeorológicos, la representatividad de los sitios de monitoreo de biodiversidad, el análisis de las dinámicas sociales y locales asociadas a los cambios del uso del suelo y la necesidad de promover procesos experimentales y de modelación como ejercicios piloto. Aunque es factible abordar de manera integral temas de agua, biodiversidad y carbono, es necesario evaluar otros componentes asociados a la paleoecología, productividad del ecosistema, especies invasoras, entre otras que pueden bien ser asociadas a parcelas de monitoreo existentes.

Con respecto a la representatividad, se identificó la necesidad de abordar los vacíos de información en ecosistemas de alta montaña –en la cordillera Occidental, la zona sur de Colombia en la frontera con el Ecuador, al norte en la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía del Perijá–, así como la falta de información comparable sobre áreas transformadas. Se evidenció la necesidad de realizar investigación a lo largo de gradientes de transformación y de la zona de transición bosque-páramo, e igualmente el llenar vacíos de información en términos del estudio de la variabilidad climática, regiones biogeográficas y su estado de conservación, tipos de suelos y geoformas y cómo esto impacta la provisión de servicios ecosistémicos. En relación con las escalas espaciales de análisis, se enfatizó en la necesidad de contar con un esquema de monitoreo multiescalar, que fortalezca los sitios de monitoreo a escala local y permita incluir a los actores locales y a las comunidades, agregando variables de interés de monitoreo que aborden lo local, lo regional y lo nacional.

Algunas estrategias señaladas por los expertos consultados para promover la participación de múltiples actores incluyen generar programas con las escuelas (por ej. cajas de monitoreo), el uso de estrategias de mapeo participativo y ordenación participativa del territorio. Existe consenso en que los institutos de investigación del Sina son los llamados a generar las plataformas a nivel nacional para integrar la información generada por los diferentes actores que están en el territorio, ya que deben ser un puente entre la toma de decisión y los procesos de investigación en monitoreo. Para ello es necesario fortalecer el diálogo y trabajo conjunto entre institutos, la academia, los formuladores de políticas sectoriales y los actores sociales.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

METODOLOGÍA

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

RESUMEN	Uno de los retos fundamentales identificados es la sostenibilidad del sistema de monitoreo en el tiempo (ver Lindenmayer <i>et al.</i> , 2010). El fortalecimiento y la articulación entre sistemas de monitoreo existentes es el primer paso para favorecer la sostenibilidad de un sistema de monitoreo que construya sobre la información disponible. Esto implica contar con un marco institucional claro, soportado sobre protocolos detallados, acuerdos explícitos para la implementación de estos protocolos y mecanismos para difundir los resultados. Es fundamental consolidar sitios de aprendizaje en los que se involucren instituciones locales y regionales comprometidas, que permitan ir ampliando las temáticas abordadas e incorporando dimensiones de gobernanza y planificación territorial. Sobre la sostenibilidad, también es determinante la búsqueda de financiamiento y la participación en procesos de orden nacional e internacional. Un posible arreglo institucional propuesto por los actores consultados fue la consolidación de Observatorios de Alta Montaña a nivel regional y nacional, que permitan articular las redes regionales y promover el diálogo entre generadores y usuarios de la información, de manera que trabajen conjuntamente en el posicionamiento de estas estructuras como base para los procesos de toma de decisiones.
PALABRAS CLAVE	
ABSTRACT	
KEY WORDS	
INTRODUCCIÓN	
METODOLOGÍA	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
AGRADECIMIENTOS	
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	

Un factor clave que puede contribuir a la sostenibilidad de la propuesta de monitoreo es su relacionamiento con redes internacionales con sitios de trabajo en Colombia, como la Red Global de Observatorios de Alta Montaña (GNOMO) y el trabajo de monitoreo a escala regional andina (por ej. Gloria, Red de Bosques, iniciativas de Acción por las Montañas). Estos modelos pueden aportar lecciones aprendidas y protocolos para orientar el funcionamiento de redes nacionales y constituir plataformas para dar visibilidad a los esfuerzos (ver por ej. Ruiz-Carrascal, 2016; Cuesta *et al.*, 2017; Mathez-Stiefel *et al.*, 2017).

Por último, es importante que el programa de monitoreo integrado incluya el desarrollo de espacios de encuentro de diferentes actores en torno a ecosistemas de alta montaña en los que se compartan las experiencias, se reporten periódicamente los resultados del monitoreo y se consoliden los procesos locales y regionales.

### Objetivos de la propuesta

Partiendo de las iniciativas existentes identificadas, y de los aportes de los diferentes actores consultados, se proponen como objetivos de la EMA:

- Evaluar el estado actual y tendencias de cambio de variables e indicadores vinculados con la biodiversidad, funcionamiento y servicios ecosistémicos de los ecosistemas altoandinos de Colombia.
- Relacionar estos cambios con los principales factores moduladores de los procesos de transformación que operan a diferentes escalas espaciotemporales, incluyendo el cambio climático y las dinámicas demográficas, socioeconómicas y de uso de la tierra.

- Generar información para evaluar la efectividad de las principales estrategias, políticas ambientales y esquemas de gobernanza territorial y orientar los procesos de toma de decisión a diferentes escalas.

### Modelo conceptual e integración de escalas

El modelo conceptual propuesto pretende generar un marco general para el análisis de los procesos de transformación de los ecosistemas de alta montaña en Colombia y sus efectos sobre la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y el bienestar humano a diferentes escalas, desde el ámbito nacional hasta el nivel de paisajes (regional) y parcelas (local). Para las diferentes escalas se proponen los principales factores o motores de cambio y las principales variables respuesta que pudieran ser objeto de monitoreo (ver detalles en Ideam *et al.*, 2018, Figura 3).

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

METODOLOGÍA

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

### Escalas espaciales de análisis

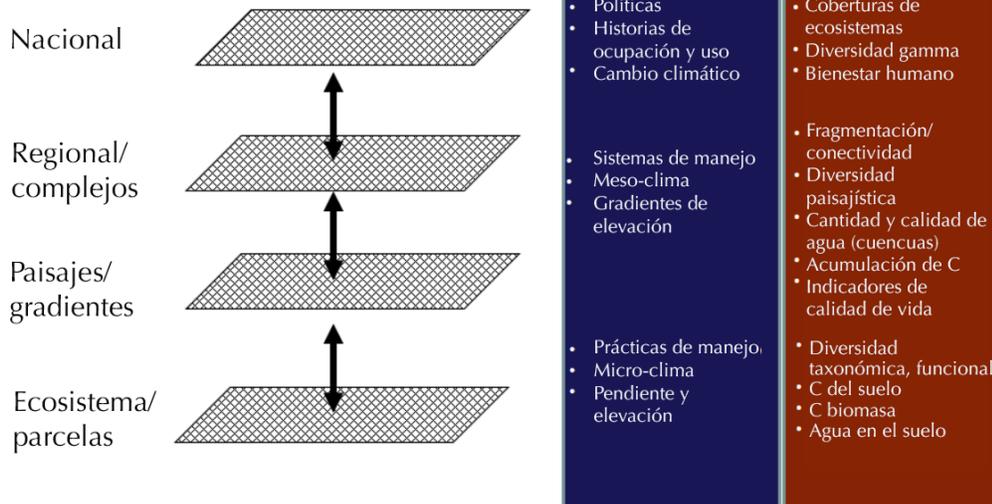


Figura 3. Escalas espaciales de análisis, principales factores de cambio y algunas de las principales variables respuesta consideradas a cada escala. Fuente: elaboración propia.

Un aspecto central es entender las relaciones dinámicas que generan vínculos entre las escalas de análisis, de “arriba hacia abajo” y de “abajo hacia arriba” (Turner *et al.*, 2001; Llambí y Llambí, 2000; Figura 4). Por un lado, los procesos que operan a escalas más amplias pueden funcionar como determinantes o condiciones de contexto que modifican las respuestas a escalas más locales.

RESUMEN  
 PALABRAS CLAVE  
 ABSTRACT  
 KEY WORDS  
 INTRODUCCIÓN  
 METODOLOGÍA  
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES  
 AGRADECIMIENTOS  
 REFERENCIAS  
 SOBRE LOS AUTORES

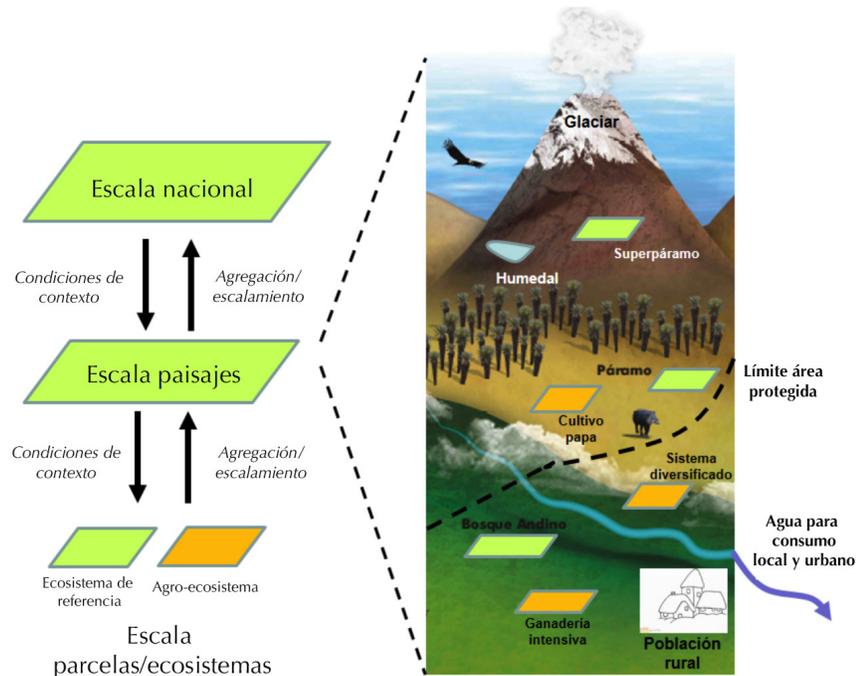
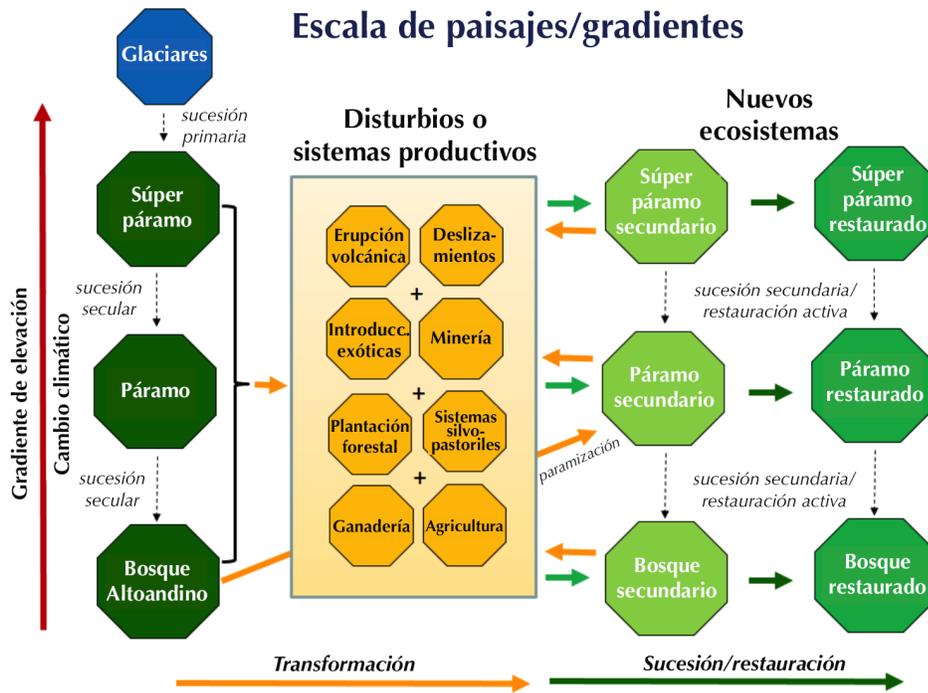


Figura 4. Relaciones entre las diferentes escalas de análisis. Se incluyen aspectos a considerar para contar con una visión más integral de las zonas de alta montaña. Las condiciones a escalas superiores establecen el contexto para los cambios a escalas inferiores (de arriba hacia abajo). A su vez, las condiciones a escalas inferiores pueden ser agregadas a través de procesos de escalamiento (de abajo hacia arriba). Fuente: elaboración propia.

Se deben considerar los retos generados por la heterogeneidad espacial en el escalamiento a escala de paisajes/regional de las mediciones realizadas a nivel de parcela (por ej. mediciones de biodiversidad, biomasa o carbono en suelos). Para enfrentar estos retos, se propone enfatizar en el análisis de los paisajes en la alta montaña, integrando la información generada en parcelas permanentes y estaciones de monitoreo (clima, ecohidrología) a lo largo de gradientes altitudinales y de uso-transformación-restauración (Figura 5).

El estudio integrado de la biodiversidad y procesos ecosistémicos en parcelas con diferentes regímenes de uso/sucesión podría permitir el seguimiento de las dinámicas de estos atributos, que pueden seguir trayectorias no lineales (Figura 6). Por ejemplo, es posible que no sea necesaria la recuperación total de la diversidad de especies para que se recuperen procesos del ecosistema como la acumulación de biomasa (debido a la redundancia funcional entre las especies). A su vez, es importante considerar el efecto de estas trayectorias alternativas sobre el bienestar y la calidad de vida de la población a escala regional.



RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

METODOLOGÍA

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

Figura 5. Principales ecosistemas altoandinos y sistemas de remplazo a lo largo de gradientes de elevación y gradientes de transformación/sucesión. Las flechas punteadas indican procesos de cambio vinculados al cambio climático y el desplazamiento de los ecosistemas a lo largo del gradiente de elevación (por ej. remplazo de páramos por bosques altoandinos o fitocolonización en áreas de retroceso glaciar). Las líneas naranjas indican disturbios o procesos de cambio generados por diversos sistemas de manejo. Las líneas verdes señalan procesos de sucesión/regeneración natural o asistida. Fuente: elaboración propia.

Desde el punto de vista metodológico, las trayectorias de regeneración/sucesión pueden ser estudiadas a través del uso de enfoques: i) Sincrónicos, comparando simultáneamente parcelas con diferentes historias de uso –lo que requiere el uso de replicación extensiva debido a la heterogeneidad espacial típica en áreas de alta montaña–; ii) Diacrónicos, usando parcelas permanentes que se monitorean a largo plazo –lo que requiere de períodos largos de observación–. Un aspecto a considerar es la sensibilidad de las variables objeto de monitoreo frente a diferentes a los factores generadores de cambio (uso de la tierra, cambio climático) y su variabilidad intrínseca en el espacio y el tiempo (ver por ej. Abreu *et al.*, 2009). Esto determina la potencia del sistema de monitoreo en términos de su capacidad de detectar efectos significativos y, por lo tanto, decisiones en cuanto al número de parcelas réplicas necesarias –para un nivel de incertidumbre acordado–.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

METODOLOGÍA

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

### Monitoreo de la dinámica del ecosistema en el paisaje

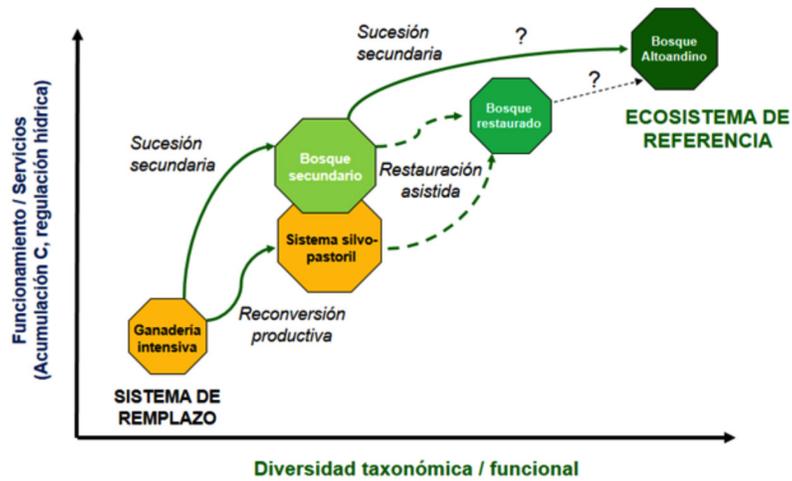


Figura 6. Trayectorias posibles de evolución de la diversidad taxonómica o funcional y del funcionamiento ecosistémico (acumulación de biomasa o carbono, retención de agua en el suelo) en diferentes escenarios de uso del suelo. En el ejemplo, se observa la dinámica partiendo de un sistema de remplazo (por. ej. pastura sometida a ganadería intensiva), sujeta a un procesos de reconversión productiva (sistema diversificado silvopastoril) o que se destina a promover su recuperación, permitiendo la regeneración de un bosque secundario, el cual podría ser objeto de procesos de restauración asistida. Eventualmente el sistema podría, o no, volver a la condición del ecosistema de referencia (un bosque altoandino primario). Fuente: elaboración propia.

### Productos potenciales de la estrategia

Los productos previstos en el marco de la EMA estarán principalmente pensados para apoyar los procesos de toma de decisiones a nivel local, regional y nacional. Se prevé inicialmente la generación de informes periódicos del estado y tendencias de los ecosistemas altoandinos de Colombia, con capítulos especiales a escala local o regional siguiendo el enfoque multiescalar de la propuesta. Otros productos asociados a la estrategia serían:

- Simposios y encuentros de redes de trabajo en torno a la dinámica de ecosistemas altoandinos del país.
- Plataforma informática integrada incluyendo bases de datos, metadatos y sistemas de análisis y consulta de la información.

- Catálogo de estrategias de política y gestión y de protocolos de monitoreo existentes.
- Directorio de actores y usuarios de la información.
- Protocolo integrado de monitoreo, incluyendo la identificación de un paquete mínimo de procesos/variables y módulos opcionales más detallados.

### Marco institucional

Se propone que el EMA cuente con un Comité Directivo y un Comité Técnico a nivel nacional, con participación de instituciones del Sina, académicas y ONG del sector, además de una plataforma de diálogo interinstitucional en que participen usuarios y actores clave de la sociedad civil. El sistema debe contemplar mecanismos de enlace con otras redes internacionales de monitoreo activas en la región (por ej. GNOMO, GLORIA-Andes, Red de Bosques Andinos) y con el Sistema de Información Ambiental de Colombia (Siac). Por último, es importante que el sistema nacional permita articular el trabajo de nodos regionales de monitoreo (sitios de trabajo) en las diferentes cordilleras y complejos de alta montaña, incluyendo áreas con información y experiencia institucional previa y con tradición de participación de la sociedad civil y las organizaciones comunitarias en la gestión ambiental sostenible (Figura 7).



Figura 7. Estructura institucional propuesta para la implementación de la Estrategia para el Monitoreo Integrado de los Ecosistemas de Alta Montaña en Colombia, vinculando la escala nacional con iniciativas a escala internacional y regional/local.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

METODOLOGÍA

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

RESUMEN

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

PALABRAS CLAVE

### Próximos pasos

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

METODOLOGÍA

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

Durante el proceso de formulación de la propuesta de la EMA se hizo evidente la amplia experiencia acumulada en Colombia en la última década en el monitoreo de la biodiversidad y la dinámica de los ecosistemas de alta montaña. Sin embargo, los expertos consultados coincidieron en la necesidad de promover un marco integral para articular las diferentes iniciativas existentes, a partir de un modelo conceptual explícito y una plataforma institucional flexible, que permita lo siguiente: a) Desarrollar una visión más holística y dinámica de las relaciones de interdependencia existentes entre los diferentes ecosistemas de alta montaña (glaciares, humedales, páramos, bosques altoandinos); b) Estudiar y llenar los vacíos de información existentes en torno al papel que cumple la biodiversidad en la provisión de servicios ecosistémicos claves como la regulación hídrica y de la dinámica del carbono y su respuesta en escenarios de cambio ambiental; c) Integrar las diferentes escalas de análisis desde el ámbito local y de parcelas hasta la escala nacional; d) Comparar explícitamente la biodiversidad y funcionamiento de sistemas naturales con diferente grado de transformación a lo largo de gradientes de uso y elevación; además, evaluar la efectividad de las estrategias de restauración ecológica que se vienen desarrollando; e) Entender las relaciones entre los procesos ecológicos y sociales y analizar los impactos de las políticas de gestión, desarrollo y conservación y de diversos modelos de gobernanza territorial; f) Garantizar la sostenibilidad de las iniciativas de monitoreo de largo plazo, a través de la consolidación de una plataforma que promueva la difusión e integración efectiva de la información existente para la orientar la toma de decisión.

A partir de la formulación de la propuesta se identificó una ruta de trabajo para promover la implementación progresiva de la estrategia partiendo de procesos existentes. Un primer punto clave es seleccionar variables esenciales para el monitoreo del estado y tendencias de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos a escala nacional y consolidar un visor o plataforma de información de ecosistemas de alta montaña en Colombia. Partiendo de las bases de datos de variables e indicadores con los que cuentan el Ideam, el Instituto Humboldt y otras instituciones del Sina, se pretenden consolidar reportes de tendencias, mapas temáticos y cruces de variables integrados en el contexto de los ecosistemas altoandinos. Un visor de información podría contribuir a visibilizar las iniciativas en marcha de monitoreo de biodiversidad, agua, carbono, uso del suelo y gobernanza a escala nacional y regional/local y los actores y redes involucrados. Esto permitiría a todos los interesados compartir información sobre sus sitios de monitoreo, protocolos metodológicos, resultados de investigación y otros datos relevantes.

Un segundo paso clave es la recopilación de información a escala local y hacer un ejercicio de integración de información y variables en aquellas áreas donde se cuenta con mayor trayectoria de investigación/monitoreo (por ej. PNN Los Nevados, PNN

Chingaza, bosques de Antioquia) o en territorios prioritarios en virtud de la existencia de conflictos socioambientales (por ej. Santurbán, Pisba, Sumapaz). Entre los aspectos clave a definir estarían: a) La extensión y límites de estos sitios e información cartográfica disponible; b) La red de actores, conflictos ambientales y oportunidades; c) La información disponible y su temporalidad (incluyendo aspectos como biodiversidad, clima, carbono y suelos, hidrología, uso de la tierra y actividades productivas, marco institucional y de políticas, gobernanza y ordenación del territorio, además de aspectos socioeconómicos y calidad de vida); d) Los programas/proyectos planeados y en ejecución que incluyan componentes de monitoreo y ejercicios disponibles de síntesis de información. Lo anterior permitirá entender la información existente y la potencialidad de hacer análisis integrados, identificar los vacíos de información y generar una propuesta de protocolos de monitoreo mínimo a escala de sitio, así como módulos complementarios específicos para especies o temas de interés local y regional. Así, se propone fortalecer sitios de monitoreo existentes y promover el trabajo en red alrededor de observatorios regionales. La idea es que estos primeros sitios puedan servir de modelo para ensayar y calibrar la propuesta conceptual y metodológica de monitoreo integrado, así como la articulación entre diversos actores interesados en el monitoreo y gestión de estos territorios de alta montaña, con miras a la replicación del enfoque a una red más extensa.

Finalmente, es fundamental continuar promoviendo la difusión y discusión de la estrategia, no solo con las instituciones y grupos de investigación vinculados en el monitoreo en ecosistemas de alta montaña sino con tomadores de decisión a diferentes escalas y vinculados a distintos sectores productivos, líderes y organizaciones locales y de la sociedad civil. Solo así será posible avanzar en la consolidación de un sistema de monitoreo integrado que responda a las visiones y necesidades de la gran diversidad de actores involucrados en la gestión, manejo y conservación de los ecosistemas de alta montaña en Colombia.

## AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a los equipos del Condesan, Ideam y el Instituto Humboldt por sus aportes en la construcción de esta propuesta. Al equipo editorial de Biodiversidad en la Práctica y al evaluador anónimo por sus interesantes aportes. Al Programa Bosques Andinos, financiado por la Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo (COSUDE), que ha provisto financiamiento para las actividades de desarrollo de la propuesta.

En particular a Hernando García, Nelson Omar Vargas, Martha García, Adriana Paola Barbosa, Jorge Luis Ceballos, Nidia Cristina Mayorga, Diana Ramírez, Juan F. Philips, Carolina Gómez, Natalia Norden, Lina Sánchez, Juan Pablo Romero, Paula Ungar, Johanna Puentes, Betsy V. Rodríguez, Adriana Bolívar, Sebastián González C., Juan C. Benavides, María Elena Gutiérrez L., Carlos Sarmiento, Issac Goldstein

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

METODOLOGÍA

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

METODOLOGÍA

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

y Amanda Varela por su confianza y acompañamiento durante el proceso. A Juan C. Berrío (Universidad de Leicester) por su apoyo en la organización del taller sobre monitoreo en ecosistemas altoandinos y sus interesantes aportes.

A los expertos consultados del Ideam, Instituto Humboldt, Igac, MADS, Parques Nacionales Naturales, Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, Observatorio de Bosques Andinos, Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín), Pontificia Universidad Javeriana, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Universidad de los Andes, Universidad del Rosario, la Escuela de Ingenieros de Antioquia, Conservación Internacional, WCS y proyecto Páramos: Biodiversidad y Recursos Hídricos en los Andes del Norte (Unión Europea-Instituto Humboldt) por compartir generosamente y con entusiasmo sus conocimientos, experiencias y visiones sobre el tema.

## REFERENCIAS

- Abreu, Z., Llambí, L. D. y Sarmiento, L. (2009). Sensitivity of soil restoration indicators during páramo succession in the High Tropical Andes: chronosequence and permanent plot approaches. *Restoration Ecology*, 17(5), 619-628.
- Armenteras., Rodríguez, N., Retana, J. y Morales, M. (2011). Understanding deforestation in montane and lowland forests of the Colombian Andes. *Regional Environmental Change* 11, 693-705.
- Avella, A., Rangel, O. y Solano, C. (2017). Conservación, manejo y restauración de los bosques de robles (*Quercus humboldti* Bonpl.) en Colombia: Estudio de caso en el corredor de Conservación Guantiva-La Rusia-Iguaque (departamentos de Santander y Boyacá, Colombia). En Rangel-Ch, O. (Ed.). *Colombia Diversidad Biótica XV. Los bosques de robles (Fagaceae) en Colombia*. Pp: 261-286. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Ciencias Naturales.
- Castaño-Uribe, C. (2002). *Páramos y ecosistemas alto andinos de Colombia en condición Hotspot y Global Climatic Tensor*. Bogotá: Ministerio del Medio Ambiente, IDEAM, PNUD. 390 pp.
- Ceballos, J. L., Rodríguez Murcia, C. E. y Real-Núñez, E. L. (2012). *Glaciares de Colombia, más que montañas con hielo*. Bogotá: IDEAM. 344 pp.
- Cuellar, I. (2017). Fitocolonización en la zona Periglacial del Glaciar Conejeras, en el Volcán Nevado de Santa Isabel–Proyecto Piloto. (Informe técnico). Bogotá D. C.: IDEAM. 19 pp.
- Cuesta, F., Muriel, P., Llambí, L. D., Halloy, S., Aguirre, N., Beck, S., Carrilla, J., Meneses, R., Cuello, S., Grau, A., Gámez, L., Irazábal, J., Jácome, J., Jaramillo, R., Ramírez, L., Samaniego, N., Suárez-Duque, D., Thompson, N., Tupayachi, A., Viñas, P., Yager, K., Becerra, M. T., Pauli, H. y Gosling, W. D. (2017). Latitudinal and altitudinal patterns of plant community diversity on mountain summits across the tropical Andes. *Ecography*, 40(12), 1381-1394.
- Díaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., y Lonsdale, M. (2015). The IPBES Conceptual Framework-connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 1-16.

- Duque, A., Stevenson, P. R. y Feleey, K. J. (2015). Thermophilization of adult and juvenile tree communities in the northern tropical Andes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(34), 10744-10749.
- Etter, A., McAlpine, C., Wilson, K., Phinn, S. y Possingham, H. (2006). Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 114, 369-386.
- Etter, A., McAlpine, C.A. y Possingham, H. P. (2008). Historical Patterns and Drivers of Landscape Change in Colombia Since 1500: A Regionalized Spatial Approach. *Annals of the Association of American Geographers*, 98, 2-23.
- García-Herrán, M. (2018). *Protocolo de Monitoreo Hidrológico en Páramos*. Proyecto Páramos: Biodiversidad y Recursos Hídricos en los Andes del Norte (Informe técnico). Bogotá D. C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 182 pp.
- IAvH (2016). *Recomendaciones para la delimitación, por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, de 21 complejos de páramos del país a escala 1:25.000* (Informe Técnico). Bogotá D. C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt-Fondo Adaptación.
- IAvH (2018). *Recomendaciones para la delimitación, por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, de 21 complejos de páramos del país a escala 1:25.000*. Bogotá D. C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt-Fondo Adaptación.
- IAvH, Igac. (2018). *Identificación de la Hoja de Ruta y Procedimientos para la Estimación del Contenido de Carbono Orgánico en Suelos de Páramos y Humedales de Colombia* (Informe Técnico). Bogotá, D.C., 139 pp.
- Ideam, IAvH, Igac, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” (Invemar) y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia* (MEC) [mapa], Versión 2.1, escala 1:100.000.
- Ideam (2017). *Manual de Campo. Inventario Forestal Nacional Colombia*. Versión 3.5. Bogotá, D.C.
- Ideam, IAvH, Condesan (2018). *Propuesta “Estrategia para monitoreo integrado de los Ecosistemas de Alta Montaña de Colombia”* (Informe Técnico). Bogotá, D.C., 54 pp.
- Isbell, F., Gonzalez, A., Loreau, M., et al. (2017). Linking the influence and dependence of people on biodiversity across scales. *Nature*, 546, 65-72.
- Kremen, C., Merenlender, A. M. y Murphy, D. D. (1994). Ecological Monitoring: A Vital Need for Integrated Conservation and Development Programs in the Tropics. *Conservation Biology*, 8(2), 388-397.
- Lindenmayer, D. B. y Likens, G. E. (2010). The science and application of ecological monitoring. *Biological Conservation*, 143, 1317-1328.
- Lindenmayer, D. B., Piggott, M. P., y Wintle, B. A. (2013). Counting the books while the library burns: why conservation monitoring programs need a plan for action. *Frontiers of Ecology and the Environment*, 11(10), 549-555.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

METODOLOGÍA

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

- RESUMEN Llambí, L. D. (2018). *Memorias del Taller. Diversidad y Funcionamiento de Ecosistemas Andinos de Colombia en Escenarios de Cambio Ambiental: Hacia un sistema integrado de monitoreo* (Informe Técnico). Bogotá D. C.: IDEAM. 26 pp.
- PALABRAS CLAVE
- ABSTRACT Llambí, L. y Llambí, L. D. (2000). A Transdisciplinary Framework for the Analysis of Tropical Agroecosystem Transformations. En Higgins, V., Lawrence, G. y Lockie, S. (Eds). *Environment, Society and Natural Resource Management: theoretical perspectives from Australasia and the Americas*. Pp: 53-70. Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
- KEY WORDS
- INTRODUCCIÓN Nichols, J. D. y Williams, B. K. (2006). Monitoring for Conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 21, 668-673.
- METODOLOGÍA
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES Mathez-Stiefel, S. L., Peralvo, M., Báez, S. et al. (2017). Research Priorities for the Conservation and Sustainable Governance of Andean Forest Landscapes. *Mountain Research and Development*, 37(3), 323-339.
- AGRADECIMIENTOS Márquez, R., Bianchi, G., Isasi-Catalá, E., Ruíz-Gutiérrez, V. y Goldstein, I. (2017). *Guía para el Monitoreo de la Ocupación del Oso Andino*. Bogotá, D.C.: Andean Bear Conservation Alliance, Wildlife Conservation Society.
- REFERENCIAS
- SOBRE LOS AUTORES Medina, M. M., Varela, A. y Martínez, C. (2009). Registro de daño a los frailejones (Asteraceae: *Espeletia* sp.) por insectos y hongos patógenos en el PNN Chingaza (Colombia). *CESPEDESIA*, 32, 90-91.
- Morales, M., Armenteras, D. (2013). Estado de Conservación de los Bosque de Niebla de los Andes Colombianos, un Análisis Multiescalar. *Boletín Científico del Museo de Historia Natural*, 17(1), 64-72.
- Quintero, E., Benavides, A. M., Moreno, N. y González-Caro, S. (2017). *Bosques Andinos, estado actual y retos para su conservación en Antioquia*. Medellín: Fundación Jardín Botánico de Medellín Joaquín Antonio Uribe- Programa Bosques Andinos (COSUDE). 542 pp.
- Rabatel, A., Ceballos, J. L., Micheletti, N. et al. (2017). Toward an imminent extinction of Colombian glaciers? *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*. DOI: 10.1080/04353676.2017.1383015.
- Rangel-Ch., J. O. (2000). La región paramuna y franja aleadaña en Colombia En Rangel-Ch., J.O. (Ed.). *Colombia Diversidad Biótica III: La región de vida paramuna*. Pp. 1–23. Bogotá, D.C.: Instituto de Ciencias Naturales, Instituto Alexander von Humboldt.
- Rueda, J. A., Benavides, J. C., Duque, A. (2015). *Protocolo de Monitoreo de Ciclo del Carbono en Alta Montaña* (Informe Técnico). Medellín: Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín), IDEAM. 42 pp.
- Ruiz-Carrascal, D. (2016). Poleka Kasue Mountain Observatory, Los Nevados Natural Park, Colombia. *Mountain Views*, 10(2), 17-20.
- Salinas, C., Stella, L. y Hernández, L. (2013). Caracterización de los lepidópteros fitófagos asociados a la herbivoría de frailejones en la microcuenca de la quebrada Calostros del Parque Nacional Natural Chingaza. *Revista Mutis*, 3(1), 1-22.
- Sarmiento, C. y León, O. (2015). *Transición bosque-páramo. Bases conceptuales y métodos para su identificación en los Andes colombianos*. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 156 pp.

- Sarmiento, C., Osejo, A., Ungar, P. y Zapata J. (2017). Páramos habitados: desafíos para la gobernanza ambiental de la alta montaña en Colombia. *Biodiversidad en la Práctica*, 2(1), 122-145.
- Sierra, C. A., Mahecha, M., Poveda, G. et al. (2017). Monitoring ecological change during rapid socio-economic and political transitions: Colombian ecosystems in the post-conflict era. *Environmental Science and Policy*, 76, 40-49.
- Tilman, D., Isbell, F. y Cowles, J. M. (2014). Biodiversity and ecosystem functioning. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 45, 471-493.
- Turner, M. G., Gardner, R. H. y O'Neill, R. V. (2001). *Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process*. New York: Springer-Verlag.
- Vallejo, M. I. y Gómez, D. I. (2017). Marco conceptual para el monitoreo de la biodiversidad en Colombia. *Biodiversidad en la Práctica*, 2(1), 1-47.
- van der Hammen, T., Pabón, J.D., Gutiérrez, H. y Alarcón, J.C. (2002). El Cambio global y los ecosistemas de alta Montaña. En Castaño-Uribe C. (Ed). *Páramos y ecosistemas alto andinos de Colombia en condición Hotspot y Global Climatic Tensor*. Pp: 163-209. Bogotá: Ministerio del Medio Ambiente, Ideam, PNUD.
- Vos, P., Meelis, E., Ter Keurs, W. J. (2000). A framework for the design of ecological monitoring programs as a tool for environmental and nature management. *Environmental Monitoring and Assessment*, 61, 317-344.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

METODOLOGÍA

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

## SOBRE LOS AUTORES

### Luis Daniel Llambí

Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas  
Universidad de los Andes, Venezuela  
ldllambi@gmail.com

### María Teresa Becerra

Independiente  
mtbecerra@gmail.com

### Manuel Peralvo

Consortio para el Desarrollo Sostenible de la Ecoregión Andina  
manuel.peralvo@condesan.org

### Andrés Avella

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt  
eavella@humboldt.org.co

RESUMEN **Martín Baruffol**

PALABRAS CLAVE Royal Botanical Gardens, Kew

ABSTRACT Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt  
martin.baruffol@gmail.com

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN **Liz Johanna Díaz**

METODOLOGÍA Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam)  
ljdiaz@ideam.gov.co

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

Citación sugerida

AGRADECIMIENTOS Llambí, L. D., Becerra, M. T., Peralvo, M., Avella, A., Baruffol, M., Díaz, L.D. (2019). Construcción  
de una Estrategia para el Monitoreo Integrado de los Ecosistemas de Alta Montaña en Colombia.  
REFERENCIAS *Biodiversidad en la Práctica*, 4(1), 150-172.

SOBRE LOS AUTORES

# Biodiversidad EN LA PRÁCTICA

Documentos de trabajo del Instituto Humboldt



EDICIÓN  
**CAMBIO CLIMÁTICO**

VOLUMEN 4 - NÚMERO 1 - 2019 - PP. 173-188

Recibido: 15 de febrero de 2019 -

Aprobado: 10 de abril de 2019.

Luz Bibiana Moscoso Marín  
Tecnológico de Antioquia  
bibimos0708@gmail.com

Natalia Arcila Marín  
Tecnológico de Antioquia  
Secretaría de Medio Ambiente-Alcaldía de Medellín  
nataliarcila@gmail.com

Rosember Hernández Restrepo  
Fundación Con Vida  
Corantioquia  
rosemberhr@gmail.com



CONTRIBUCIONES AL CONOCIMIENTO

---

## **Cambios proyectados a 2040 en los ecosistemas de la jurisdicción de Corantioquia de acuerdo con los escenarios de cambio climático del Ideam**

Changes to 2040 in the ecosystems of the jurisdiction of Corantioquia according to Ideam climate change scenarios

### **RESUMEN**

El cambio climático es un fenómeno que afecta los territorios, sus pobladores y los recursos naturales. Particularmente, para el departamento de Antioquia, que concentra la mayor parte de su territorio de la zona andina colombiana, el cambio climático se presenta como una amenaza latente que puede causar cambios en la distribución de las zonas de vida, provocando la consiguiente alteración de los ciclos y relaciones biológicas y ecosistémicas que mantienen el equilibrio natural. En el marco de los proyectos desarrollados por la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (Corantioquia) para la mitigación y adaptación al cambio climático, –teniendo como base los escenarios de cambio climático provistos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), para el departamento de Antioquia, y la información de zonas de vida con la que cuenta actualmente la jurisdicción–, se planteó un método de cálculo y análisis para los posibles cambios en dichas zonas de vida a la luz de

RESUMEN	distintos escenarios. Se encontró, en términos generales, que los ecosistemas estratégicos de páramo y humedales de la jurisdicción de Corantioquia no presentarían cambios significativos en cuanto a la precipitación y la temperatura, por tanto a 2040 no tendrían amenazas de desaparición, aunque por los usos antrópicos sí se encuentran seriamente amenazados. Por su parte, el bosque seco tropical sí sufriría cambios basados en las proyecciones de dichos escenarios, generando condiciones ambientales similares a las que representan a los bosques húmedos. Basado en estos resultados es posible concluir que se hacen necesarias estrategias de gestión de ecosistemas estratégicos acordes con sus necesidades particulares para garantizar la prestación continua de servicios ecosistémicos a las comunidades humanas.
PALABRAS CLAVE	
ABSTRACT	
KEY WORDS	
INTRODUCCIÓN	
MÉTODOS	
RESULTADOS	
DISCUSIÓN	<b>Palabras clave:</b> Escenarios de cambio climático. Precipitación. Temperatura. Zonas de vida.
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
AGRADECIMIENTOS	
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	

## ABSTRACT

Climate change affects territories, their inhabitants and natural resources. Particularly in the department of Antioquia, which concentrates most of its territory in the Colombian Andean zone, climate change is a latent threat that can cause life zones distribution changes, causing an alteration of biological and ecosystems cycles and relationships which keep natural equilibria. Based on projects developed by Antioquia's Central Regional Autonomous Corporation (Corantioquia), which aim to mitigate and adapt the territory and its inhabitants to climate change effects, and based on climate change scenarios provided by the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies (Ideam) and the life zones information owned by the Corporation, a calculation and analysis method was proposed in order to determine possible changes in the life zones. In general, it was found that the strategic ecosystems of páramo and wetland in the Corporation's jurisdiction would not present significant changes in terms of precipitation and temperature variations and therefore to 2040 they might not have threats of disappearance, although by anthropic uses they are seriously threatened. On the other hand, tropical dry forest would undergo changes based on the projections of these scenarios, generating environmental conditions similar to those present in wet forests. Based on these results, it can be concluded that strategic ecosystems management strategies are necessary in order to guarantee the continuous provision of ecosystem services to human communities.

**Key words:** Climate change scenarios. Life zones. Precipitation. Temperature.

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el Centro de Resiliencia de Estocolmo (SRC), la capacidad de mantener el bienestar humano depende de que la interacción entre el desarrollo humano y la naturaleza no sobrepase unos valores críticos de gran parte de los nueve límites planetarios definidos desde el año 2009 (Rockström *et al.*, 2009), uno de estos

límites es justamente el cambio climático, medido como la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, la cual debe limitarse para que su efecto no genere aumentos superiores a los 2 °C en la temperatura global del planeta, tal como lo propone el Acuerdo de París firmado en el marco de la 21 Conferencia de las Partes (COP21) de la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). En el ámbito nacional, el Ideam, como entidad técnica y científica del Sistema Nacional Ambiental (Sina), ha liderado todo lo concerniente al cambio climático en el país. Entre los años 2015 y 2017 elaboró la Tercera Comunicación Nacional de cambio Climático (Ideam *et al.*, 2015), en la cual se reconoció que las diferentes regiones del país presentan diferencias muy grandes en cuanto a desarrollo económico, patrones de ocupación poblacional y vulnerabilidad ante el cambio climático y la variabilidad climática, por lo que regionalizó gran parte de la información para que cada departamento, y en lo posible cada municipio, conociera su situación ante el cambio climático, tanto en emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como en cambios esperados en el clima y vulnerabilidad ante los cambios en la precipitación y la temperatura. En el marco de este trabajo, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2016; DNP, 2012) estructuró un Sistema Nacional de Cambio Climático (Sisclima), dentro del cual conformó nueve Nodos Regionales de Cambio Climático para que la gestión se realice a nivel territorial, atendiendo las necesidades y características particulares de las regiones del país, en el que las corporaciones autónomas regionales, como autoridades ambientales en el país, tengan un rol protagónico y puedan trabajar de manera coordinada con los demás actores del territorio.

Corantioquia ejerce su función como autoridad ambiental en un territorio comprendido por 80 municipios del departamento de Antioquia y de acuerdo con proyecciones del Dane (2011), para 2017 estarían habitados por cerca de 5,2 millones de personas, de ellos 3,7 millones viven en el enclave del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Amva).

Este territorio se encuentra ubicado casi en su totalidad en la parte norte de la cordillera Central de los Andes colombianos, con algunos territorios en la cordillera Occidental, cubriendo zonas geográficas representativas del departamento como son el Magdalena Medio, La Mojana antioqueña, Bajo Cauca, Altiplano Norte de Antioquia y los cañones de los ríos Cauca y San Jorge, en el Sureste antioqueño. Dentro de este territorio se encuentran representados, además, 49 de los 311 ecosistemas colombianos (Corantioquia, 2008), de los cuales la tercera parte son naturales, la proporción restante corresponde ecosistemas transformados.

Los ecosistemas de mayor extensión en el territorio son los pertenecientes al orobioma bajo de los Andes (vegetación secundaria, bosques naturales y pastos) y al zonobioma húmedo tropical Magdalena-Caribe (bosques y pastos), aunque también

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

RESUMEN	cuenta con otros ecosistemas estratégicos y complejos como los páramos, humedales
PALABRAS CLAVE	(aluviales y andinos), bosque altoandino y bosque seco tropical, de los cuales se derivan gran cantidad de servicios ecosistémicos que son vitales para la población y la economía del departamento y del país. A modo de ejemplo puede citarse el servicio ecosistémico de abastecimiento de agua para el consumo actual de cerca de 4 millones de personas y para la generación del 19 % de la energía hidroeléctrica del Sistema Interconectado Nacional (Plan Regional para el Cambio Climático en la jurisdicción de Corantioquia, informe preliminar) (Upme, 2017).
ABSTRACT	
KEY WORDS	
INTRODUCCIÓN	
MÉTODOS	
RESULTADOS	Debido a que Corantioquia, como autoridad ambiental, debe administrar por ley los recursos naturales dentro de su jurisdicción, entre otras obligaciones, es necesario comenzar a generar productos de conocimiento que permitan evaluar la gestión de estos recursos y, de esta manera, tener insumos para que la planificación del territorio y de las actividades que debe desarrollar se ajusten a los pronósticos esperados en todas las áreas. Los escenarios de cambio climático desarrollados por el Ideam, que muestran los cambios esperados en lluvias y temperatura para los próximos años (Ideam et al., 2015), traerían nuevas condiciones a los ecosistemas y por lo tanto a los servicios ecosistémicos que se derivan de ellos.
DISCUSIÓN	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
AGRADECIMIENTOS	
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	

Una forma de evaluar estos cambios es por medio del cálculo de las zonas de vida, una metodología que permite relacionar de forma directa el tipo de vegetación con las condiciones climáticas presentes en la áreas donde esta se desarrolla y, por lo tanto, permite estimar que si debido al cambio climático, las condiciones de precipitación y temperatura cambian lo suficiente como para hacer variar la zona de vida de un lugar, la vegetación actual se enfrentará a condiciones de estrés ambiental (por humedad y temperatura), que eventualmente implicarían un cambio en la forma en la que Corantioquia deba administrar y gestionar esos territorios. Incluso, actividades como la restauración ecológica deberán realizarse no solo con las especies vegetales que actualmente se presentan en el territorio sino con aquellas que se esperaba se desarrollen con las condiciones climáticas esperadas, con el fin de seguir obteniendo los servicios ecosistémicos con la misma (o mejor) abundancia, distribución y calidad.

## MÉTODOS

### Área de estudio

El trabajo se realizó en la jurisdicción de Corantioquia, la cual está conformada por los municipios ubicados en la parte central del departamento de Antioquia, cubriendo un área total aproximada de 36.000 km<sup>2</sup>, correspondientes a 80 municipios distribuidos en 8 territoriales: Aburrá Sur (Amagá, Angelópolis, Armenia, Caldas, Envigado, Heliconia, Itagüí, La Estrella, Sabaneta, Titiribí), Aburrá Norte (Medellín, Bello, Copacabana, Girardota, Barbosa), Cartama (Caramanta, Fredonia, Jericó, La Pintada, Montebello, Pueblorrico, Santa Bárbara, Támesis, Tarso, Valparaíso, Venecia), Citará (Andes, Betania, Betulia, Ciudad Bolívar, Concordia, Hispania, Jardín, Salgar),

Hevéxicos (Anzá, Buriticá, Caicedo, Ebéjico, Liborina, Olaya, Sabanalarga, San Jerónimo, Santa Fe de Antioquia, Sopetrán), Tahamíes (Angostura, Anorí, Belmira, Briceño, Campamento, Carolina del Príncipe, Don Matías, Entreríos, Gómez Plata, Guadalupe, Ituango, San Andrés de Cuerquia, San José de la Montaña, San Pedro de los Milagros, Santa Rosa de Osos, Toledo, Yarumal), Panzenú (Cáceres, Caucasia, El Bagre, Nechí, Tarazá, Zaragoza, Valdivia) y Zenufaná (Amalfi, Caracolí, Cisneros, Maceo, Puerto Berrio, Puerto Nare, Remedios, Segovia, Vegachí, Yalí, Yolombó, Yondó) (Corantioquia, 2007).

El territorio de la jurisdicción de Corantioquia posee una gran diversidad de ecosistemas –de relieves y de características ambientales que van desde las llanuras aluviales hasta los páramos–, que determinan los usos del territorio en que se pueden encontrar actividades como industria, comercio y servicios (en las territoriales Aburrá Sur y Aburrá Norte), minería (en Panzenú y Zenufaná), caficultura y fruticultura (en Cartama y Citará), ganadería de ceba en las llanuras aluviales de los ríos Cauca y Magdalena (en Panzenú y Zenufaná) y ganadería de leche en el altiplano del Norte (Tahamíes). Además, la actividad turística se ha ido destacando en algunos municipios de las regiones de Cartama, Citará y Hevéxicos (Corantioquia, 2007).

La zona de vida, para los fines acá enunciados, se presenta como una subunidad del bioma diferenciada por criterios físicos de temperatura, precipitación y evapotranspiración potencial (Gómez, 2010). Para determinarla se calculó la temperatura media y la precipitación total anual y el punto donde se interceptaron las líneas de biotemperatura y precipitación define la localización del sitio en el diagrama y, por consiguiente, en el mapa. Al interior de cada hexágono se halla el nombre de la vegetación de referencia que existe o que debería existir si el medio no hubiera sido alterado; es decir, la nomenclatura hace referencia a la vegetación natural clímax que hay o que podría establecerse en la zona determinada.

## Fuentes de información

La información con la cual fue construido el presente documento fue consultada en el Centro de Información Ambiental de la sede central de Corantioquia, en su sitio web oficial, en la biblioteca de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín y en artículos académicos relacionados. Adicionalmente, se tomaron como base los escenarios de cambio climático propuestos para Antioquia por el Ideam (2015) en la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático, que incluyen el escenario base de precipitación y temperatura 1976-2005 –que presenta el comportamiento de estas variables en el territorio durante ese periodo– y el escenario 2011-2040, que presenta los cambios esperados en las dos mismas variables en el corto plazo. Sin embargo, el escenario 2011-2040 presenta los resultados en intervalos de valores, por lo que se tomó el valor medio de cada intervalo y se aplicó a cada uno de los puntos del escenario base 1976-2005 para calcular la proyección de temperatura y precipitación 2011-2040, con el cual se calcularon las zonas de vida esperadas del periodo 2011-2040.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

Finalmente, toda esta información fue analizada para identificar los posibles cambios que sufrirán las zonas de vida en toda la jurisdicción de Corantioquia, haciendo uso de información tal como zonas de vida actuales, la información proyectada y la altura sobre el nivel del mar.

## RESULTADOS

### Cambios en la composición y distribución de la vegetación

Basados en los escenarios desarrollados por el Ideam en la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático (2015), específicamente para la jurisdicción de Corantioquia, se estimaron los nuevos valores de precipitación y temperatura para los años 2011 y 2040, información que se observa gráficamente en la Figura 1 y Figura 2.

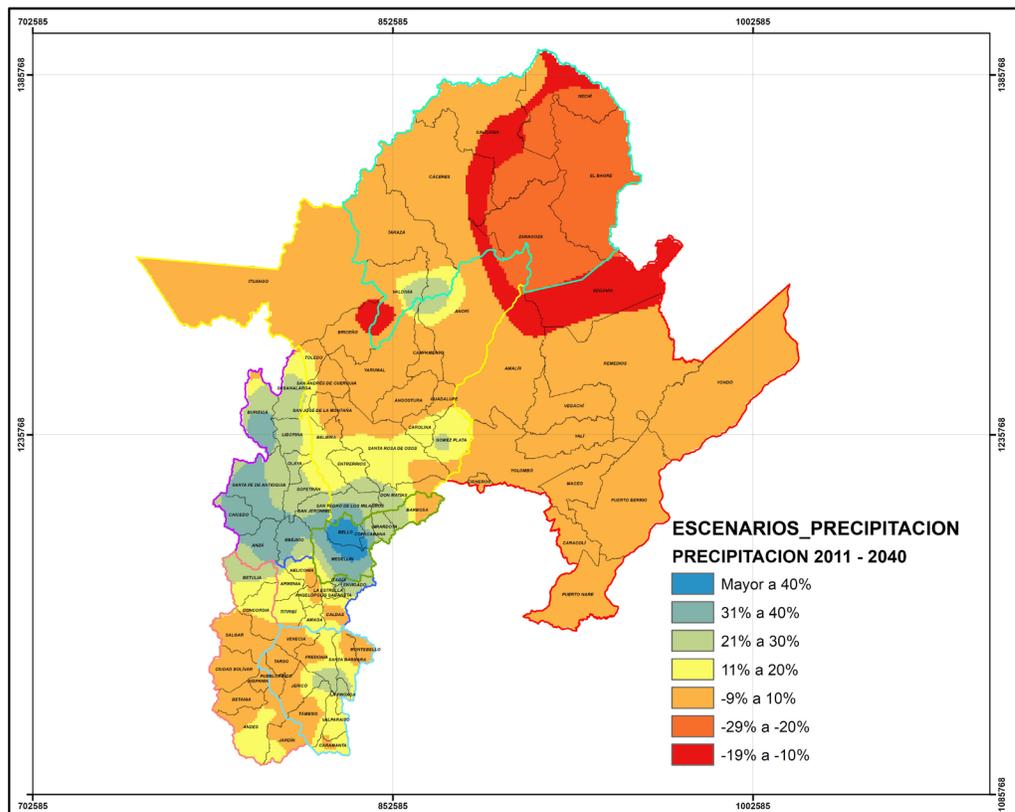


Figura 1. Escenarios de precipitación 2011-2040 para la jurisdicción de Corantioquia. Fuente: elaboración equipo técnico TdeA. Convenio CV-1611-214 (Corantioquia, 2017) basada en los escenarios de cambio climático del Ideam (Ideam et al., 2015).

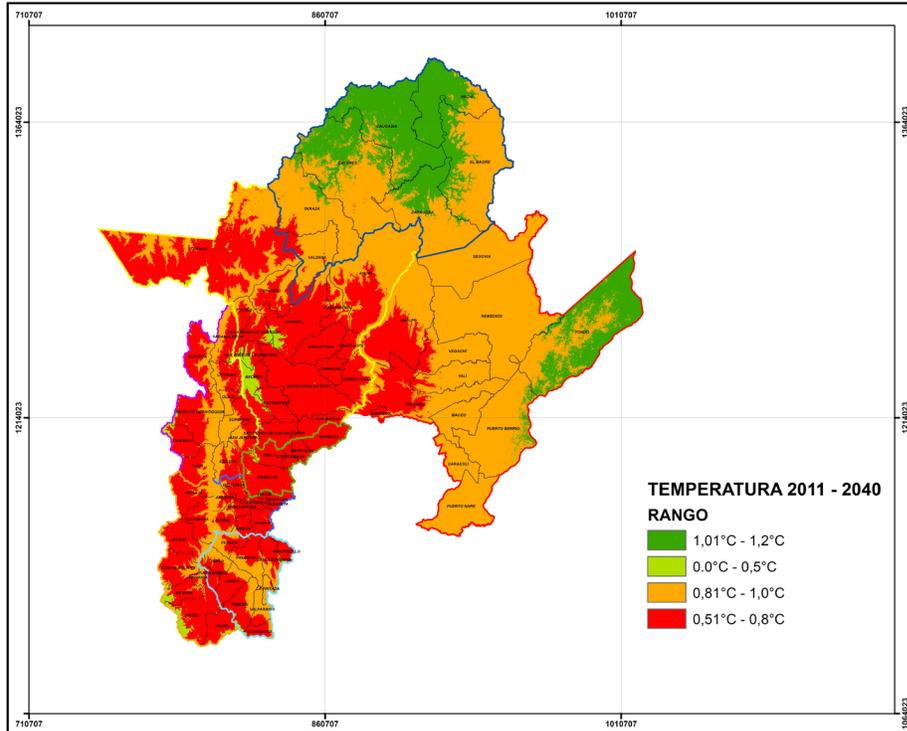


Figura 2. Escenarios de temperatura 2011-2040 para la jurisdicción de Corantioquia. Fuente: elaboración equipo técnico TdeA. Convenio CV-1611-214 (Corantioquia, 2017) basada en los escenarios de cambio climático del Ideam (Ideam *et al.*, 2015).

En la Figura 3, que representa el mapa de zonas de vida actuales de la jurisdicción de Corantioquia, se identificaron los principales ecosistemas presentes en ella, los cuales son humedales (territoriales Penzenú y Zenufaná), páramo (territorial Tahamíes), bosque seco tropical (territoriales Cartama, Citará, Aburrá Sur, Hevéxicos y Tahamíes) y bosque húmedo premontano (territoriales Cartama, Citará, Aburrá Sur, Hevéxicos y Tahamíes). En la Figura 4 se presenta el mapa de las zonas de vida futuras que se esperan según los cambios proyectados en temperatura y precipitación en el periodo 2011-2040.

Al comparar ambos mapas se encontró que para varias zonas de vida se esperarían variaciones en el periodo 2011-2040 y el caso más significativo se presentaría en el bosque seco tropical. Según los cálculos realizados, se tendrían variaciones principalmente en la distribución y abundancia en las precipitaciones e incremento en la temperatura, las cuales asemejarían las condiciones de la zona de vida bosque húmedo tropical. A lo largo de toda la franja que está a lado y lado del río Cauca se prevé un aumento de 1 °C en la temperatura, mientras que la precipitación tendrá variaciones que oscilarán entre -9 y 20 % en las territoriales Cartama, Citará y Aburrá Sur y entre un 20 y 40 % en las territoriales Hevéxicos y Tahamíes.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MÉTODOS

**RESULTADOS**

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

RESUMEN	En el caso de los humedales, específicamente de las territoriales Panzenú y Zenufaná, se pronostica un aumento de 1,2 °C en la temperatura promedio anual y una variación entre -19 y 10 % en las precipitaciones, sin embargo, se prevé que las zonas de vida actuales permanecerían sin variaciones significativas.
PALABRAS CLAVE	
ABSTRACT	
KEY WORDS	
INTRODUCCIÓN	Finalmente, para los ecosistemas de páramo y sus zonas de amortiguamiento –ambos clasificados dentro de las categorías bosques húmedos premontanos y bosques muy húmedos montanos–, se evidencia el cambio en el régimen de precipitación, entre 11 y 20 % y un incremento en la temperatura de 0,8 °C para este periodo de tiempo.
MÉTODOS	Según los escenarios, tampoco se evidencia un cambio importante en la configuración de las zonas de vida actuales.
RESULTADOS	
DISCUSIÓN	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	En la Figura 3 y la Figura 4, se representan los mapas de las zonas de vida actuales y futuras para la jurisdicción de Corantioquia, en ellos se pueden observar los cambios predominantes en los ecosistemas naturales.
AGRADECIMIENTOS	
REFERENCIAS	En términos de áreas, la Figura 5 muestra las principales zonas de vida que, de acuerdo con la estimación de los diferentes escenarios de cambio climático, perderían mayor área. Son el bosque húmedo montano, bosque muy húmedo montano bajo, bosque premontano y premontano transición tropical, al igual que el bosque pluvial montano y premontano y el bosque seco tropical, siendo este último el que más área pierde junto con el bosque pluvial montano, ambos cediendo el 96 % de su área a otras zonas de vida.
SOBRE LOS AUTORES	

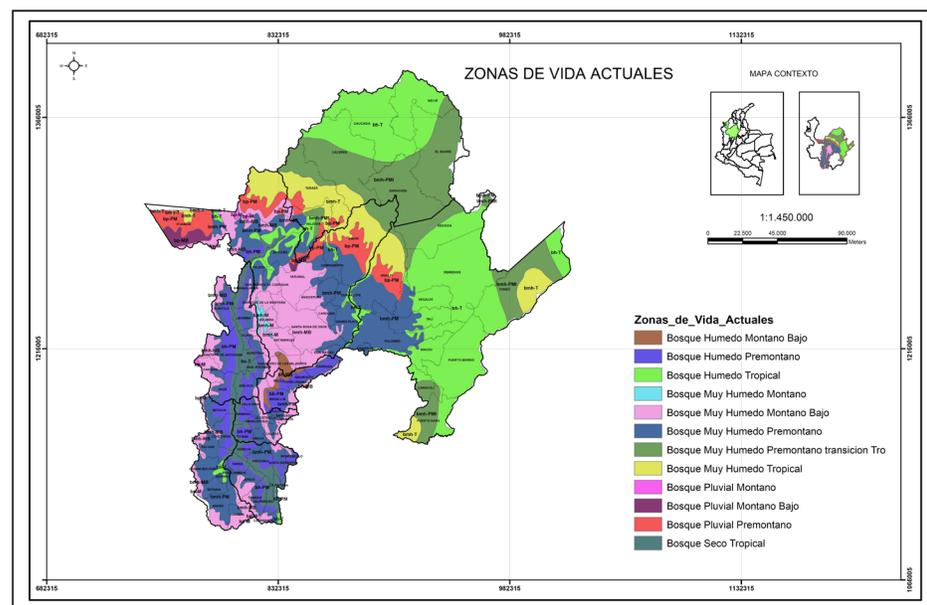
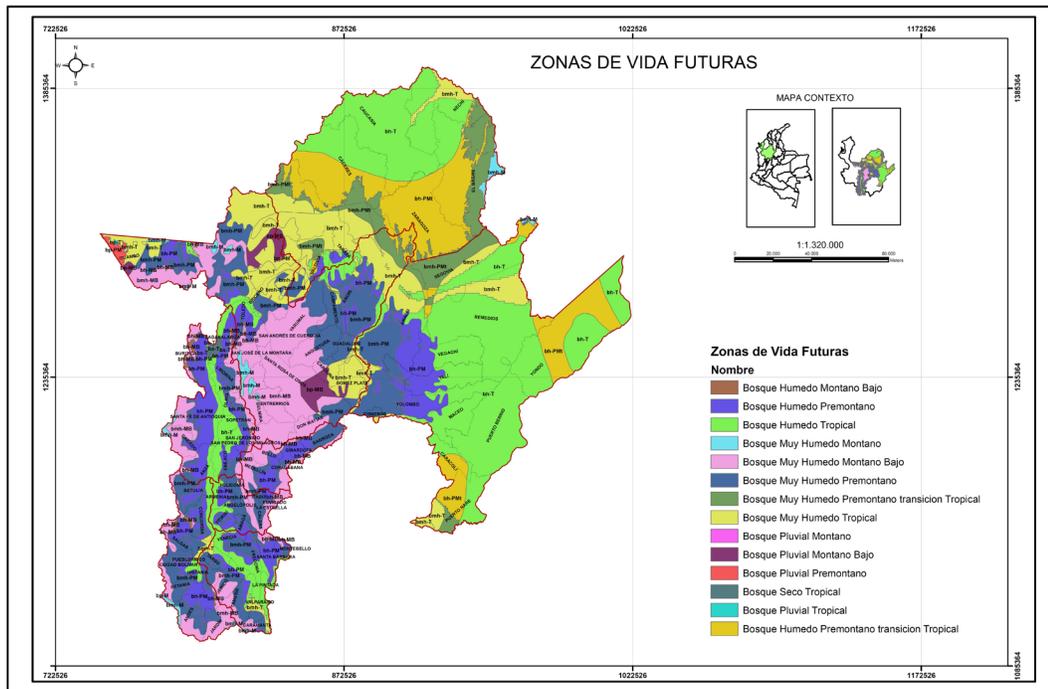


Figura 3. Zonas de vida actuales en la jurisdicción de Corantioquia. Fuente: elaboración equipo técnico TdeA. Convenio CV-1611-214 (Corantioquia, 2017).



- RESUMEN
- PALABRAS CLAVE
- ABSTRACT
- KEY WORDS
- INTRODUCCIÓN
- MÉTODOS
- RESULTADOS
- DISCUSIÓN
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- AGRADECIMIENTOS
- REFERENCIAS
- SOBRE LOS AUTORES

Figura 4. Zonas de vida a 2040 en la jurisdicción de Corantioquia, calculadas con base en las zonas de vida actuales y los escenarios de precipitación y temperatura del Ideam. Fuente: elaboración equipo técnico TdeA. Convenio CV-1611-214 (Corantioquia, 2017) basada en los escenarios de cambio climático del Ideam (Ideam et al., 2015).

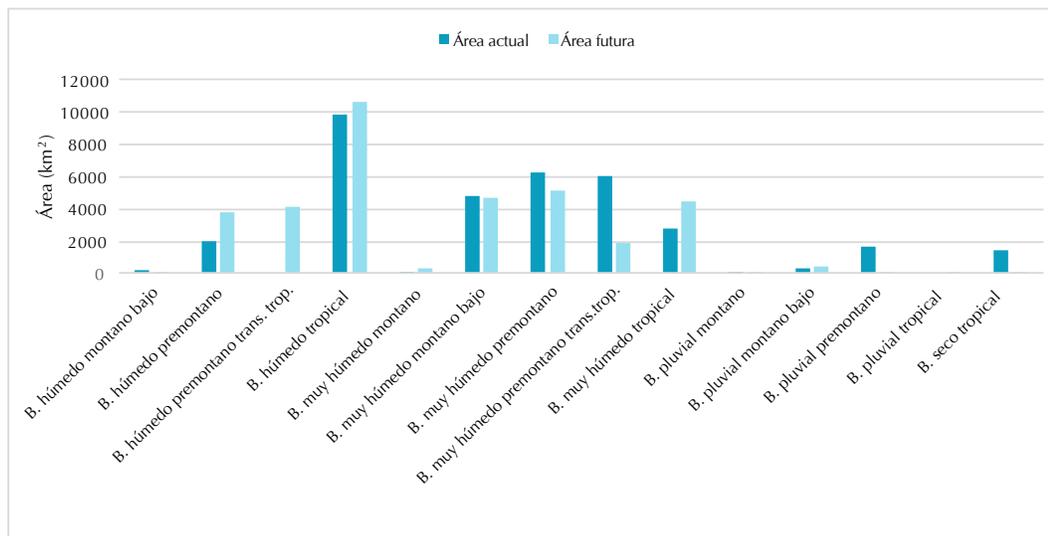


Figura 5. Áreas representativas de las zonas de vida actuales y futuras bajo escenarios de cambio climático (2011-2040). Fuente: elaboración equipo técnico TdeA. Convenio CV-1611-214 (Corantioquia, 2017) basada en los escenarios de cambio climático del Ideam (Ideam et al., 2015).

RESUMEN	En general, las pérdidas oscilan desde los 65 km <sup>2</sup> (bosque pluvial montano) hasta los 4.200 km <sup>2</sup> (bosque muy húmedo premontano transición tropical), dichos valores son aproximaciones de las estimaciones realizadas sobre las áreas originales.
PALABRAS CLAVE	
ABSTRACT	
KEY WORDS	También se observan incrementos en las áreas de otras zonas de vida como en el bosque húmedo premontano y premontano transición tropical, bosque húmedo tropical, bosque muy húmedo montano, bosque húmedo tropical, bosque pluvial montano bajo y bosque pluvial tropical, siendo el bosque muy húmedo montano el que en términos absolutos presenta una ganancia más significativa en su área (cerca a 255 %).
INTRODUCCIÓN	
MÉTODOS	
RESULTADOS	Las ganancias en áreas van desde los 4 km <sup>2</sup> (bosque pluvial tropical) hasta los 4.200 km <sup>2</sup> (bosque húmedo premontano transición tropical), valores aproximados sobre las estimaciones de las áreas esperadas sobre las originales.
DISCUSIÓN	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
AGRADECIMIENTOS	
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	

## DISCUSIÓN

El cambio de la zona de vida de bosque seco tropical hacia bosque húmedo tropical es particularmente importante en términos de conservación del ecosistema puesto que, y de acuerdo con el Instituto Humboldt (1997), el estado de conocimiento de este ecosistema particular es pobre ya que son escasos los lugares en Colombia donde hay inventarios completos de flora y fauna. Adicionalmente, es conocido el grado de perturbación que tienen estos ecosistemas dada la fertilidad de sus suelos, que son sometidos a procesos de intensa transformación y ocupación (Janzen, 1983). Además, se ha evidenciado que los esfuerzos por conservar los relictos existentes, hasta ahora, han sido insuficientes y es necesario emprender acciones urgentes de restauración ecológica que reactiven los procesos sucesionales, ya sea por métodos naturales o asistidos, y conecten los fragmentos aislados de este ecosistema para evitar su posible pérdida (Yepes y Villa, 2010).

Aunque en la revisión que se hizo no se encontraron análisis de este tipo de transformación, el caso contrario sí se ha analizado. De acuerdo con varios autores (Gentry, 1995; Herazo *et al.*, 2017), los bosques que se encuentran en una transición entre el húmedo al seco tropical tienen niveles de diversidad más altos que los bosques secos de los valles interandinos, en este caso los de la jurisdicción de Corantioquia; además, la disponibilidad de agua para estos ecosistemas no es necesariamente perjudicial ya que los mantendría hidratados gran parte del año, lo que implica que exista menos estrés hídrico (Aguilera, 2013).

Adicionalmente, la vegetación de bosque seco tropical —representada por las familias Fabaceae (Caesalpinaceae, Fabaceae y Mimosaceae), Bignoniaceae, Anacardiaceae y Euphorbiaceae (IAvH, 1998), que tienen grandes niveles de rusticidad y tradicionalmente han desarrollado características de resistencia a condiciones extremas de sequía y altas temperaturas—, tiene una biodiversidad única de plantas y animales que se han adaptado a condiciones de estrés hídrico, por lo cual presenta altos niveles de endemismo (IAvH, 1997; Pizano y García, 2014).

De acuerdo con los escenarios de cambio climático, es posible prever que estas familias serán finalmente reemplazadas por otras que tendrán adaptaciones a condiciones hidroclimáticas diferentes, es decir, mayor disponibilidad de humedad debida al incremento en las precipitaciones. Esto sugiere que familias como Moraceae, Rubiaceae, Annonaceae y Meliaceae, entre otras (Toro, 2012), podrán migrar hacia un piso altitudinal mayor y reemplazar a las primeras, ya que el bosque seco muestra una baja resistencia a la perturbación y dificultades de recuperación hacia sus estados originales (IAvH, 1998).

Aunque no se espera que las zonas de vida donde se encuentran ubicados los humedales en la jurisdicción de Corantioquia cambien de forma significativa, se debe recordar que estos ecosistemas representan valor ambiental (FAO, 2018) debido a la posibilidad que ofrecen de regulación del recurso hídrico, de la calidad del aire, del clima y de la erosión, control de inundaciones, reposición de aguas subterráneas, reservorios de biodiversidad, etc, también a que su dinámica hídrica depende fundamentalmente del curso de agua con el que están asociados. Sin embargo, la mayor parte de los humedales de la jurisdicción están asociados a los ríos Magdalena y Cauca, y la forma en que el cambio climático los afectará dependerá de lo que ocurra en la parte superior de sus cuencas, región que está por fuera del alcance de este trabajo.

El último de los ecosistemas de especial interés es el de páramos, en los que, según algunos registros históricos, durante el último máximo glacial su temperatura llegó a ser 7 a 8 °C más baja, el clima se hizo generalmente más seco y la posición altitudinal del límite llegó a descender entre 800 y 1.000 m s. n. m., por debajo de su posición actual. Esta respuesta tan dinámica a los cambios ambientales en el pasado sugiere que la estructura y distribución del ecotono bosque-páramo pudiera cambiar también como respuesta al cambio climático global actual, con un aumento de temperatura esperado de 2 a 4 °C en el norte de Suramérica para el año 2100 (Rull *et al.*, 2007).

Aunque en algunos estudios se deduce que el aumento de temperatura puede resultar, en ausencia de otros disturbios naturales o antrópicos, en un desplazamiento hacia arriba del bosque (o elementos leñosos dominantes del bosque) sobre el páramo (Bader *et al.*, 2007; Suárez y Chacón-Moreno, 2011; Llambí *et al.*, 2013) y, por consiguiente, en alteraciones importantes en los ecosistemas de páramo y sus servicios ecosistémicos relacionados, especialmente, la regulación del agua; en este caso no se identificó un cambio significativo en el periodo de tiempo estudiado para la zona de vida en que se encuentra el páramo, sin embargo, esto no impide que puedan presentarse las migraciones altitudinales descritas.

Esto es particularmente representativo con las especies *Espeletia occidentalis* (frailejón), *Espeleptiosis corimbosa*, *Puya roldanii* (puya), *Blechnum colombiense* (helecho de páramo), *Calamagrostis effusa* (pasto paja), entre otras (Toro y Vanegas, 2003; Wolf *et al.*, 2009), que podrían verse seriamente amenazadas y serían eventualmente reemplazadas por otras de bosque húmedo premontano (correspondientes a gramí-

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

RESUMEN  
PALABRAS CLAVE  
ABSTRACT  
KEY WORDS

neas), cultivos de alta montaña (por ej. la papa y la amapola), encenillos y uvitos de monte, entre otras. Además, el aumento de la temperatura hace que las especies adaptadas a estas temperaturas características del páramo deban migrar hacia zonas más altas y frías en busca de las condiciones ideales para su supervivencia. Con el tiempo, todo el ecosistema migra a las partes más altas de la montaña, perdiendo el páramo su extensión original (Greenpeace, 2013).

INTRODUCCIÓN  
MÉTODOS

## CONCLUSIONES

RESULTADOS  
DISCUSIÓN

Se espera que, de acuerdo a los escenarios de cambio climático desarrollados por el Ideam, el bosque seco tropical –que es un ecosistema estratégico bastante frágil y alrededor del cual existe una identidad cultural significativa en el cañón del río Cauca que atraviesa el departamento de Antioquia–, se encuentre expuesto a un incremento considerable de precipitaciones, por lo tanto podría eventualmente transformar sus condiciones a otras representativas de bosque húmedo tropical, lo que implica retos y cambios en la forma de gestionar este ecosistema, desde el punto de vista de la flora y fauna y de la protección de la estructura del suelo, debido al cambio en los volúmenes de agua disponibles que se esperan en el periodo 2011-2040.

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES  
AGRADECIMIENTOS  
REFERENCIAS  
SOBRE LOS AUTORES

De igual manera, no se evidencian cambios significativos, por lo menos en el corto plazo, en las zonas de vida donde se encuentran los ecosistemas páramos y humedales de la jurisdicción de Corantioquia pues las variaciones en precipitación y temperatura son relativamente bajas de acuerdo con los escenarios de cambio climático propuestos por el Ideam. Sin embargo, para periodos posteriores a los revisados en este artículo, los aumentos drásticos de la temperatura en los páramos provocarían una migración altitudinal hacia las partes más altas de la montaña; además, una reducción en las precipitaciones para los humedales podría, aunado con las malas prácticas de manejo de estos, llevarlos a un estado de perturbación irreversible.

Dado que la temperatura y precipitación son las dos variables que marcan las tendencias del cambio climático, la composición natural de los ecosistemas, –específicamente del bosque seco tropical, humedales, páramos y el ecotono con el bosque altoandino–, podrían verse afectados en diferente medida por las variaciones de dichos parámetros y, por consiguiente, lo haría también la provisión de bienes y servicios ambientales, que son indispensables para el sustento de las comunidades humanas.

Desde las estrategias de adaptación basada en ecosistemas se plantean nuevos retos que deben afrontar la gestión y planificación territorial dirigida a la integridad de los componentes sociales, sectores productivos, biodiversidad y servicios ecosistémicos, promoviendo políticas públicas acordes con estas necesidades (CDB, 2009) por medio de instrumentos claves como los planes de ordenamiento territorial (POT) y los planes de gestión ambiental regional (PGAR) de las corporaciones autónomas regionales.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al grupo de investigación INTEGRA del Tecnológico de Antioquia, operador técnico del convenio CV-1611-214 entre Corantioquia y la Gobernación de Antioquia, en el marco del cual se tuvo la oportunidad de realizar este trabajo.

También al profesor Jorge Montoya Restrepo, líder del grupo de investigación INTEGRA, así como a los demás integrantes del equipo técnico del convenio 1611-214 entre Corantioquia y la Gobernación de Antioquia, por el apoyo ofrecido.

## REFERENCIAS

- Aguilera, M. (2013). *Montes de María: una subregión de economía campesina y empresarial, Documentos de trabajo sobre economía regional* ed. Cartagena, p. 195.
- Bader, M., van Geloof, I. y Rietkerk, M. (2007). High solar radiation hinders tree regeneration above the alpine treeline in northern Ecuador. *Plant Ecology*, 191, 33-45. Doi: 10.1007/s11258-006-9212-6.
- CDB. (2009). *Connecting Biodiversity and Climate Change Mitigation and Adaptation: Report of the Second Ad Hoc Technical Expert Group on Biodiversity and Climate Change*. Technical Series No. 41. Montreal, 126 pp.
- Corantioquia. (2007). *Plan de Gestión Ambiental Regional 2007–2019*. Medellín, Colombia, 316 pp.
- Corantioquia. (2008). Bosques. Disponible en: <http://www.corantioquia.gov.co/sitios/extranetcorantioquia/SitePages/Bosques.aspx>
- Corantioquia, Gobernación de Antioquia, Tecnológico de Antioquia Institución Universitaria. (2017). *Plan Regional para el Cambio Climático en la jurisdicción de Corantioquia, informe preliminar*. Medellín, Colombia, 109 pp.
- DANE. (2011). Estimaciones de población 1985-2005 y proyecciones de población 2005-2020 total departamental por área. Disponible en: <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- Departamento Nacional de Planeación-DNP. (2012). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. Informe Técnico. Departamento Nacional de Planeación. Bogotá D. C., 74 pp.
- Gómez, M. L. (2010). *Fenología reproductiva de especies forestales nativas presentes en la jurisdicción de Corantioquia, un paso hacia su conservación*. Volumen I. Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia. Medellín, Colombia, 228 pp.
- Gentry, A. (1995). *Diversity and floristic composition of neotropical dry forests*. Cambridge: Cambridge University Press. Pp. 146-194.
- Greenpeace. (2009). Cambio climático: futuro negro para los páramos. Colombia. Disponible en: [https://www.greenpeace.org/colombia/Global/colombia/informes/informe\\_todo3.pdf](https://www.greenpeace.org/colombia/Global/colombia/informes/informe_todo3.pdf)
- Greenpeace. (2013). Páramos en peligro: el caso de la minería de carbón en Pisba. Colombia. Disponible en: <http://www.greenpeace.org/colombia/Global/colombia/images/2013/paramos/12/Informe%20P%C3%A1ramos%20en%20peligro.pdf>

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

- RESUMEN Herazo Vitola, F., Mercado Gómez, J. y Mendoza Cifuentes, H. (2017). Estructura y Composición Florística del Bosque Seco Tropical en los Montes de María (Sucre - Colombia). *Ciencia en Desarrollo*, 8(1), 71-82.
- PALABRAS CLAVE
- ABSTRACT Ideam, PNUD, MADS, DNP, Cancillería. (2015). *Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Enfoque Nacional-Regional: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*. Informe Técnico, 279 pp.
- KEY WORDS
- INTRODUCCIÓN Instituto Alexander von Humboldt. (1997). *Caracterización ecológica de cuatro remanentes de Bosque seco Tropical de la región Caribe colombiana*. Grupo de Exploraciones Ecológicas Rápidas, IAVH, Villa de Leyva. pp. 76.
- MÉTODOS
- RESULTADOS Instituto Alexander von Humboldt. (1998). *El bosque seco tropical (bs-T) en Colombia*. Programa de Inventario de la Biodiversidad Grupo de Exploraciones y Monitoreo Ambiental-Gema. pp. 24.
- DISCUSIÓN
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES Janzen, D. H. (1983). Seasonal changes in abundance of large nocturnal cag-beetles (Scarabaeidae) in Costa Rica deciduous forest and adjacent horse pasture. *Oikos*, 41, 274-283.
- AGRADECIMIENTOS
- REFERENCIAS Jiménez, A. M., Urrego, L. E. y Toro, L. J. (2016). Evaluación del comportamiento de incendios de la vegetación en el norte de Antioquia (Colombia): Análisis del paisaje. *Colombia Forestal*, 19(2), 161-180.
- SOBRE LOS AUTORES Junk, W. J., An, S., Finlayson, C. M., Gopal, B., Kvêt, J., Mitchell, S. A. Mitsch, W. J. y Robarts, R. D. (2013). Current state of knowledge regarding the world's wetlands and their future under global climate change: A synthesis. *Aquatic Sciences*, 75, 151-167.
- Llambí, L. D., Puentes, J. y García-Núñez, C. (2013). Spatial relations and population structure of a dominant tree along a treeline ecotone in the Tropical Andes: interactions at gradient and plant-neighborhood scales. *Plant Ecology & Diversity*, 6(3-4), 343-353. Doi: 10.1080/17550874.2013.810312.
- Luteyn, J. L. (1999). Páramos a checklist of plant diversity, geographical distribution, and botanical literature. *Memoirs of the New York Botanical Garden*, 84.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible-MADS. (2016). *Política Nacional de Cambio Climático*. Bogotá D.C., pp. 138.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO. (2018). Servicios ecosistémicos y biodiversidad. Disponible en: <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/background/regulating-services/es/>
- Pizano, C. y H. García (ed). (2014). *El bosque seco tropical en Colombia*. Bogotá D. C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Rangel-Ch, J. O. (2000). La Diversidad Beta: Tipos de vegetación. En J. O. Rangel-Ch. (ed.). *Colombia Diversidad Biótica III. La región de vida paramuna*. Pp. 658-719. Bogotá D. C.: Instituto de Ciencias Naturales-Instituto Alexander von Humboldt.
- Rangel, J. O. (2015). La biodiversidad de Colombia: significado y distribución regional. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 39(151), 176-200.
- Rockström, Johan, et al.; Planetary boundaries research, 2015, disponible en <http://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html>
- Ruiz, D. C. (2014). Análisis histórico y prospectiva del humedal Tierra Blanca. *Perspectiva Geográfica*, 19(1), 125-144.

- Rull, V., Vegas, T., Nogué, S., Montoya, E., Cañellas, N. y Lara, A. (2007). Quaternary paleoclimatology, neotropical biodiversity and potential effects of global warming. *Contrib to Science*, 3(3), 405-413.
- Senhadji-Navarro, K., Ruíz-Ochoa, M. A. Rodríguez-Miranda, J. P. (2017). Estado ecológico de algunos humedales colombianos en los últimos 15 años: Una evaluación prospectiva. *Colombia Forestal*, 20(2), 181-191.
- Segovia-Salgado M. A. y Quijia-Lamiña, P. (2013). Citogeografía de Cuatro Especies de *Polylepis* (Rosaceae) en el Ecuador: información relevante para el manejo y conservación de los bosques Andinos. En Cuesta, F., Sevink, J., Llambí, L. D., De Bièvre, B., Posner, J. (Eds.). *Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos*. Pp. 467-486. Quito: CONDESAN.
- Sklenar, P., Luteyn, J. L., Ulloa-U., C., Jorgensen, P. M. y Dillon, M. O. (2005). Flora generica de los páramos. Guía ilustrada de las plantas vasculares. *Memoirs of The New York Botanical Garden*, 92, 1-499.
- Suarez, P. y Chacón-Moreno, E. (2011). Modelo espacial de distribución del ecotono bosque paramo en los Andes Venezolanos. *Ubicación potencial y escenarios de cambio climático. Ecotrópicos*, 24(1), 3-25.
- Toro-Murillo, J. L. y Vanegas-Alzate, G. L. (2003). *Flora de los páramos y bosques altoandinos del noroccidente medio de Antioquia*. CORANTIOQUIA. 1 ed. Medellín. pp. 180.
- Toro, M. J. L. (2012). *Árboles de Antioquia*. Medellín, Colombia: Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia–Corantioquia. pp. 260.
- UPME. (2017). Sistema de información eléctrico colombiano, capacidad efectiva de generación. Disponible en: [http://www.upme.gov.co/Reports/Default.aspx?ReportPath=%2f-SIEL+UPME%2fGeneraci%C3%B3n%2fCapacidad+Efectiva+de+Generaci%C3%B3n+\(SIN\)](http://www.upme.gov.co/Reports/Default.aspx?ReportPath=%2f-SIEL+UPME%2fGeneraci%C3%B3n%2fCapacidad+Efectiva+de+Generaci%C3%B3n+(SIN))
- Valencia, M. P. y Figueroa, A. (2015). Vulnerabilidad de humedales altoandinos ante procesos de cambio: tendencias del análisis. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 14.
- Wolf, N., Callejas, R., Idárraga, A., Alzate, F., Posada, J. A. y Pulgarín, P. C. (2009). *Diversidad biótica de la zona paramuna del cerro Caramanta en alrededores de la Laguna de Santa Rita, municipio de Andes (Antioquia)*. Informe Técnico. Medellín, Colombia: Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia–Corantioquia. 94 pp.
- Yepes, A. P. y Villa, J. A. (2010). Sucesión vegetal luego de un proceso de restauración ecológica en un fragmento de bosque seco tropical (La Pintada, Antioquia). *Revista Lasallista de Investigación*, 7 (2), 24-34.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

MÉTODOS

RESULTADOS

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

## SOBRE LOS AUTORES

### Luz Bibiana Moscoso Marín

Tecnológico de Antioquia  
bibimos0708@gmail.com

RESUMEN **Natalia Arcila Marín**

PALABRAS CLAVE Tecnológico de Antioquia

ABSTRACT Secretaría de Medio Ambiente-Alcaldía de Medellín  
nataliarcila@gmail.com

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN **Rosember Hernández Restrepo**

MÉTODOS Fundación Con Vida

RESULTADOS Corantioquia  
rosemberhr@gmail.com

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y Citación sugerida  
RECOMENDACIONES Moscoso-Marín, L. B., Arcila-Marín, N. y Hernández-Restrepo, R. (2019). Cambios proyectados a  
2040 en los ecosistemas de la jurisdicción de Corantioquia de acuerdo con los escenarios de cambio  
climático del Ideam. *Biodiversidad en la Práctica*, 4(1), 173-188.

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

**SOBRE LOS AUTORES**

# Biodiversidad EN LA PRÁCTICA

Documentos de trabajo del Instituto Humboldt

VOLUMEN 4 - NÚMERO 1 - 2019 - PP. 189-211

Recibido: 25 de diciembre de 2018 -

Aprobado: 09 de mayo de 2019.

Rodrigo Echeverri Restrepo  
Independiente  
roer42@gmail.com



REFLEXIÓN

---

## Las ciencias forestales y la gestión de la biodiversidad: apuntes históricos para una reivindicación

Forest science and biodiversity management: historical notes of vindication

### RESUMEN

En este artículo se hace un recuento de los aportes de la ingeniería forestal al conocimiento y conservación de la biodiversidad mediante el análisis de trabajos en temas forestales de manejo sostenible, suelos, fauna y flora, mejoramiento genético y dendrocronología, además de contribuciones al conocimiento y zonificación del territorio. La reseña se centra en los aportes de las universidades desde las ciencias forestales desde principios del siglo pasado, y evidencia los aportes al conocimiento y gestión de la biodiversidad desde su práctica. Los primeros profesionales forestales formados en Colombia son de los inicios de la década de los 60 y, desde ese entonces, han aportado algunos estudios tempranos de ecología y geografía botánica realizados en el país. En las últimas décadas el quehacer universitario aborda temas novedosos y complejos que arrojan información de alta calidad sobre el origen, dinámica y circunstancias biofísicas de los bosques naturales y plantaciones de árboles.

**Palabras clave:** Aprovechamiento forestal. Biodiversidad forestal. Ecología forestal. Gestión de biodiversidad forestal. Ingeniería forestal. Instituciones y políticas forestales.

RESUMEN **ABSTRACT**

PALABRAS CLAVE

**ABSTRACT**

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

SOBRE EL AUTOR

In this essay, I present a historic overview of the contributions of forest engineering to the knowledge and management of biodiversity in Colombia, based on the analysis of publications related to sustainable forestry, forest soils, fauna and flora associated with forests, forest genetic improvement, dendrochronology, and land use planning and management. Focused on contributions from forest sciences at universities since the beginning of the last century, it was found that evidently the forest sector has done important contributions to the knowledge and management of biodiversity. The first professionals in the field educated in Colombia appeared in the early sixties, and since then have produced studies of botanical ecology and geography for Colombia. Currently, university work has approached novel and complex subjects that give high-quality information about the origin, dynamics, and biophysical circumstances of natural forests and tree plantations.

**Keywords:** Afforestation. Forest biodiversity management. Forest ecology. Forest engineering. Forest institutions and policies. Forest production. Forestry.

## INTRODUCCIÓN

La situación de la ingeniería forestal en Colombia no deja de ser paradójica. Los ingenieros forestales, después de ser pioneros en la gestión de los recursos forestales en el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente (Inderena), creado en 1968 y disuelto en 1993 con la creación del Ministerio del Medio Ambiente y del Sistema Nacional Ambiental (Sina), fueron desacreditados. Se afianzó la percepción que se trata de profesionales adictos a las especies exóticas, incluso se sugirió que eran profesionales con escasa preparación académica. Estos son prejuicios sin fundamento. Tal como se presenta en este trabajo, la ingeniería forestal ha jugado un papel importante en estudios ecológicos desde los años 50 y 60, y ha hecho significativos aportes al conocimiento y gestión de la biodiversidad. En el presente trabajo, presento los hitos de mi experiencia como ingeniero forestal, enfrentado a diversos contextos cambiantes, en una profesión que resulta importante reivindicar, entre otras razones, para reforzar la rezagada conservación a través del uso sostenible de los recursos biológicos.

## DESARROLLO

### Los estudios universitarios de la ciencia forestales

Las primeras carreras de ingeniería forestal se crearon en Colombia a principios de la década de los 50 en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia en Medellín (Unal-Medellín) y en la Universidad Distrital en Bogotá. En la Nacional, los estudiantes compartieron los dos primeros años lectivos con los de agronomía, en la Distrital de Bogotá, con los de Ingeniería Electrónica. Los

estudios universitarios de temas forestales ya se habían iniciado hacia 1916, cuando la Gobernación de Antioquia reglamentó la Escuela de Agricultura Tropical y Veterinaria, actualmente Facultad de Ciencias Agrarias de la Unal-Medellín, cuyo plan de estudios incluía la asignatura silvicultura, que se veía en el primero y segundo año, y estaba orientada a la reforestación, la conservación y el aprovechamiento de los bosques, además del estudio de las principales maderas industriales e industrias que se pueden desarrollar (Vásquez y Pérez, 2015).

En 1945, durante el Primer Congreso Forestal Nacional en Bogotá, se planteó la necesidad de darle a los estudios forestales su debida atención y se solicitó la creación de programas profesionales en ciencias forestales (Suescum y Peláez, 2009). En este contexto se decide crear la carrera de Ingeniería Forestal en la Facultad Nacional de Agronomía pues una facultad se identificaba con una carrera. Para la segunda carrera se optó por la figura de un instituto, que compartía el profesorado, los laboratorios, las aulas, la biblioteca y las áreas de prácticas, lo mismo que la dirección y administración (Vásquez y Pérez, 2015). Mas tarde se consolidó la Facultad de Ingeniería forestal como tal.

La carrera de Ingeniería Forestal en la Universidad Distrital se creó el 6 de agosto de 1950 en la entonces Universidad Municipal de Bogotá. El presbítero Daniel de Caicedo fue el primer rector y quien inició la formación tecnológica en carreras de tres años en radiotécnica, topografía y ciencias forestales. Se convocaron cerca de 30 bachilleres, que iniciaron sus estudios en 1951, de los cuales 23 terminaron en 1953. Entre ellos, siete obtuvieron el grado de licenciado en Ciencias Forestales y Botánicas, equivalentes a los actuales tecnólogos. A partir de 1960, esta universidad contó con una Facultad de Ingeniería Forestal, cuyo primer decano fue el ingeniero forestal austriaco Alfred Kotschwar que, basado en currículos europeos, dio inició un plan de estudios de cinco años para la formación de ingenieros forestales. Los Ferrocarriles Nacionales cedieron extensos bosques en el Cararé-Opón (Clavijo, 2009) donde se desarrollaron, con el apoyo del gobierno alemán, ensayos de manejo sostenible de bosques y reforestación con especies de la zona, principalmente caracolí (*Anacardium excelsum*), en los años 60 y 70.

La Universidad del Tolima creó una Facultad de Ingeniería Forestal en 1961 y en el siguiente año adoptó su plan de estudios, siguiendo las recomendaciones del “Primer Seminario de la Enseñanza de la Ingeniería Agronómica, la Medicina Veterinaria y Zootecnia y la Ingeniería Forestal”, realizado en Ibagué en 1962, cuyos estudios e investigaciones se orientaban al manejo de bosques y la conservación de suelos y aguas, de acuerdo con los problemas en materia forestal del Tolima. El primer decano y buena parte de sus docentes venían de la Universidad Distrital (Vargas, 2009).

Aunque en Colombia existen otras instituciones dedicadas a la enseñanza de la educación forestal, las tres mencionadas son la piedra fundacional de esta disciplina.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

SOBRE EL AUTOR

**RESUMEN** Además de ellas, en este momento la Universidad Industrial de Santander (UIS) ofrece un programa de Ingeniería Forestal en su sede de Málaga (Santander) –que en los 80 inició como una técnica a principios de los 90 se transformó en el actual programa–, al cual tienen acceso los bachilleres y los tecnólogos forestales a quienes les interese optar por el título de ingeniero. Otros programas se desarrollaron a partir de los años 90 e inicios del siglo XXI en varias universidades públicas y privadas de Colombia, como la Universidad del Cauca (Popayán), que ofrece desde 2003 un programa de Ingeniería Forestal y el Colegio Integrado del Oriente de Caldas IES-CI-NOC en Pensilvania (Caldas), el cual ofrece desde 1985 un programa de técnicas forestales (Hoyos, 2009).

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

**REFERENCIAS**

**SOBRE EL AUTOR**

### Primeros empresarios y entidades que hicieron cultivos de árboles

Las primeras empresas reforestadoras nacieron al final de la primera mitad del siglo pasado como iniciativas de empresarios particulares; entre ellos Pedro Nel Ospina Vásquez, hijo del general y expresidente, y Alfonso Dávila Ortiz. Este último trabajó el cedro (*Cedrela* sp.) y la caoba (*Swietenia macrophylla*), además de utilizar teca (*Tectona grandis*) a lo largo de los cercos. También plantó pequeños lotes con iguá (*Pseudosamanea guachapele*), canaete o nogal cafetero (*Cordia alliodora*), caracolí (*Anacardium excelsum*) y abarco (*Cariniana pyriformis*); utilizó el balsa (*Ochroma logopus*) para darle sombrío a las plantaciones de cedro y caoba y tras notar el buen desarrollo de la teca plantada a lo largo de los cercos, reforestó varios lotes con esta especie (Dávila, 2007). Desde 1949, Pedro Nel Ospina Vásquez inició reforestaciones con teca y abarco en Ayapel (Córdoba), además de cultivos de café con sombrío de nogal cafetero en Antioquia (Berrío, 2007). Cada uno de ellos, en forma independiente, importó teca de Trinidad y Tobago entre 1948 y 1949, donde la habían introducido desde 1913, probablemente de Tenasseim (Birmania o Myanmar) (Echeverri, 1976). Ospina Vásquez trajo semillas y Dávila Ortiz importó pseudoestacas.

Las plantaciones con fines protectores se iniciaron a finales del siglo XIX con pinos (*Pinus* spp.) y cipreses (*Cupressus* spp.) en los Cerros Orientales de Bogotá, donde la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) reforestó en los años 20 y del siglo pasado (Delsa, 1980). A finales del siglo XIX los Cerros Orientales estaban deforestados, a pesar de ser fuentes del acueducto y abarcar las agua los ríos San Francisco y San Cristóbal y las de las quebradas Arzobispo, Las Delicias y La Vieja. En respuesta a esta situación, en 1899 se comenzaron a hacer trabajos de reforestación con pinos y cipreses, y desde entonces ha habido debates relacionados con la reforestación frente al crecimiento espontáneo de vegetación y sobre las especies a utilizar, pues se estaban empleando sobre todo cipreses y eucaliptos (*Eucalyptus* spp.), y en menores cantidades acacias (*Acacia* spp.) y urapanes (*Fraxinus chinensis*). En 1922, la EAAB estimó que llevaba plantados 437600 árboles, principalmente coníferas y eucaliptos, además de varias especies de chusque (*Chusquea* spp.) (Delsa, 1980). En 1924, se suspenden estas plantaciones, porque llegan a la conclusión que lo más adecuado es dejar crecer espontáneamente la vegetación natural, luego de que

el Municipio, hoy el Distrito Capital, hubiera comprado la gran mayoría de predios en donde se hicieron las plantaciones. En esta decisión influyeron los puntos de vista del Hermano Apolinar María y del geólogo Ricardo Lleras Codazzi.

En la década de los 40 se realizaron reforestaciones protectoras en las cuencas del embalse de Piedras Blancas (Medellín) (Bustos y Vanegas, 1975), así como en las del río Blanco (Manizales), Otún (Pereira) y en las inmediaciones del embalse del Neusa (Cundinamarca). Se utilizaron sobre todo pinos, cipreses, eucaliptos y acacias. En las áreas de influencia de estos lugares se plantaron árboles en los linderos de las fincas. También se establecieron pequeños rodales con buenos resultados, lo que dio lugar al establecimiento de bosques en las tierras frías y templadas, por particulares, normalmente en altitudes superiores a los 1700 metros, al igual que en la quebrada Piedras Blancas (Medellín), por parte del acueducto.

En la década de los 60 se incrementaron las plantaciones privadas con fines comerciales, que el gobierno apoyó con créditos, viveros de fomento y corporaciones con objetivos centrados en reforestación. Hacia 1975 se consideraba que los particulares habían tomado la iniciativa en las plantaciones forestales con fines comerciales, mientras que el Estado se ocupaba de reforestaciones protectoras, con excepción de 3.000 hectáreas de plantaciones con fines comerciales en Ayapel (Córdoba), San Benito (Sucre) y el Llanito y Sabana de Torres (Santander) (Bustos y Vanegas, 1975). También en los 60 el Acueducto de Bucaramanga hizo extensas plantaciones con especies nativas en la cuenca del río Tona, bajo la dirección del ingeniero forestal Marcelino Valderrama, uno de los primeros egresados del Instituto Forestal de la Universidad Nacional. El eucalipto (*Eucalyptus globulus*) fue traído a Colombia por Manuel Murillo Toro en 1868 y lo plantó en Ubaté (Cundinamarca). Los cipreses ya formaban parte de los árboles ornamentales de las viejas haciendas caucanas (Berrío, 2007).

### La intervención gubernamental en las reservas forestales

En la década de los 50 y hasta finales de los 60 los ingenieros forestales encuentran oportunidades laborales en el Ministerio de Agricultura (que regulaba la explotación de bosques naturales), al igual que en la Corporación del Valle del Magdalena y el Sinú (CVM), que administraba los recursos naturales y estructuraba un programa para su utilización sostenible de su jurisdicción –cuenca del río Magdalena al norte del río Negro, ríos Nechí y Cauca, al norte del paralelo 7, y los territorios de los departamentos del Atlántico, Bolívar, Córdoba y Magdalena–.

En el Ministerio de Agricultura los ingenieros forestales competían con los agrónomos y abogados por las posiciones relacionadas con bosques, desde las cuales se tramitaban permisos de explotación forestal entre 10 y 20 empresas madereras que comenzaban a gestionar sus concesiones en los manglares del Caribe, y en los baldíos de la costa del Pacífico, el Atrato y Urabá, donde las comunidades afrocolombianas e indígenas eran invisibles y quienes tratadas como grupos de colonos por las empresas

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

SOBRE EL AUTOR

RESUMEN	madereras. Las solicitudes para concesiones forestales debían estar acompañadas por un plan de aprovechamiento y utilización de los bosques, firmado por un profesional forestal competente. Otras resoluciones de la misma época obligaban a los madereros a contratar ingenieros forestales para sus operaciones de extracción maderera (Guaunque, 2009).
PALABRAS CLAVE	
ABSTRACT	
KEY WORDS	
INTRODUCCIÓN	Paralelamente la CVM sentaba las bases para la administración pública de los bosques y otras áreas silvestres mediante un conjunto de acciones que incluía un sistema de control y vigilancia de la explotación forestal y piscícola, ensayos de aclimatación de especies y pequeñas reforestaciones en el Medio y Bajo Magdalena, además de las cuencas de los ríos Gaira y Manzanares en el macizo de la Sierra Nevada de Santa Marta. En los límites de los departamentos de Bolívar y Antioquia se realizó el inventario de los bosques de la serranía de San Lucas, como primer paso para un proyecto para su aprovechamiento maderero e industrial (Ramírez, 2009).
DESARROLLO	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
REFERENCIAS	
SOBRE EL AUTOR	

Por el Decreto 2420 de 1968, se creó el Instituto de Desarrollo de los Recursos Naturales Renovables (Inderena), con las funciones que desempeñaba la División de Recursos Naturales del Ministerio de Agricultura y la CVM, en especial la reglamentación, administración, conservación y fomento de los recursos naturales del país. En cuanto al aprovechamiento de bosques naturales, asumió el otorgamiento y supervisión de las concesiones, licencias y permisos forestales y movilización de productos forestales. Con el Decreto 133 de 1976 se reestructura el sector agropecuario y denomina al Inderena como Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, al que se le asignaron las funciones de protección del medio ambiente y la administración, conservación y manejo de los recursos naturales renovables en el territorio nacional (Guaunque, 2009).

El Inderena le dio énfasis a los planes de ordenación forestal y otorgó 7 permisos sobre 299.357 hectáreas, con plazos entre 10 y 35 años, que se sumaban a los 24 que provenían del Ministerio de Agricultura. No obstante, estos planes eran nominales y reinaba la anarquía en el aprovechamiento de maderas, las cuales eran extraídas de cualquier parte, además de la ilegalidad en su transporte y comercialización, esto implicaba poco o nulo beneficio que la actividad dejaba a los pobladores que dependían del uso de los recursos forestales para apenas subsistir, constituyendo un escenario de baja gobernabilidad forestal (Ramírez, 2009; Orozco, 2009).

La División de Parques Nacionales y Vida Silvestre del Inderena se hizo responsable de los parques que habían sido declarados por de la CVM (Tayrona e Isla de Salamanca) y de dos áreas protegidas (Reserva Biológica de La Macarena a cargo de la Universidad Nacional, y el Parque Nacional Cueva de los Gúacharos, creado en 1960), además del Parque Nacional de Puracé, que desde 1961 había sido declarado Parque Regional Natural del Departamento del Cauca y estaba a cargo de la Universidad del Cauca. En esta transferencia institucional de áreas protegidas se olvidaron del Parque Nacional del Río León, a cargo de la Universidad Nacional, con el que se

pretendió proteger los últimos reductos de los antes extensos cativales, de interés de las empresas madereras, siendo además campo de prácticas del Instituto Forestal de la Universidad Nacional. En 1970 se creó el Territorio Fáunico el Tuparro (Vichada), actualmente Parque Nacional Natural; el Parque Nacional Natural Las Orquídeas –en marzo de 1973–, ubicado en los límites de Antioquia y el Medio Atrato chocoano; el Parque Nacional Natural Los Katíos –en agosto de 1974–, localizado en los límites de Colombia y Panamá –apoyado por el gobierno de Estados Unidos, al que le interesaba como barrera natural para la expansión de la fiebre aftosa–. Otras áreas protegidas de la época fueron el Santuario de Fauna y Flora Los Flamencos –en 1977–, ubicado en el litoral del Caribe en La Guajira, ya en ese entonces amenazado por la explotación de los bosques que rodean el área protegida (Guauque, 2009). El papel de los ingenieros forestales en esta fase de creación de áreas protegidas fue fundamental.

En 1974 se creó la Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (Conif) como un esfuerzo de las empresas madereras y el sector público para cumplir con las obligaciones derivadas de la explotación forestal. Originalmente, se quiso financiar con la tasa de reposición e investigación que pagaban los concesionarios y permisionarios forestales para ejecutar programas de desarrollo social, investigación y reforestación en las áreas forestales otorgadas para aprovechamiento. El Conif también se haría cargo de la obligación de recuperar los volúmenes aprovechados para dar cumplimiento al compromiso de manejar el bosque o reforestar, contraído por las empresas en los contratos de otorgamiento de permisos de aprovechamiento. Esta entidad ha impulsado investigaciones en áreas de manejo sostenible del bosque natural y plantaciones, así como proyectos para el uso y manejo de los recursos forestales, los cuales han dado como resultado innumerables publicaciones, artículos científicos y cursos del alto nivel que se convierten hoy en su más valioso aporte al país. A pesar de sus obligaciones relativas a la recuperación de los bosques utilizados, no cumplió con la misión ya que por razones legales fue imposible transmitirle los pagos de la tasa para ello pagada por los beneficiarios de permisos de aprovechamiento (Ramírez, 2009).

## Manejo forestal sostenible

Para el manejo forestal sostenible se requiere conocer el crecimiento del bosque o de la plantación de árboles. A mediados de los años 80 ya se habían generado herramientas conceptuales y metodológicas en el ámbito académico para darles fundamentación a los planes de ordenación o manejo, e iniciado las investigaciones, modelando el crecimiento de bosques y plantaciones.

La participación de los ingenieros forestales en los bosques naturales se había reducido a unos planes de ordenación o de manejo institucionalmente instituidos. Los crecimientos y rendimientos se establecían según las necesidades del cliente, se desconocían las prácticas de explotación forestal de las comunidades relacionadas con el bosque y se ignoraba la colonización espontánea. Dichos planes realmente

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

SOBRE EL AUTOR

RESUMEN	servían para obtener salvoconductos para la movilización de la madera extraída, que eran obtenidos muchas veces en lugares diferentes a los licenciados. Se estimó así
PALABRAS CLAVE	que el 76 % de la madera utilizada en los múltiples procesos de producción provenía de bosques naturales no manejados (USAID, 2009).
ABSTRACT	
KEY WORDS	Paralelamente, las universidades, en sus programas de Ingeniería Forestal, avanzaban en el desarrollo de elementos para el manejo de bosques tropicales en proyectos como el del Carare-Opón en el Magdalena Medio –para la producción de polines de ferrocarril, liderado por la Universidad Distrital con la cooperación del gobierno alemán–, las investigaciones del Centro Forestal Tropical del Bajo Calima –ubicado en el delta del río San Juan, a cargo de la Universidad del Tolima– y el Proyecto Guandal –ubicado en los bosques comerciales inundables del litoral del Pacífico nariñense (del Valle 1997), ejecutado por la Universidad Nacional apoyada por Corponariño y el Reino de los Países Bajos–.
INTRODUCCIÓN	
DESARROLLO	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
REFERENCIAS	
SOBRE EL AUTOR	

El Proyecto Carare-Opón se desarrolló en 124000 hectáreas –ubicadas entre la cordillera Oriental y los ríos Magdalena, Opón y Guayabito–, cedidas a Universidad Distrital Francisco José de Caldas por los Ferrocarriles Nacionales en 1966, para que transformara la selva en un bosque manejado que los abasteciera de traviesas para sus vías. Fue apoyado por el Gobierno nacional con un aporte anual de poco más de un millón de pesos y apoyado por el gobierno alemán. El proyecto, además de ser un campo de prácticas para los programas de Ingeniería Forestal de las tres universidades, se proponía transformar el bosque tropical heterogéneo en uno industrial homogéneo con mayor presencia de especies maderables comerciales, complementado con reforestación con especies de la zona, principalmente abarco (*Cariniana pyriformis*), unido a procesos de transformación de la madera (Guaque, 2009b).

Para el manejo sostenible de los bosques inundables del delta del río Patía se estructuró el Proyecto Guandal a partir del reconocimiento de las prácticas de explotación forestal persistente de las comunidades afrocolombianas del litoral de Pacífico en Cauca y Nariño (del Valle 1996; del Valle y Restrepo, 1996). Se origina por la asesoría que la Universidad Nacional dio a la Cooperativa Triplex El Cóndor, propiedad de los antiguos trabajadores de la empresa Maderas y Chapas de Nariño, la cual quebró, a raíz de lo cual quedó de propiedad de los trabajadores en 1983 como pago de las deudas con ellos contraídas por salarios y prestaciones sociales. La Unal-Medellín decidió colaborar con los nuevos propietarios (del Valle, 1994). Estas asesorías pusieron en contacto al grupo de profesores y estudiantes de la Unal con los bosques de guandal (bosques mixtos en humedales forestales), lo que los llevó a comprender una dimensión hasta ese momento esquiva y formalmente desconocida, tanto en las ciencias sociales como naturales de Colombia, esto es, unos bosques que persistían a pesar de haber sido explotados durante varias décadas y seguían produciendo ingresos a la economía local, contribuyendo con un altísimo porcentaje de madera al consumo nacional. También se dieron cuenta de la existencia de un campesinado silvicultor que se debatía en una gran miseria, dadas las relaciones económicas de explotación

que allí prevalecían. Estos hechos permitieron plantear que allí podrían construirse las bases del aprovechamiento sostenible por parte de las comunidades de los bosques naturales del delta del río Patía, para lo que iniciaron estudios tendientes a conocer la dinámica y la estructura de estos bosques. En marzo de 1984 se establecieron las primeras parcelas permanentes, que se medían anualmente y se iban ampliando a otros sitios, pero los recursos personales de los docentes y de la Universidad resultaban insuficientes por lo que buscaron cooperación internacional, la cual finalmente se concretó en un apoyo económico del Reino de los Países Bajos a través del Plan de Acción Forestal para Colombia (PAFC), que dio lugar a una primera fase del Proyecto Guandal, ejecutada entre 1992 y 1994 (del Valle, 1994).

El Proyecto Guandal estudió integralmente, con datos de parcelas comenzadas a instalar en 1984, los bosques de guandal y sus interrelaciones con las comunidades afrocolombianas e indígenas que los han utilizado por décadas, buscando fundamentar el aprovechamiento persistente que localmente se hacía, reconocido por los investigadores universitarios. que identificaron a las comunidades como silvicultores empíricos. En este campo, se ocuparon del estudio de su riqueza y diversidad, estructura horizontal y vertical, crecimiento de bosques explotados y sus respuestas a entresacas, ingreso y mortalidad de especies en bosques de segundo crecimiento y propagación vegetativa del sajo (*Camposperma panamensis*) y el cuángare (*Otoba parvifolia*), entre otros temas. Respecto a su manejo, por análisis multivariado determinaron los volúmenes de los principales tipos de bosque y la posibilidad de corta anual para un aprovechamiento persistente, exploraron las potencialidades del manejo por entresacas y plantearon alternativas de manejo de bosques explotados. También abordaron temas de aprovechamiento e industria forestal, la caracterización etnobotánica de los bosques y áreas cultivadas, así como de las prácticas agroforestales, la evaluación económica del aprovechamiento forestal y su reseña histórica. Sobre lo anterior se publicaron 76 artículos, relacionados en una bibliografía preparada por del Valle (1994) al final de la primera fase del proyecto. Sería interesante averiguar qué tanto se ha utilizado esta información en los planes de manejo de territorios colectivos y resguardos indígenas, cuyos líderes recibieron copia de ellas por parte de la Universidad.

Desde hace más de 20 años se han desarrollado modelos matemáticos sobre el crecimiento de bosques tropicales. Con la información colectada en el Proyecto Guandal se han hecho estimaciones del crecimiento diamétrico por medio de modelos no lineales en los bosques de guandal (del Valle, 1997); León-Peláez y Giraldo (2000) evaluaron en el departamento de Antioquia el crecimiento diamétrico del roble (*Quercus humboldtii*) y calcularon su tasa de incremento; Lozano *et al.* (2012) presentaron los resultados de las mediciones realizadas en el Tolima al caracolí (*Anacardium excelsum*) en 4 mediciones diamétricas sucesivas, entre los años 2008-2010 –calcularon la tasa de incremento diamétrico por medio de modelos no lineales y el tiempo que requiere la especie para lograr el diámetro asintótico mediante modelos no lineales.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

SOBRE EL AUTOR

RESUMEN	El Conif, mediante un convenio para el fortalecimiento institucional para el orde-
PALABRAS CLAVE	namiento sostenible de plantaciones forestales en Colombia –con el Ministerio del
ABSTRACT	Medio Ambiente y el apoyo de la Organización Internacional de Maderas Tropica-
KEY WORDS	les (OIMT)–, desarrolló el software <i>Silvo</i> para la administración del Certificado de
INTRODUCCIÓN	Incentivo Forestal (CIF), que realiza la descripción de los procesos relacionados
DESARROLLO	con la asignación del certificado a los reforestadores, que es un reconocimiento en
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	dinero que hace el Gobierno para cubrir parte de los gastos de establecimiento y
REFERENCIAS	mantenimiento. Este instrumento considera que el bosque plantado que beneficia al
SOBRE EL AUTOR	propietario, con sus productos comerciales, también beneficia a la sociedad en general
	con funciones ambientales como regulación hídrica, recuperación de suelos y el
	manejo del paisaje bajo los criterios de conectividad, conservación y mejoramiento
	de hábitats (Vélez y Ortiz, 1999; Vélez, 2009). Con estos desarrollos otras entidades
	pueden proyectar los resultados de prácticas de establecimiento y su rendimiento.
	Como modelo de simulación, esta herramienta facilita la elaboración de los planes
	de establecimiento y manejo forestal en las solicitudes del CIF. En el futuro, cuando
	se cuente con información biológica más precisa, los planes forestales serían parte
	integrante del <i>Silvo</i> (Vélez y Ortiz, 1999). La información biológica que estos autores
	reclamaban se comenzó a recolectar desde principios del presente siglo. Hoy se han
	replicado y precisado los modelos de crecimiento desarrollados desde los 80, los
	cuales deben haber apoyado la formulación de planes de manejo de grandes núcleos
	de plantaciones forestales como los de Smurfit Kappa Colombia, Pizano, Refocosta,
	Proyectos Forestales, Propal y Tablemac. Hay trabajos terminados y en curso que
	comprenden la mayor parte de las especies de interés para las reforestaciones comerciales,
	cuya referencia supera los alcances de este documento.

## Suelos forestales y ciclos de nutrientes

Los suelos sobre los que crecen los bosques son parte de ellos y los ingenieros forestales les han dedicado parte de sus estudios. Los suelos sustentan a los bosques y en conjunto son dos partes del mismo sistema. El término suelo forestal comprende la porción de la superficie de la tierra formada por material mineral y orgánico, penetrada por cantidades variables de agua y aire, que sirve de medio para la mantención de la vegetación forestal, y es el resultado de procesos pedogenéticos sustentados en la descomposición de la hojarasca forestal que aporta materia orgánica, en la acción de las raíces de los árboles que penetran el suelo mejorando la infiltración de agua y oxígeno y en organismos específicos que dependen de la presencia de especies forestales y que proporcionan agua y nutrientes a los árboles, en unas condiciones de temperatura superficial regulada por la vegetación misma, como es el caso de las micorrizas (Vásquez, 2001). Cuando se reforestan pastizales con suelos degradados por el pastoreo –generalmente compactados y con erosión hídrica superficial moderada– se inicia también un proceso de reconversión de los suelos a su carácter de suelo forestal. Investigaciones recientes han encontrado que las plantaciones mejoran las condiciones físicas y biológicas de los suelos de los antiguos pastizales pero que su compactación persiste (Vásquez, 2017). Las micorrizas, ampliamente utilizadas en la

agricultura, fueron señaladas en Colombia por la ingeniería forestal desde la década de los 60 con ensayos de aclimatación de especies (principalmente con coníferas), con mejores resultados si infectaban los suelos con hongos micorrizógenos, que se utilizan como fertilizantes en cultivos y plantaciones. Aunque en la mayor parte de los casos el suelo contiene propágulos micorrizógenos nativos, la inoculación es recomendable para introducir cepas eficientes y competitivas (Vásquez, 2001).

Desde la década del 70 Gonzalo de las Salas, inicialmente con el apoyo y orientación del Dr. Henio von Christen, estudió las relaciones suelo-clima-vegetación en la descripción estática y dinámica de ecosistemas forestales, en la valoración de la materia orgánica del suelo y en los ciclos de elementos químicos. Con estos análisis valora ecosistemas forestales de América tropical y el papel del suelo como componente del sistemas de producción agrícola de baja tecnología y de la agricultura migratoria y de la ladera, al igual que el suelo bajo producción pastoril y agrosilvopastoril y el manejo de cuencas hidrográficas (de las Salas, 1987).

Castellanos y León (2010) estudiaron durante un año la producción de hojarasca, el retorno y la reabsorción de nutrientes en plantaciones de acacia (*Acacia mangium*) establecidas en suelos degradados por minería aurífera en la región del Bajo Cauca colombiano. Concluyeron que esta especie tiene un gran potencial en la recuperación de suelos degradados mediante el restablecimiento de los procesos biogeoquímicos –poco estudiados en los bosques naturales a pesar de ser ciclos actores principales en el sostenimiento de bosques enormes en condiciones edáficas críticas por la oferta de nutrientes, anegamiento o salinidad. Hay numerosos trabajos que analizan el papel de los suelos en la biodiversidad de bosques amazónicos de (Duivenvoorden y Lips, 1995) y el reciclaje de nutrientes en los bosques de guandal del río Patía (del Valle, 2003). La mención de los estudios de los suelos desde la óptica de las ciencias forestales deja claro que su aproximación es muy distinta a la de la agronomía, que trata los suelos con fertilización y enmiendas. Los forestales también las utilizan pero únicamente en las primeras etapas del establecimiento de plantaciones forestales, principalmente cuando se hacen en suelos cuyo uso anterior se dedicaba a pastos y habían sido compactados por el pisoteo del ganado, que es el caso de muchísimas, casi todas, las áreas que se reforestan en la zona andina colombiana.

## La fauna y la flora

La fauna y la flora son otros componentes integrantes del bosque. Las aves e insectos juegan destacado papel en la polinización y dispersión de semillas y en los procesos de descomposición de la hojarasca y otros residuos vegetales que hacen parte de los ciclos biogeoquímicos. Los árboles proporcionan a la fauna y flora silvestres hábitats adecuados y proveen productos útiles para los habitantes del bosque y los empresarios. Esto explica la presencia de la asignatura “Fauna silvestre” en los currículos de pregrado de Ingeniería Forestal, además de investigaciones sobre estos temas desde los orígenes de la carrera.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

SOBRE EL AUTOR

**RESUMEN** En la década de los 60 la tesis de grado en ingeniería forestal de Humberto Álvarez y Óscar Escobar, orientados por el biólogo José Ignacio Borrero en ese entonces profesor de Fauna Silvestre en el pregrado de ingeniería forestal, fue sobre vegetación y avifauna en el fallido Parque Nacional del Río León. Esta investigación fue el primer paso de Humberto Álvarez en el amplio campo de la ornitología, a la que ha dedicado su vida. Esa tesis es un registro de la vegetación y fauna de los cativales que no se pudieron conservar.

**PALABRAS CLAVE**

**ABSTRACT**

**KEY WORDS**

**INTRODUCCIÓN**

**DESARROLLO** En la década de los 70 y los inicios de los 80, los temas de fauna y flora silvestre fueron relegados. A mediados de los 80, Norman Alzate Cano (Azate, 1987) –en su tesis de pregrado de ingeniería forestal estudió la relación mutualista entre los guacharos (*Steatornis caripensis*) y el comino (*Aniba perutilis*)– encontró que el guácharo, ave nocturna que se alimenta de frutos, ubica olfativamente los frutos del comino, los cuales pela e ingiere enteros, digiere el pericarpio comestible y regurgita la semilla intacta en los suelos de sus rutas nocturnas y en las cuevas donde pasa el día –en cuyo piso se van acumulando las semillas–, que ofrecen un suelo muy rico por la descomposición de residuos orgánicos y la actividad de diversos organismos como cucarachas y escarabajos, además de otros invertebrados que prosperan en el suelo, todo esto produce la formación de humus sobre el cual geminan centenares de semillas de comino. Demuestra Alzate que es posible que el proceso contenga factores que disminuyan la latencia de las semillas.

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

**REFERENCIAS**

**SOBRE EL AUTOR**

En la década de los 90 se llevaron a cabo estudios sobre el impacto de las plantaciones forestales en la biodiversidad del nogal cafetero (*Cordia alliodora*) (Vélez, 1994), bosques de roble (*Quercus humboldtii*) (León, 2007), rastrojos altos, rastrojos bajos y de pátula (*Pinus patula*) (Vélez, 1997), ubicadas en el centro de Antioquia. Este último autor el mayor número de especies e individuos en el robledal, mientras que los menores correspondieron a la plantación forestal y los valores intermedios a los rastrojos altos y bajos, en ese orden.

Hoyos (2007) hizo una revisión de los trabajos que han evaluado el impacto en la biodiversidad y el suelo de las plantaciones con especies exóticas: Moreno (1997), Jaramillo (1991), Murcia (1997), Cavalier y Tobler (1998), Cavalier y Santos (1999). Estas investigaciones se centraron en plantaciones establecidas en los 60 para protección de cuencas hidrográficas, la mayoría de ellas posteriormente abandonadas. Encontró que no había hechos contundentes que permitieran afirmar que las plantaciones de coníferas tuvieran un efecto negativo en las propiedades químicas de los suelos, especialmente en su grado de acidez, ni presentaran diferencias significativas con los suelos de los bosques naturales. Con respecto a la diversidad de especies vegetales los resultados son coherentes con los de Gladys Vélez (1997). Respecto al efecto de las plantaciones en el ciclo del agua no encontraron diferencias significativas con el ciclo en los bosques naturales.

En 2012 Carlos Esteban Lara Vásquez, investigador de Departamento de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional en Medellín, descubrió una nueva especie de ave –trabajando en un equipo que incluyó a Andrés Cuervo (Universidad Estatal de Louisiana, EE. UU.), Sandra Valderrama (Universidad de Wakato, Nueva Zelandia), Daniel Cadena (Universidad de los Andes) y Diego Calderón (Colombia-Birding)–, se trata del cucarachero paisa (*Thryophilus sernai*). Esta ave ocupa los últimos relictos de bosque seco tropical en el cañón del río Cauca en el tramo de Ituango a La Pintada y su alimentación comprende grillos, cucarrones, chinches, mariposas y orugas (Ruiz, 2012).

La identificación de las distintas especies arbóreas que componen un bosque es un asunto crucial en un levantamiento forestal, para lo cual Holdridge y Tosi durante esta década desarrollaron una metodología para la identificación de especies arbóreas con base en características macro, y distinguibles en el árbol en pie –como la forma y posición de las hojas, los exudados del tronco y de las hojas, el color tamaño y forma de las hojas y flores, entre otras–. Esta metodología llegó a Colombia con César Pérez (q.e.p.d), que la introdujo a la Unal-Medellín, y Jiménez Zaa, que la presentó en la Universidad Distrital. En este momento la dendrología se afianzó y contribuyó, en mayor medida, a la caracterización florística de los tipos de bosque del mapa elaborado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Igac). Estos aportes y la formación de toda una pléyade de dendrólogos (León Morales, Enrique Acero, y ahora los más recientes William Ariza y Lyndon Carvajal) se le debe a Gilberto Mahecha, quien es un ingeniero forestal de origen campesino que aprendió a reconocer los árboles con su abuelo a quien acompañaba en sus recorridos por la cuenca del río Negro desde el Magdalena hasta los páramos.

## Mejoramiento genético forestal

El primer paso, fundamental, para tener plantaciones forestales altamente productivas es la selección correcta de las especies, desde el punto de vista ecológico y económico, para lo cual los programas de mejoramiento genético son un valioso apoyo para aumentar su productividad y adaptabilidad, al igual que la conservación a largo plazo de la diversidad genética existente. El mejoramiento genético forestal es la aplicación de los principios básicos de la genética a las especies de interés. Permiten elevar los rendimientos y la resistencia a factores adversos, contribuyen a la ampliación y conservación de la base genética de las especies trabajadas. Para iniciar cualquier programa de mejoramiento genético es necesario conocer previamente la magnitud y distribución de la variabilidad genética disponible (Sotolongo *et al.*, s.f.). Estos son importantes aportes de la ingeniería forestal a la conservación de la biodiversidad, en tanto que buscan mantener las características fenotípicas seleccionadas, para lo que se establecen huertos semilleros y rodales semilleros, también se localizan áreas naturales que comprendan una amplia gama de características de la especie de interés. Detrás de un rodal o huerto semillero hay un, relativamente largo, proceso de

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

SOBRE EL AUTOR

**RESUMEN** investigación que inicia con la selección de árboles semilleros que, cuando se trata de semillas para plantaciones industriales, contengan individuos maduros que ya hayan producido semillas y sean dominantes, es decir, que su copa sobresalga con relación de los árboles a su alrededor, con fuste recto, sin ramificaciones bajas y con copas compactas, pequeñas y bien provistas de follaje. No deben seleccionarse árboles con huellas de ataques de hongos o insectos. De esta manera se obtienen mejoras genéticas de la descendencia de los árboles seleccionados, si estos forman parte de rodales con buena proporción de árboles superiores (Vásquez, 2001).

**PALABRAS CLAVE**

**ABSTRACT**

**KEY WORDS**

**INTRODUCCIÓN**

**DESARROLLO**

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

**REFERENCIAS**

**SOBRE EL AUTOR**

En 1973 la regional Antioquia del Inderena, con la colaboración de Cartón de Colombia, sentó las bases de programas de mejoramiento genético de ciprés (*Cupressus* sp.) y de pátula (*Pinus patula*). Su primer paso fue la inspección, por parte de los expertos, de las plantaciones potencialmente productoras de semillas de alta calidad, en árboles en edades entre 15 y 25 años, para seleccionar 35 “candidatos” de ciprés y 20 de pátula significativamente superiores. Se recolectó en cada uno de ellos la semilla para los ensayos de progenie de polinización abierta, estableciendo una red de parcelas en diferentes condiciones edafoclimáticas de Antioquia y el viejo Caldas, además de yemas para su propagación vegetativa para los bancos clonales, ubicados en Piedras Blancas y en el municipio de Caldas (Antioquia). En 1980 se establecieron dos huertos semilleros clonales, uno en un vivero de la Secretaria de Agricultura de Antioquia en Rionegro y otro en Popayán (Cauca). El de Antioquia fue talado y el de Popayán ha logrado sobrevivir a los cambios en la institucionalidad. Sin embargo, los programas de investigación fueron abandonados, con lo que se ignoró lo estratégico del abastecimiento de semilla mejorada y no se tuvo en cuenta el detrimento económico de cuantiosas inversiones abandonadas.

De los rodales semilleros se obtiene, además, información sobre su potencial genético, el cual puede ser mejorado considerablemente y probado a través de otros procesos de mejoramiento más avanzados. El rodal semillero es el paso previo al huerto semillero que Zobel y Talbert (1958), citado por Vásquez (2011), definen “(...) como una plantación de árboles, mejorados genéticamente con aislamiento para reducir al máximo la polinización desde fuentes genéticamente inferiores y con un manejo intensivo para producir frecuentes y abundantes cosechas de fácil recolección”. La técnica utilizada en Colombia para el establecimiento de huertos semilleros ha sido la propagación vegetativa de los mejores individuos (Vásquez, 2001).

La empresa Smurfit Kappa Colombia incluyó en su programa de investigaciones la genética de las especies, su fisiología, su capacidad de propagarse tanto sexual como asexualmente y su nivel de tolerancia a las plagas y enfermedades, así como a las condiciones adversas que se puedan presentar. Estas investigaciones las llevó a cabo con la colaboración de diferentes entidades como Camcore, la Universidad de Carolina del Norte y en la Universidad de Florida (Estados Unidos). Como resultado se dispone de información técnica sobre los avances en selección y adaptación de especies, producción de semillas mejoradas, técnicas de producción de plántulas,

métodos de establecimiento y mantenimiento de plantaciones, programas de manejo y control de plagas forestales y técnicas de extracción. Como resultado de lo anterior esta empresa dispone de paquetes tecnológicos para cultivos de árboles con *Pinus kesiya*, *P. tecunumanii* y *P. maximinoi*, *Eucaliptus grandis* y *E. urophylla*. Igualmente, ha desarrollado un programa de protección fitosanitaria de plantaciones comerciales forestales basado en el manejo integrado de plagas y enfermedades, cuyo control es obligatorio por razones prácticas y económicas, haciendo una utilización marginal del control químico.

Pizano S. A. desarrolló un huerto semillero clonal de ceiba roja (*Pochota quinata*) y otro de *Gmelina arborea* y, al igual que Refocosta ha incorporado dentro de sus estrategias de desarrollo programas de mejoramiento genético para aumentar la productividad por unidad de área. La Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (Conif inició un programa de investigación en semillas con mayor demanda en proyectos de reforestación comercial, para lo que estableció cuatro huertos semilleros con teca (*Tectona grandis*), aliso (*Alnus acuminata*), roble (*Tabebuia rosea*) y nogal (*Cordia alliodora*), de los que se espera obtener producción de semillas en el mediano plazo (4-6 años), aunque el huerto de roble ya inició procesos de fructificación. Estos huertos se han establecido en conjunto con empresas pertenecientes a la Cooperativa Colombiana de Mejoramiento Genético Forestal (Comfore), organización sin ánimo de lucro creada en 1998, basada en el trabajo asociativo, que tiene como fin garantizar el suministro y producción de material vegetal que garantice la conservación de los recursos genéticos forestales del país (Trujillo, s. f.). Estudios similares del crecimiento del nogal cafetero (*Cordia alliodora*) fueron llevados a cabo por Escobar y León (1979) en medio de cafetales.

## La dendrocronología

Los anillos de crecimiento de los árboles son bandas de células producidas por el cambium vascular de algunas plantas leñosas durante un período. La dendrocronología utiliza la información contenida en los anillos de crecimiento para inferir las condiciones ambientales a lo largo del tiempo en que se han desarrollado la planta. La información ambiental (precipitaciones, temperaturas, inundaciones) se puede obtener del ancho de los anillos, también por la densidad de la madera a lo largo del año, su densidad de poros y el contenido de isótopos (Jiménez, 2011). También permite reconstruir el crecimiento de los árboles, dato indispensable para los planes de manejo forestal sostenible, que tradicionalmente se obtiene en parcelas permanentes que aportan información sobre el crecimiento de los árboles tras muchos años de costosas mediciones, casi nunca con resolución anual y durante solo una fracción de la vida de los árboles. Es una hipótesis ampliamente aceptada que los anillos de los árboles tropicales y su anualidad tienen un componente genético muy importante; no obstante, el ambiente ejerce influencia en su ancho, densidad y porosidad (Rivera, 2013). El nogal cafetero (*Cordia alliodora*) fue la primera especie arbórea de América tropical, cuyos anillos de crecimiento fueron estudiados en 1954 por César

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

SOBRE EL AUTOR

**RESUMEN** Pérez Figueroa en su tesis de grado en Turrialba (Costa Rica), uno de los primeros docentes del Instituto Forestal de la Universidad Nacional, quien supuso acertadamente que eran anuales.

**ABSTRACT**

**KEY WORDS**

**INTRODUCCIÓN**

**DESARROLLO**

**CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES**

**REFERENCIAS**

**SOBRE EL AUTOR**

En la Unal-Medellín, el grupo de investigación Bosques y cambio climático, es dirigido por el profesor Jorge Ignacio del Valle, que inicialmente estudió los anillos anuales de dos especies. La primera fue el abarco de los alrededores de Riosucio en el Bajo Atrato (Aramburo, 1985) y la *Albizia* sp de la ribera del río Porce al norte de Medellín en dirección al río Magdalena. Los estudios del abarco han arrojado información sobre el clima en la cuenca del Atrato en los últimos 150 años, aporte muy importante si se tiene en cuenta que los registros meteorológicos en esta zona llegan a poco más de 20 años. También han explorado el potencial de la dendroclimatología para el estudio del clima del pasado en regiones tropicales mediante estudios realizados en tres ecosistemas contrastantes de Colombia, en los que demuestran la presencia de anillos de crecimiento en cada uno de ellos, así:

- La densidad de los anillos de crecimiento de *Rhizophora mangle* en la bahía de Cispatá (Córdoba) se relaciona con la precipitación (Ramírez *et al.*, 2010).
- El ancho de los anillos de crecimiento de *Parkinsonia praecox* y *Capparis odoratissima* en la media Guajira da cuenta de la precipitación, la temperatura del aire y la temperatura superficial del mar (Ramírez y Del Valle, 2011). El ancho de los anillos de crecimiento de *Prioria copaifera* da testimonio de las alturas limnimétricas del río Atrato.

Estos resultados demuestran la aplicabilidad y el potencial de la dendroclimatología en regiones tropicales (Herrera y Del Valle, 2011; Del Valle *et al.*, 2012).

La dendrocronología ofrece grandes posibilidades a los principales desafíos de las ciencias forestales en Colombia, como muy bien lo expresa la ingeniera forestal Carolina Rivera (2013), quien señala que las funciones respuesta son una herramienta muy poderosa para estudiar la ecología de las especies pues permiten determinar el grado de asociación existente entre diversas variables ambientales instrumentales, al determinar en muy corto plazo la respuesta de los árboles tropicales a diversas expresiones de la temperatura (máxima, media, mínima), la precipitación, el brillo y radiación solar, entre otras variables, año por año y mes por mes. Además, permite dilucidar en qué medida el cambio climático actual es solo de origen antrópico o si existen también causas naturales, y si, efectivamente, el aumento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> acelera la dinámica de los bosques tropicales. También hace posible estudiar, a bajo costo y en corto tiempo, el efecto de la dinámica de claros en las selvas tropicales mediante los anillos de crecimiento de los árboles tropicales (Baker *et al.*, 2005; Brien *et al.*, 2005).

La datación de cronosecuencias, mediante los anillos de los árboles para el estudio de la sucesión en los bosques tropicales, ha demostrado ser una herramienta muy eficaz (Brienen *et al.*, 2009). Es difícil predecir el clima dadas sus fluctuaciones, además, para identificar sus tendencias se requiere determinar, con anterioridad, su comportamiento pasado, por lo que las reconstrucciones con registros *proxy* son especialmente necesarias en el trópico, en tanto que los registros instrumentales son de corta duración y baja resolución espacial. Esto limita la identificación de señales de cambio climático, particularmente de los eventos de frecuencia media y baja y de las tendencias que determinen si las variables climáticas aumentan o se reducen a largo plazo por efecto del cambio climático global (Bradley, 1999). De todos los registros *proxy*, los anillos de los árboles son los más empleados debido a su abundancia y bajo costo para muestrearlos, también por la sensibilidad de los anillos de crecimiento de los árboles tropicales a eventos de media y baja frecuencia (Jenkins, 2009; Cook *et al.*, 2010), lo que seguramente estimulará en el futuro su empleo más generalizado.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

SOBRE EL AUTOR

## Cartografía ecológica y zonificación ambiental del territorio

El manejo de bosques implica la consideración de extensos territorios, por lo que la fotointerpretación y la cartografía son incluidos en los currículos de los pregrados, conjuntamente con la Ecología, como ciencia que explica dónde están los seres vivos y por qué están ahí enfoque rector de las cátedras de ecología del profesor César Pérez Figueroa. Estas herramientas han sido utilizadas desde los años 60 para el manejo de cuencas hidrográficas y para la elaboración de inventarios forestales, con zonificaciones en distintas escalas, tareas que generaron habilidades que convirtieron a los ingenieros forestales en protagonistas en la caracterización del territorio para propuestas de desarrollo y, paralelamente, en la interpretación de imágenes de sensores remotos y la estructuración de bases de datos georeferenciadas.

El sistema de clasificación basado en zonas de vida contempla regiones latitudinales dentro de las cuales se identifican pisos altitudinales que comprenden varias zonas de vida, diferenciadas por rangos de precipitación media anual. Las zonas de vida se subdividen en asociaciones vegetales, las cuales, conjuntamente con los usos de la tierra, son las unidades primarias del sistema de clasificación; vale la pena mencionar que en cada una de ellas la vegetación tiene una fisonomía particular y distintos usos de la tierra, lo que permite su identificación en el terreno por la lectura del paisaje, justamente lo que hacía el profesor César Pérez en sus prácticas de campo.

En 1961 Luis Sigifredo Espinal hizo un mapa de zonas de vida del departamento de Antioquia (Espinal, s.f.) como tesis de grado, para lo que contó con la ayuda y asistencia de los doctores Leslie R. Holdridge, Joseph Tosi Jr. y César Pérez, además de tomar parte ocasionalmente los doctores Elmo Montenegro, Mario Cárdenas y Oswaldo Vivanco. Con base en recorridos terrestres por todo el departamento, y con la poca información meteorológica de que se disponía en ese entonces, se delimitaron

RESUMEN	las zonas de vida, cuya descripción incluía listas de los árboles que se ubicaban en ellas. Con un formato similar, se elaboró en 1963 el mapa de zonas de vida de Colombia a escala 1:1.000.000 –precisado y ampliado a escala 1:500.000 en 1999–, que
PALABRAS CLAVE	diferencia 19 zonas de vida y varias transiciones, que vienen a ser los macroclimas de Colombia (Espinal y Montenegro 1963). Fue un avance importante si se tiene en
ABSTRACT	cuenta que esa época se hablaba de clima cálido, templado y frío, en áreas húmedas o secas, además de los páramos y nevados. Este mapa ha sido referencia para los
KEY WORDS	ingenieros forestales en lo relativo al clima pero no se conocen trabajos que lleguen a asociaciones vegetales y etapas de la sucesión, a excepción de los llevados a cabo
INTRODUCCIÓN	por César Pérez en las cuencas de los ríos Gaira y Manzanares en el macizo de la Sierra Nevada de Santa Marta, en la cuenca alta del río Lebrija, en la escarpa de la
DESARROLLO	meseta de Bucaramanga, en la zona inundada por el embalse Peñol-Guatapé y en el área de influencia de la Hidroeléctrica de San Carlos. En estos trabajos se llegaba a
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	una gran cantidad de pequeñas unidades cartográficas intrincadamente asociadas, las cuales son de baja utilidad en procesos de planificación territorial.
REFERENCIAS	
SOBRE EL AUTOR	

La teoría ecológica del paisaje propuso metodologías para la cartografía de unidades de paisaje, cuyos factores formadores son el clima, la geología superficial, la fisiografía, la vegetación y el uso de la tierra, para mencionar los principales. Con base en esta metodología, el Instituto Geográfico “Agustín Codazzi” realizó un mapa de unidades de paisaje del Urabá chocoano y el Bajo Atrato (Echeverri *et al.*, 1995), utilizando imágenes de radar tomadas con ese propósito, con base en las cuales se fundamentan en bases de datos georeferenciadas cuyas unidades primarias son la unidades de paisaje delimitadas. Este trabajo se hizo como ilustración de una propuesta metodológica para el mismo mapa –pero de la totalidad de la región biogeográfica del Pacífico, área comprendida por las imágenes de radar–, elaborado haciendo a un lado la propuesta metodológica arriba referida. Para la formulación de su plan de manejo de los Cerros Orientales de Bogotá Rodrigo Echeverri hizo una zonificación ecológica en los años 2001-2002, en virtud de un convenio de cooperación interinstitucional CAR-Dama-Ministerio del Medio Ambiente, la cual estaba constituida por bases de datos georeferenciadas, territorialmente referidos a unidades de paisaje, que daban lugar a la producción de una serie de mapas temáticos que sustentaban las propuestas de manejo.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con este breve recuento, que está lejos de ser exhaustivo, se hace evidente que la práctica de la Ingeniería Forestal conlleva importantes aportes al conocimiento y conservación de la biodiversidad. En algunos campos como los de la genética, los suelos y la funcionalidad de los ecosistemas y la zonificación del territorios y el enfoque social del manejo de los recursos naturales renovables–, los aportes fueron pioneros en el mundo académico y docente de Colombia. Desde esta disciplina también se fundamentó el desarrollo temprano de la institucionalidad y normativa forestal.

Es importante destacar que desde el principio el enfoque fue hacia el uso sostenible de los recursos y los espacios forestales, aunque también se hicieron aportes a los programas de áreas protegidas que excluyen el uso directo de los recursos naturales. Con el tiempo, los enfoques basados en el uso de los recursos biológicos pasaron a un segundo plano en las políticas nacionales de gestión de la biodiversidad, por lo que la recuperación de la memoria histórica permitiría retomar algunos de estos avances iniciales y reforzar los objetivos, que permanecen vigentes. Hoy la gobernanza forestal no solo es un reto sectorial, sino territorial.

Para el presente trabajo se consultaron numerosas publicaciones, la totalidad de las cuales se referencian a continuación, aunque no es un trabajo de revisión de literatura, por lo que no incluye toda la información relevante. Queda clara la documentación de los temas de conocimiento, uso y conservación de la biodiversidad, que se complementa en las instituciones y por profesionales del sector forestal. Por su calidad científica, debería ser recogida en los sistemas de información y repositorios nacionales de la biodiversidad, como el que gestiona el Instituto Humboldt. No hay razón para continuar con un divorcio entre las disciplinas de la Ingeniería Forestal y aquellas de la Biología, Ecología y Sociología, especialmente cuando el uso sostenible de los recursos biológicos, en este caso los forestales, está retrasado y sigue vigente en el país, en el marco del Convenio de Diversidad Biológica.

## REFERENCIAS

- Alzate, N. (1987). *La influencia del guácharo (Steatornis caripensis) en la germinación de varias especies forestales y en la regeneración del comino (Aniba perutilis Hemsley) en la región de Río Claro (Antioquia)*. (Trabajo de grado). Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- USAID (2009). Apoyo de USAID al sector forestal colombiano. En Leguizamo, A. (Ed.). *Historia y aportes de la ingeniería forestal*. Volumen I. Pp. 270-276. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingenieros Forestales. Recuperado de <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/12762>.
- Aramburo, P., J. E. (1985). El crecimiento del abarco (*Cariniana pyriformis* Miers) en dos zonas tropicales húmedas de Colombia. (Trabajo de grado). Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía. 174 pp.
- Baker P. J., Bunyavejchewin, S., Oliver, C. D. y Ashton, P. S. (2005). Disturbance history and historical stand dynamics of a seasonal tropical forest in western Thailand. *Ecological Monographs*, 75, 317-343.
- Berrío, J. (2007). Acerca de la historia y el estado actual de la reforestación comercial en Colombia. En Berrío, J. et al. (2007). *La reforestación en Colombia: visión de futuro*. Bogotá: Fundación Konrad Adenauer y Fedemaderas.
- Bradley, R. S. (1999). *Paleoclimatology: Reconstructing climates of the quaternary*. San Diego: Elsevier.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

SOBRE EL AUTOR

- RESUMEN Brien, R. J., Lebrija-Trejos, E., Van Breuge, M., Pérez-García, E., Bongers, F. y Meave, J. (2009). The potential of tree rings for the study of forest succession in Southern Mexico. *Biotropica*, 41, 186-195.
- PALABRAS CLAVE
- ABSTRACT Bustos, I. y Venegas, L. (1975). *Evolución de las plantaciones forestales en Colombia. Reunión Nacional sobre Proyectos de Plantaciones Forestales*. Bogotá: INDERENA. 22 pp.
- KEY WORDS
- INTRODUCCIÓN Cavelier J. y Tobler, A. (1998). The effect of abandoned plantations of *Pinus patula* and *Cupressus lusitánica* on soils and regeneration of tropical montane rain forest in Colombia. *Biodiversity and Conservation*, 7, 335-347.
- DESARROLLO
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES Cavelier, J. y Santos, C. (1999). Efectos de plantaciones abandonadas de especies exóticas y nativas sobre la regeneración natural de un bosque montano en Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 47(4), 775-784.
- REFERENCIAS
- SOBRE EL AUTOR Clavijo, G. (2009). Historia y creación de la Universidad Distrital y de la Facultad de Ingeniería Forestal. En Leguizamón, A. (Ed.) *Historia y aportes de la ingeniería forestal*. Volumen I. Bogotá: Acif.
- Cook, E. R., Anchukaitie, K. J., Buckley, B. M., D'Arrigo, R. D., Jacoby, G. D., Wright, T. W. E. (2010). Asian monsoon failure and megadrought during the last millennium. *Science*, 328, 486-489.
- Dávila, A. (2007). Una aventura forestal de medio siglo. En Berrío, J. *et al.* (2007). *La reforestación en Colombia, visión de futuro*. Pp. 31-48. Bogotá: Fundación Konrad Adenauer y Fedemaderas.
- Delsa. (1980). *Plan de manejo de las cuencas de los ríos San Francisco y San Cristóbal*. Bogotá: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.
- del Valle, J. I. (1994). *Testamento de una utopía: el manejo sostenible de los bosques de guandal por las comunidades negras e indígenas*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Recursos Forestales. 16 pp.
- del Valle, J. I. (1996). El medio biofísico de los bosques de guandal. En Del Valle J. I. y Restrepo, E. (Eds.) *Renacientes del guandal*. Pp. 19-56. Bogotá: Proyecto Biopacífico y Universidad Nacional.
- del Valle y Restrepo E. (1996). *Renacientes del guandal*. Bogotá: Proyecto Biopacífico y Universidad Nacional.
- del Valle, J. I. (1997). Estimación del crecimiento diamétrico en bosques de guandal por modelos no lineales. *Revista Colombia Forestal*.
- del Valle J. I. (2003). Cantidad, calidad y nutrientes reciclados por la hojarasca fina en bosques pantanosos del Pacífico Sur Colombiano. *Interciencia*, 28,443-449.
- del Valle, J. I., Correa, J. A. R. y Herrera, D. A. (2012). Experiencias dendroclimáticas con árboles de ecosistemas contrastantes de Colombia. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 21(2), 117-126.
- de las Salas, G. (1987). *Suelos y ecosistemas forestales: con énfasis en América tropical*. Turrialba, Costa Rica: IICA. 447 pp.
- Duivenvoorden, J. M. y Lips, J. F. (1995). *A land-ecological study of soils, vegetation and plant diversity in Colombian Amazonia*. Wageningen: Tropenbos, Series 12. The Tropenbos Foundation.

- Echeverri, R. (1976). La teca: madera preciosa de alto rendimiento para el trópico bajo. En Coy, A. (Ed). *La reforestación en Colombia*. Pp. 460-492. Bogotá: Fundación Friedrich Naumann.
- Echeverri, R., Monje, C. y Gómez, M. (1995). *Zonificación ecológica del Medio y Bajo Atrato: propuesta metodológica para el ordenamiento territorial*. Bogotá: La Revista Informativa del Proyecto SIG-PAFC, año 2, # 4.
- Escobar, M. y León, M. (1979). *El crecimiento y el rendimiento del guácimo nogal (Cordia alliodora) Ruiz & Pavón, asociado con el café en el suroeste de Antioquia, Colombia*. (Tesis de grado). Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. 167 pp.
- Espinal, L. S. (S.f.). *Geografía ecológica del departamento de Antioquia, zonas de vida (formaciones vegetales) del departamento de Antioquia*. Medellín: Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 106 p y mapa a escala 1:1'000.000.
- Espinal, S. y Montenegro, E. (1963). Formaciones vegetales de Colombia y mapa ecológico (1:1'000000). Bogotá: Instituto Geográfico "Agustín Codazzi. 199 pp.
- Guauque, J. O. (2009). Reseña histórica de la actividad forestal en la región Pacífico y la participación de ingenieros con énfasis en las décadas de los 60 y 70 . En Leguizamo, A. (Ed). *Historia y aportes de la ingeniería forestal*. Volumen I. Pp. 173-188. Bogotá: Acif.
- Guauque, J. O. (2009b). Proyecto de Enseñanza, Demostración Forestal y de Explotación Maderera Carare – Opón. En Leguizamó, A. (Ed). *Historia y aportes de la ingeniería forestal*. Volumen I. Pp. 191-196. Bogotá: Acif.
- Herrera, D. A. y del Valle, J. I. (2011). Ciento cincuenta años de niveles del río Atrato reconstruidos con anillos de *Prioria copaifera*. (Tesis de grado). Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.
- Hoyos, C. (2007). Evaluación de la regeneración de especies de bosque natural bajo dosel de coníferas en la cuenca de la quebrada Piedras Blancas y su relación con variables físicas y biológicas. *Revista Empresas Públicas de Medellín*, 16, 75-111.
- Hoyos, G. M. (2009). Colegio Integrado del Oriente de Caldas IES–CINOC : Educación forestal desde Pensilvania. En Leguizamo, A. (Ed). *Historia y aportes de la ingeniería forestal*. Volumen I. Bogotá: Acif.
- Jaramillo, D. (1991). *Relación entre la acumulación de acículas (litter) de Pinus patula y la hidrofobicidad en algunos andosoles de Antioquia*. (Tesis de grado). Palmira: Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 110 p.
- Jiménez, J. A. G. (2011). Dendrocronología en el trópico: aplicaciones actuales y potenciales. *Colombia forestal*, 14(1), 97-111.
- Jenkins, H. S. (2009). Amazon climate reconstruction using growth rates and stable isotopes of tree-ring cellulose from the Madre de Dios Basin, Peru. (Tesis de doctoral). Duke University, USA; 2009.
- León, J. D. (2007). Contribución al conocimiento del ciclo de nutrientes en bosques montanos naturales de *Quercus humboldtii* y reforestados (*Pinus patula* y *Cupressus lusitanica*) de la región de Piedras Blancas, Antioquia (Colombia). (Tesis doctoral). Salamanca: Universidad de Salamanca.
- Lozano, L. A., Franco, N., & Bonilla, J. L. (2012). Estimación del crecimiento diamétrico, de *Anacardium excelsum* (KUNTH) SKEELS, por medio de modelos no lineales, en

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

SOBRE EL AUTOR

- RESUMEN bosques naturales del departamento del Tolima. *Boletín Científico, Centro de Museos, Museo de Historia Natural*, 16(1), 19-32.
- PALABRAS CLAVE Moreno, F. H. (1997). *Comparación de algunas propiedades de suelos volcánicos bajo bosques naturales, potreros y plantaciones forestales*. (Tesis de grado). Medellín: Universidad Nacional de Colombia Sede de Medellín, Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- ABSTRACT Orozco, J. M. (2009). Reservas Forestales: En Leguizamo, Al. (Ed). *Historia y aportes de la ingeniería forestal*. Volumen I. Pp. 212-213. Bogotá: Acif.
- KEY WORDS Ramírez, J. A., Molina, E. y Bernal, M. (2010). Anillos anuales y clima en *Rhizophora mangle* L. de la Bahía de Cispatá, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 63, 5639-5650.
- INTRODUCCIÓN Ramírez J. A. y del Valle, J. I. (2011a). Local and global climate signals from tree rings of *Parkinsonia praecox* in La Guajira Colombia. *International Journal of Climatology*, 32(7), 1077-1088.
- DESARROLLO Ramírez, J. A. y del Valle, J. I. (2011b). Paleoclima de La Guajira, Colombia; según los anillos de crecimiento de *Capparis odoratissima* (Capparidaceae). *Revista de biología tropical*, 59(3), 1389-1405.
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES Rivera, C. (2013). *Potencial dendrocronológico de árboles de la Amazonía colombiana*. (Tesis de grado). Leticia, Colombia, Universidad Nacional de Colombia Sede Amazonia.
- REFERENCIAS Ruiz. G. (2012). *Cucarachero paisa en la lista de nuevas especies*. Medellín: Unimedios, UN Periódico.
- SOBRE EL AUTOR Sotolongo, S. R., Sospedra, G. y López, G. (s. f.). *Mejoramiento Genético Forestal. Texto para estudiantes de Ingeniería Forestal*. Medellín: Departamento de Recursos Forestales, Universidad Nacional, Medellín.
- Suescum, G. y Peláez, A. (2009). Historia de la ingeniería forestal en la Universidad Nacional. En Leguizamo, A. (Ed). *Historia y aportes de la ingeniería forestal*. Volumen I. Bogotá: Acif.
- Trujillo, E. (s. f). Semillas mejoradas para la reforestación en Colombia. *Revista El Mueble y la Madera*. Pp. 21-27
- Vargas, R. (2009). Universidad del Tolima. En Leguizamó, A. (Ed). *Historia y aportes de la ingeniería forestal*. Volumen I. Bogotá: Acif.
- Vásquez, A. (2001). *Silvicultura de plantaciones forestales en Colombia*. Ibagué: Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Forestal. 304 p
- Vásquez, G. L. (2017). *Influencia de la cobertura vegetal en la respuesta hidrológica de cuencas de cabeceras en los Andes colombianos*. (Tesis doctoral) Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Departamento de Ciencias Forestales.
- Vásquez, G.L. y Pérez, C. A. (2015). *La barcaza se ladeó: memoria de Instituto Forestal de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Ciencias Agrarias*. Medellín. 54p.
- Vélez, N. (2009). La ingeniería forestal y la conservación. *Crónica Forestal y del Medio Ambiente*, 14, 91-101.
- Vélez E., F. (1997). *Ecuaciones de rendimiento en plantaciones de Pinus patula, deducidas del estudio desarrollado por Córdoba, A. (1984)*. Medellín, Colombia. 30 p.

- Vélez, F. y Ortiz, R. (1999). *Estimador de crecimiento forestal (Primera versión)*. Bogotá: Proyecto OIMT PD 39/95 para el “Fortalecimiento Institucional para el Ordenamiento Sostenible de Plantaciones Forestales en Colombia”, convenio OIMT-MINAMBIENTE - CONIF. 31p-. Anexo Modelos de Crecimiento y Rendimiento de Especies Forestales en el Trópico Americano.
- Vélez, G. (1994). *Relaciones entre la vegetación y la avifauna en diferentes ecosistemas de zonas montañosas del centro de Antioquia*. (Tesis de grado). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 127 p.

## SOBRE EL AUTOR

### Rodrigo Echeverri Restrepo

Ingeniero forestal de la Sede Medellín de la Universidad Nacional, graduado en 1967. Estudió estadística y procesamiento de datos en North Caroline State University (Raleigh), en 1971-72. Trabajó con el Dr. César Pérez Figueroa, uno de los prisioneros del enfoque ecológico en la ingeniería forestal de Colombia, entre 1968 y 1969 en el estudio ecológico de la cuenca alta del río Lebrija (Santander) y en el estudio ecológico de la escarpa de la meseta de Bucaramanga. En 1970 formó parte del equipo de la Universidad Nacional que estudió el área que fue inundada por el embalse Peñol-Guatapé, el cual apoyó con una fotointerpretación de usos de la tierra. Posteriormente, entre los años 1973 y 1978, fue asesor Opsa del Ministerio de Agricultura en el tema de bosques, director de Parques Nacionales en el Inderena y coordinador del proyecto de ecodesarrollo de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Ciénaga Grande de Santa Marta. En las últimas décadas ha sido consultor en temas de territorio y recursos naturales en entidades públicas como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, el Ideam y la Gobernación de Antioquia (Idea), donde ha hecho contribuciones a temas que han sido publicados.

Citación sugerida

Echeverri-Restrepo, R. (2019). Las ciencias forestales y la gestión de la biodiversidad: apuntes históricos para una reivindicación. *Biodiversidad en la Práctica*, 4(1), 189-211.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

SOBRE EL AUTOR

# Biodiversidad EN LA PRÁCTICA

Documentos de trabajo del Instituto Humboldt



## EDICIÓN CAMBIO CLIMÁTICO

VOLUMEN 4 - NÚMERO 1 - 2019 - PP. 212-237

Recibido: 18 de diciembre de 2018 -

Aprobado: 23 de mayo de 2019.

**Diana C. Useche**  
Independiente  
dcuseche@gmail.com

**Juliana Durán-Prieto**  
Jardín Botánico de Bogotá  
julidp1@gmail.com

**Ingrith A. Zárate Caballero**  
Independiente  
ingrithzar@hotmail.com

**Darwin L. Moreno-Echeverry**  
Universidad Nacional de Colombia  
dlmorenoe@unal.edu.co

**Laura Velásquez**  
James Cook University, Australia  
laura.velasquezjimenez@my.jcu.edu.au

**Pedro A. Camargo**  
Asociación Bogotana de Ornitología  
pcamargo@avesbogota.org



ARTÍCULO DE REVISIÓN

## Clima, ciudades y biodiversidad: revisión de producción científica

Climate, cities and biodiversity: review of scientific production

### RESUMEN

Instituciones internacionales han resaltado la necesidad de generar conocimiento entorno a la biodiversidad urbana, sus interacciones ecológicas y los efectos del cambio climático, sin embargo, son pocas las ciudades las que lo han hecho. El objetivo de este artículo fue determinar el estado del arte sobre las relaciones clima y biodiversidad urbana a nivel nacional e internacional. Se realizó una búsqueda bibliográfica por *Scopus* y en las bases de datos de las principales instituciones de Colombia. A nivel internacional se encontraron 725 publicaciones y a nivel nacional 115. Se encontró una tendencia de aumento en el número de publicaciones en los últimos 20 años. A nivel internacional la mayoría de estudios fueron realizados en Europa y el 86 % de las publicaciones se enfocaron en plantas en espacios verdes y bosques urbanos. En Colombia, la mayoría de la información proviene de trabajos de grado y el 45 % se concentraron en la caracterización de especies. Son pocas las publicaciones que han evaluado el impacto del cambio climático en la biodiversidad, especialmente a nivel nacional. Se requiere el desarrollo de una agenda interinstitucional para el estímulo de investigaciones en torno a la biodiversidad urbana y su funcionamiento en escenarios de cambio climático.

**Palabras clave:** Centro urbano. Coberturas vegetales urbanas. Diversidad biológica. Producción científica.

## ABSTRACT

International institutions have highlighted the necessity to generate knowledge about urban biodiversity, their ecological interactions and the effects of climate change. However, this knowledge remains unknown for the majority of cities around the world. The aim of this study was to determine what information has been produced in relation to climate and urban biodiversity nationally and internationally. We conducted a literature search using *Scopus* and databases of national universities and research institutes. We found 725 publications internationally and 115 publications in Colombia. We found an increase in the number of publications regarding urban biodiversity in the last 20 years. Internationally, most studies were conducted in Europe and 86 % of the publications focused on the study of plants in green areas and urban forests. In Colombia, almost half of the publications compiled were undergraduate theses and in general 45 % of publications focused on characterizations of species in urban ecosystems. Governmental institutions need to develop strategies that encourage research towards urban biodiversity and their ecological functions in climate change scenarios.

**Keywords:** Biological diversity. Climate variability. Scientific production. Urban center. Urban plant covers.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente existe un reconocimiento de la importancia de la biodiversidad en las ciudades por los múltiples beneficios que provee para el bienestar de la población que las habita (Taylor y Hochuli, 2014; Campbell-Arvai, 2018; Pederssen, 2018). Así mismo, se reconoce la alta vulnerabilidad de la biodiversidad al cambio climático en las ciudades (Connop *et al.*, 2016; Jenerette *et al.*, 2016; Kabisch *et al.*, 2016; MacDonnell y MacGregor-Fors, 2016; Bai *et al.*, 2018). Por otro lado, también se señala la amenaza, vulnerabilidad y riesgo de los impactos del cambio climático sobre las ciudades (IPCC, 2014). A partir de dicho reconocimiento, existen iniciativas globales para guiar la toma de decisiones políticas en relación la gestión de la biodiversidad urbana, tales como UN-Habitat, Cities and Biodiversity Outlook Action and Policy y, por otro lado, iniciativas para guiar las ciudades hacia la adaptación al cambio climático: Paris Agreement on Climate Change, New Urban Agenda, Sendai Framework for Disaster Risk Reduction y Cities IPCC Conference 2018. La Unión Europea, preocupada por la vulnerabilidad de la biodiversidad urbana y de las ciudades al cambio climático, inició una estrategia que combina la generación de conocimiento científico y el desarrollo de políticas públicas para la planificación de las ciudades denominada “Soluciones basadas en la naturaleza y re-naturalización de las ciudades”. Sin embargo, el conocimiento científico sobre los efectos del clima en la

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN	biodiversidad urbana y sus implicaciones en la planeación es relativamente reciente (Wilby y Perry, 2006). De acuerdo con Solecki y Marcotullio (2013), algunos efectos del cambio climático en la biodiversidad urbana están asociados a los cambios en los regímenes de disturbios en los sistemas urbanos: fuegos, vientos y sequías.
PALABRAS CLAVE	No obstante, modificaciones en las características climáticas de las ciudades, como mayor concentración de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), alteración de la radiación solar, menor velocidad del viento, reducción en la humedad relativa, aumento en las precipitaciones extremas, entre otros (Sukopp y Wurzel, 2003), puede introducir cambios abruptos en la condición de calidad de hábitat y permitir el establecimiento de especies invasoras, enfermedades y parásitos. Así mismo, los cambios en la temperatura, precipitación y humedad pueden impactar la cantidad y calidad de recursos asequibles para la biodiversidad urbana, por ejemplo, a través de cambios en la fenología de las plantas y su oferta de frutos y semillas.
ABSTRACT	
KEY WORDS	
INTRODUCCIÓN	
DESARROLLO	
DISCUSIÓN	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
AGRADECIMIENTOS	Sin embargo, son pocas las ciudades que han evaluado los efectos del clima y los cambios en éste sobre la biodiversidad urbana y las interacciones ecológicas que se producen en los ecosistemas urbanos. Wilby y Perry (2006) y Alberti <i>et al.</i> (2017) mencionan que los escenarios climáticos futuros son análogos a las características del clima urbano actual (entendidos como islas de calor), por lo que plantean que las ciudades pueden ser entendidas como laboratorios ecológicos que permiten cuantificar el impacto del cambio climático sobre la biodiversidad local y regional. En este sentido, comprender cómo el clima en la ciudad impacta la biodiversidad es un paso esencial para comprender y establecer medidas de adaptación en las ciudades, que contribuyan a mejorar la calidad de hábitats para las especies que la habitan y para garantizar el bienestar de los ciudadanos que cohabitan las urbes (Grimm <i>et al.</i> , 2008; Hevia <i>et al.</i> , 2017).
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	
ANEXOS	

El objetivo principal de este artículo fue determinar el estado de arte sobre las relaciones clima y biodiversidad urbana en el contexto internacional y nacional, identificando además las evidencias sobre los efectos del clima en la biodiversidad urbana.

## DESARROLLO

### 1. Búsqueda de literatura

Se realizó una búsqueda exhaustiva en la literatura científica sobre estudios publicados específicamente sobre biodiversidad urbana y clima en el ámbito internacional. La búsqueda se realizó en la base de datos *Scopus* usando la ecuación de búsqueda: <<Taxa/Grupo biológico O Cobertura vegetal Taxa/ Biological group OR Green Cover Y Urbano (Urban) Y (AND) Ciudad (City) Y (AND) Clima (Climate)>> para los siguientes grupos biológicos: insectos, herpetofauna (discriminando ranas y reptiles en la búsqueda), aves, mamíferos y plantas. Adicionalmente, la búsqueda incluyó específicamente el uso de palabras clave referidas a biodiversidad urbana como

árbol, bosque, parque, jardín, humedal, espacios verdes, techos y muros verdes e infraestructura verde. Los términos de búsqueda se limitaron al título, resumen y palabras clave de cada documento. Se consideraron todas las publicaciones escritas en inglés, español y portugués, y aquellas con resúmenes disponibles en estas lenguas. Adicionalmente, se tomaron en cuenta todas las publicaciones sobre la temática de estudio (libros, revisiones y artículos de investigación). Después de la recopilación de la literatura científica, los artículos consultados que cumplieron con los criterios establecidos (n=725), fueron clasificados en una base de datos bajo las siguientes categorías generales: tipo de publicación (libros, revisiones y artículos de investigación), título de la publicación, autor, país del estudio (Colombia y otros países), año de publicación y taxa/grupo biológico, cobertura vegetal estudiada y parámetro climático evaluado. Posterior a ello, se usó estadística descriptiva para el análisis e interpretación de los resultados.

A nivel nacional, la búsqueda de literatura fue realizada en los catálogos digitales de 18 universidades del país, 3 institutos de investigación y 2 jardines botánicos, y se limitó a artículos de investigación, trabajos de grado y libros. Las palabras usadas en el motor de búsqueda fueron iguales a las descritas anteriormente y se aplicó el mismo criterio de incluir las palabras de búsqueda en el título, palabras clave o resumen.

## 2. Tendencias en la producción científica sobre clima y biodiversidad urbana

### 2.1. Productividad a nivel global

A nivel mundial, la búsqueda realizada arrojó un total de 725 artículos, de los cuales la mayoría de ellos se han realizado en el continente europeo (32 %) y americano (31 %). Asia aportó el 27 % de los estudios consultados, mientras que para Oceanía y África se encontraron tan solo un 7 % y 3 % de investigaciones, respectivamente. A nivel de países se observa que Estados Unidos (n=158) es el país que aportó el mayor número de investigaciones para América, seguido de China (n=92), Australia (n=52), Reino Unido (n=45) y Alemania (n=42) (Figura 1). Cabe resaltar que en este conteo se incluyeron solo aquellos países (n=31) que a la fecha presentaron cinco o más publicaciones sobre biodiversidad urbana y clima, de los 194 países reconocidos que existen en el mundo y de los 71 que fueron encontrados en la revisión, presentan al menos una publicación sobre la temática de estudio (Figura 1).

Desde el 2010, la investigación en relación a los temas de biodiversidad urbana y clima a nivel mundial tuvo un crecimiento exponencial, siendo el primer estudio publicado sobre este tema en 1988, acerca de la importancia de las áreas verdes urbanas como moduladoras de los gradientes de temperatura urbana por efecto de la isla de calor (Wilmers, 1988).

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

**DESARROLLO**

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

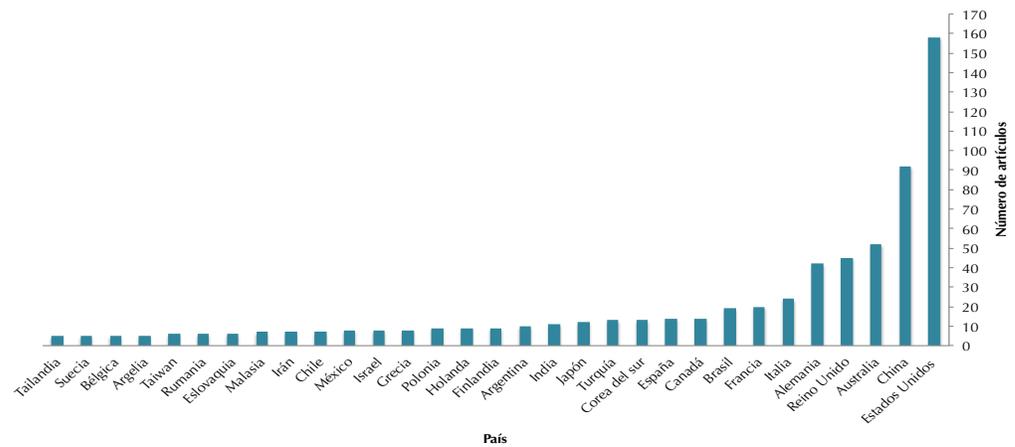


Figura 1. Número de artículos publicados por país. Fuente: Scopus. Fecha de búsqueda: junio 2018.

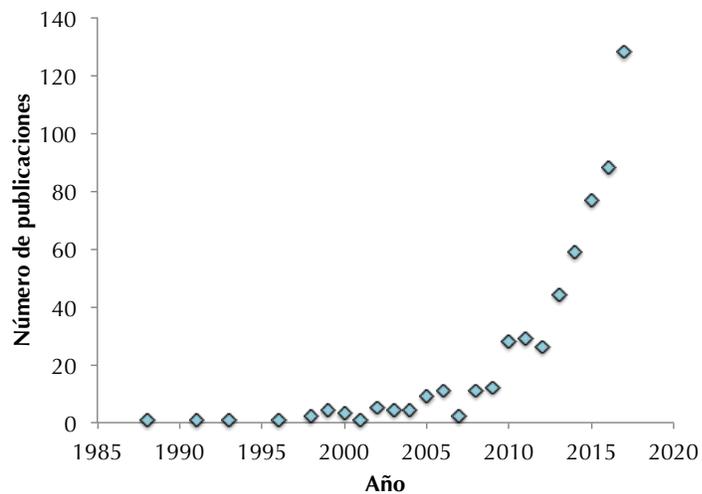


Figura 2. Número de publicaciones sobre clima y biodiversidad urbana por año en el periodo 1988-2017 a nivel mundial. Fuente: Scopus. Fecha de búsqueda: junio 2018.

De las publicaciones revisadas, el mayor número de publicaciones sobre biodiversidad urbana y clima no contemplan ningún parámetro climático y solo algunas de ellas están relacionadas directamente con efectos del cambio climático sobre la biodiversidad por incremento de la temperatura ambiental en contextos urbanos (Figura 3). La temperatura es efectivamente la variable climática que más se considera en los estudios donde sí se evalúan aspectos relacionados con clima y biodiversidad urbana, seguida de la precipitación y el contenido de dióxido de carbono atmosférico. Parámetros climáticos como el viento, la radiación solar y la humedad relativa, solo se mencionan en un número reducido de publicaciones.

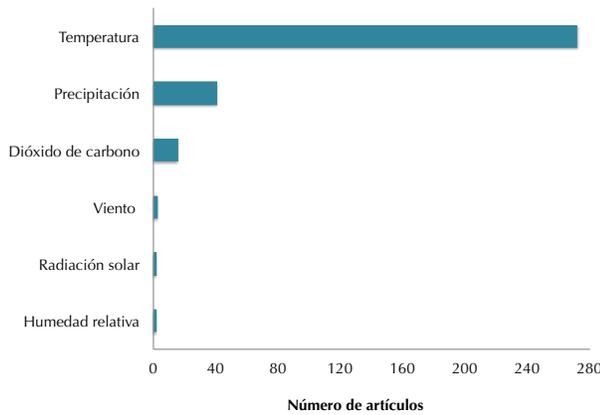


Figura 3. Número de publicaciones por parámetro climático. Fuente: Scopus. Fecha de búsqueda: junio 2018.

El 86 % de los artículos revisados se enfocan en las plantas como grupo biológico de estudio en las áreas urbanas, el 15 % restante se divide en un 7 % sobre investigaciones en aves e insectos y tan solo un 1 % evalúa el efecto del clima sobre los reptiles en los ecosistemas urbanos.

En cuanto a los hábitats urbanos más estudiados, los espacios verdes como una categoría de cobertura que incluye los viveros urbanos, los campus universitarios, las vías, calles y riberas de ríos arboladas y los cinturones verdes, es la que mayor número de publicaciones aportó (n=310), seguida de los parques urbanos (n=204), bosques urbanos (n=106), jardines urbanos (n=48) y muros y techos verdes (n=31). En el presente trabajo, se resalta la escasa investigación que se ha realizado para otros ecosistemas remanentes en las ciudades, como los humedales (n=1) (Figura 4).

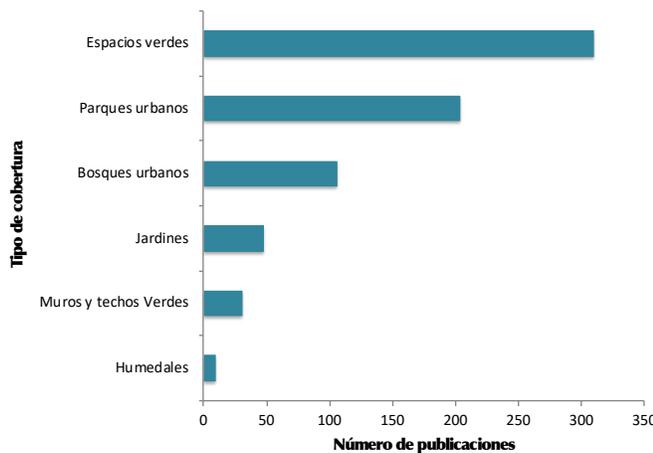


Figura 4. Número de publicaciones consultadas por tipo de cobertura vegetal en las áreas urbanas. Fuente: Scopus. Fecha de búsqueda: junio 2018.

- RESUMEN
- PALABRAS CLAVE
- ABSTRACT
- KEY WORDS
- INTRODUCCIÓN
- DESARROLLO**
- DISCUSIÓN
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- AGRADECIMIENTOS
- REFERENCIAS
- SOBRE LOS AUTORES
- ANEXOS

RESUMEN **2.2. Productividad a nivel nacional**

## PALABRAS CLAVE

## ABSTRACT

## KEY WORDS

## INTRODUCCIÓN

**DESARROLLO**

## DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

## AGRADECIMIENTOS

## REFERENCIAS

## SOBRE LOS AUTORES

## ANEXOS

La revisión bibliográfica en las universidades e institutos de investigación de Colombia arrojó un total de 115 publicaciones relacionadas con biodiversidad urbana y clima, incluyendo trabajos de grado (52), artículos de investigación (52) y libros (11). Las publicaciones encontradas fueron realizadas entre 1999 y mayo de 2018. En general, se encontró una tendencia al incremento en el número de publicaciones por año, sin embargo, el número de publicaciones por año es variable (Figura 5). La institución con más publicaciones fue la Universidad Externado de Colombia (n=26), seguida por la Pontificia Universidad Javeriana (n=24), Universidad Nacional de Colombia (n=18), Universidad de Antioquia (n=12) y la Universidad Distrital (n=7) (Anexo 1). Otras instituciones donde se han realizado publicaciones son la Universidad Piloto de Colombia, Universidad de los Andes, Universidad Bolivariana, Universidad del Valle, Universidad del Atlántico, Universidad de Cartagena, ICESI y el Instituto Humboldt (Anexo 1).

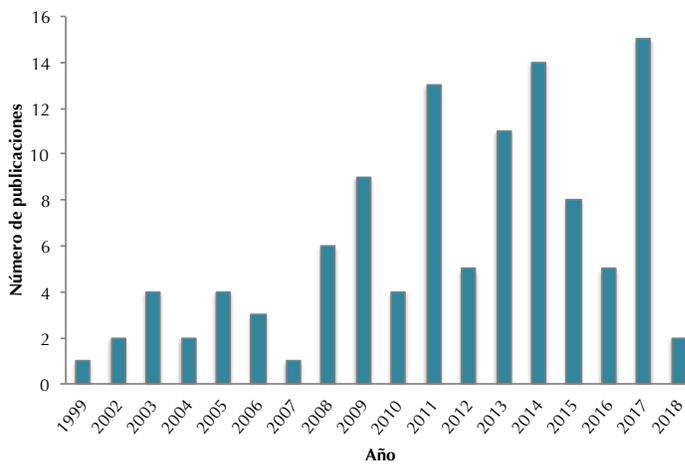


Figura 5. Número de publicaciones sobre biodiversidad urbana y clima generadas en Colombia por año.

Las publicaciones encontradas en la revisión bibliográfica se agruparon en cinco grandes temas: grupos biológicos, gestión ambiental, planeación urbana, techos verdes (infraestructura) y valoración económica. Investigaciones sobre los grupos biológicos representaron el mayor porcentaje de publicaciones, con el 63 %, seguido por estudios en gestión ambiental, con el 25 %, planeación urbana, con el 7 %, valoración económica, con el 3 %, y techos verdes, con el 2 % (Figura 6).

Los estudios de grupos biológicos en los centros urbanos y su relación con el clima se agruparon en seis categorías. Todas las investigaciones midieron o incluyeron diferentes componentes climáticos en sus estudios como la temperatura o la precipitación.

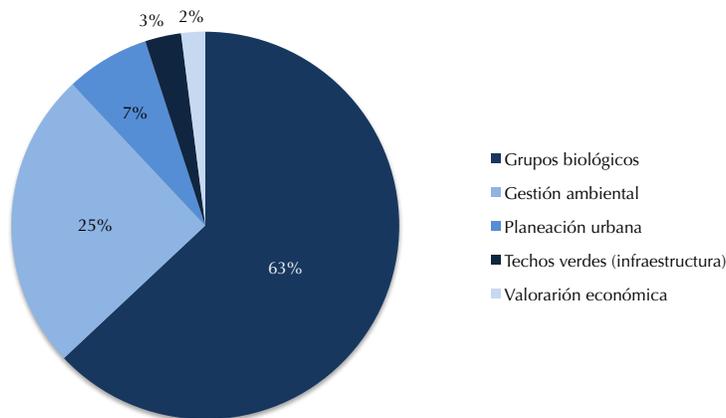


Figura 6. Temáticas en las cuales se han desarrollado publicaciones sobre biodiversidad urbana y clima en las universidades e institutos de investigación en Colombia.

La categoría de caracterización de especies de fauna y flora corresponde a investigaciones que son en su mayoría listados de especies de un área determinada y representan el mayor porcentaje de publicaciones, con el 45 %, seguido por estudios de ecología, con un 35 % (Figura 7). La categoría de ecología incluye estudios poblacionales y de comunidades, de interacciones planta-animal y comportamiento animal. Sobre estas últimas dos categorías, las investigaciones desarrolladas contemplan la evaluación de los patrones de distribución de insectos asociados al arbolado urbano, el uso de plantas por parte de aves e insectos y el impacto de la urbanización en las vocalizaciones, rangos de vuelo y hábitos de nidificación de la avifauna urbana, entre otros. Los estudios sobre bioindicadores están relacionados con el uso de las plantas como indicadores de contaminación atmosférica y de las aves como indicadores biológicos de calidad ambiental en las urbes. Los estudios de conservación se refieren a la evaluación y/o establecimiento de áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad urbana, incluyendo las especies amenazadas, por ejemplo, en las áreas verdes urbanas. Los estudios de conocimiento tradicional se limitan al uso medicinal de algunas especies vegetales presentes en las áreas urbanas. Finalmente, el menor porcentaje de estudios corresponde a fitoquímica, en los que se considera el estudio de los metabolitos secundarios de las plantas presentes en humedales urbanos.

Respecto a los grupos biológicos estudiados en las publicaciones revisadas, se encontraron representados seis diferentes grupos de organismos (Figura 8A). Las plantas son el grupo más estudiado, con el 42 % de las investigaciones, seguido por aves, con el 27 %, artrópodos, con el 23 %, mamíferos, con el 4 %, anfibios, con el 3 %, y el grupo menos estudiado fueron los macroinvertebrados, con tan solo el 1 % de las publicaciones.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

**DESARROLLO**

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

- RESUMEN
- PALABRAS CLAVE
- ABSTRACT
- KEY WORDS
- INTRODUCCIÓN
- DESARROLLO**
- DISCUSIÓN
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- AGRADECIMIENTOS
- REFERENCIAS
- SOBRE LOS AUTORES
- ANEXOS

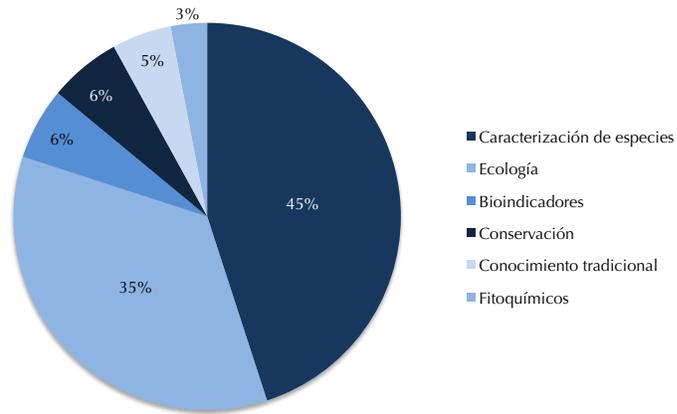


Figura 7. Temáticas estudiadas entorno a grupos biológicos en las publicaciones de biodiversidad urbana en las universidades e institutos de investigación de Colombia.

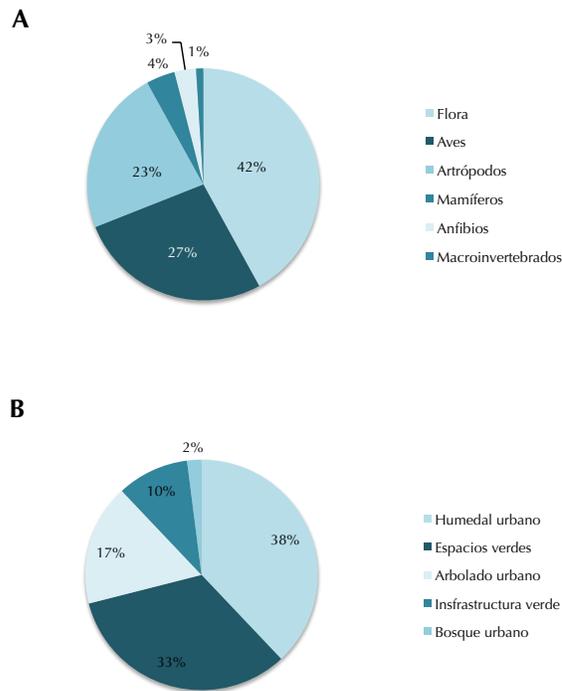


Figura 8. A. Grupos biológicos estudiados en las publicaciones sobre biodiversidad urbana y clima en las universidades y centros de investigación en Colombia. B. Hábitats en los cuales se han desarrollado las investigaciones publicadas por las universidades e institutos de investigación en Colombia.

Adicionalmente, los estudios se desarrollaron en cinco hábitats y/o coberturas vegetales urbanas (Figura 8B). Los humedales representan el ecosistema donde la mayoría de las investigaciones se han realizado (38 %), seguido por los espacios verdes urbanos (33 %), el arbolado urbano (17 %), la infraestructura verde (10 %) y los bosques urbanos (2 %). Los espacios verdes incluyen áreas con pasto, jardines y parques dominados por plantas de porte bajo. La cobertura de arbolado urbano incluye plantas de porte alto. Los estudios relacionados con esta cobertura se han realizado en su mayoría en campus universitarios. La cobertura de infraestructura verde incluye separadores, glorietas y techos y muros verdes, mientras que los bosques urbanos hacen referencia a la cobertura boscosa relictual en parches o fragmentos que se localizan al interior o en los bordes de la ciudad. No obstante, de las 115 investigaciones revisadas el 30 % no registran un hábitat en específico. Estas investigaciones fueron realizadas en los cascos urbanos.

### 3. Evidencias de los efectos del clima sobre la biodiversidad urbana: estudios por grupo biológico

#### 3.1. Invertebrados: Insectos

Los insectos y otros artrópodos son impactados positivamente por el incremento de la temperatura en las ciudades, la cual influencia sus ciclos de vida, tamaños poblacionales, interacciones ecológicas y distribución geográfica (DeLucia *et al.*, 2012; Diamond *et al.*, 2014, 2015). Algunos modelos teóricos permiten predecir que al aumentar la temperatura ambiental se incrementan los tamaños poblacionales de insectos vectores como los dípteros, que son transmisores de infecciones para el hombre en las áreas urbanas. Esto puede generar impactos importantes en salud pública (Reiner *et al.*, 2015; Misslin *et al.*, 2016; Carvalho *et al.* 2017).

Las evidencias empíricas, por su parte, han demostrado que con el aumento de la temperatura en las áreas urbanas se incrementa la abundancia de insectos herbívoros, principalmente de hábitos perforadores-succionadores (Cregg y Dix, 2001; Raupp *et al.*, 2010; Meineke *et al.*, 2013; Dale y Frank, 2014 a; Meineke *et al.*, 2016; Dale y Frank, 2017). Este incremento puede causar problemas fitosanitarios en el arbolado y otras coberturas vegetales urbanas (Tubby y Webber, 2010; Dale y Frank, 2014b). Tubby y Webber (2010) señalan tres mecanismos por los cuales el cambio climático pueda tener influencia sobre los insectos asociados específicamente al arbolado urbano. Estos mecanismos incluyen efectos directos sobre el desarrollo y supervivencia del insecto fitófago y efectos indirectos a través de alteraciones en las interacciones tróficas de estos organismos con sus competidores y enemigos naturales. Un tercer mecanismo tiene que ver con cambios fisiológicos en el hospedero vegetal por efecto del estrés hídrico, decrecimiento en las tasas fotosintéticas y alteraciones en las tasas

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN	de crecimiento vegetal, causadas por el aumento en la temperatura urbana, la cual tiene además efectos sobre la calidad vegetal y sobre los mecanismos de defensa de las plantas (Cregg y Dix, 2001; Dale y Frank, 2014a, b, 2017).
PALABRAS CLAVE	
ABSTRACT	
KEY WORDS	Respecto al primer mecanismo planteado por Tubby y Weber (2010), se ha evidenciado que el incremento en la temperatura urbana produce mayores tasas de fecundidad y supervivencia de los insectos fitófagos presentes en el ecosistema urbano (Dale y Frank, 2014b, 2017). Meineke <i>et al.</i> (2013) encontraron que esto se explica por la capacidad fisiológica del insecto para tolerar cambios en la temperatura ambiental, en donde las poblaciones localizadas en las áreas más calientes de la ciudad se adaptan o aclimatan localmente a estas condiciones térmicas, mejorando en general su fitness.
INTRODUCCIÓN	
DESARROLLO	
DISCUSIÓN	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	La tolerancia térmica a las altas temperaturas urbanas ha sido estudiada recientemente y de manera particular para las hormigas y abejas (Angilletta <i>et al.</i> , 2007; Hamblin <i>et al.</i> , 2017). En estos trabajos se prueba que la tolerancia térmica de estos organismos parece responder a los cambios rápidos en el clima por efecto del calentamiento global, no solo al nivel de las especies sino también a nivel de las comunidades (Angilletta <i>et al.</i> , 2007; Hamblin <i>et al.</i> , 2017).
AGRADECIMIENTOS	
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	
ANEXOS	

Alteraciones en las dinámicas insecto fitófago-enemigo natural, es el segundo mecanismo que se ha propuesto, explica la alta abundancia de insectos fitófagos asociados a los impactos combinados de la urbanización y el cambio climático. Los resultados en este campo parecen indicar, para el caso específico de las interacciones con parasitoides, que aunque las tasas de parasitoidismo de los insectos fitófagos en el entorno urbano no se ven impactados por los cambios en la temperatura ambiental (Meineke *et al.*, 2013, Dale y Frank, 2014b), sí existen evidencias de la presencia de asincronías fenológicas entre los organismos interactuantes como productor de la mayor temperatura presente en áreas urbanas, comparativamente con sus ambientes circundantes (Meineke *et al.*, 2014), lo que tiene como consecuencia la reducción en la función de control biológico ejercida por el enemigo natural sobre el insecto fitófago (Meineke *et al.*, 2014).

Alteraciones fenológicas en las interacciones planta-polinizador también han sido estudiadas bajo escenarios de cambio climático, aunque de manera directa estos efectos no se han evidenciados en las áreas urbanas (Hegland *et al.*, 2009; Hoover *et al.*, 2012; Harrison y Winfree, 2015). Tan solo un estudio ha evaluado el efecto sinérgico de la urbanización y el cambio climático sobre la fenología de una especie de arbusto y su incidencia indirecta sobre la diversidad de insectos polinizadores asociados en diferentes tipos de cobertura de suelo (Neil *et al.*, 2015). Aunque esta investigación no prueba efectos directos sobre la fenología de los polinizadores, el estudio proporciona la primera evidencia empírica de que el tipo de cobertura de suelo, correlacionada estrechamente con la temperatura ambiental, afecta de manera específica la abundancia total de abejas polinizadoras, así como explica la alteración en los patrones de floración de la planta bajo estudio (Neil *et al.*, 2015).

### 3.2. Vertebrados

Los efectos del clima sobre los vertebrados han sido estudiados ampliamente en áreas no perturbadas (Chambers *et al.*, 2015) pero menos en ciudades (Tryjanowski y Kuzniak, 2002; Tryjanowski *et al.*, 2009; Van Der Jeugd *et al.*, 2009; Tobolka *et al.*, 2015; Chenchouni, 2017). Los efectos del cambio climático sobre los vertebrados en las ciudades siguen siendo aún desconocidos (Stiles *et al.*, 2017), más aún cuando se habla de los efectos directos sobre la fisiología de los animales. La mayor parte de las afectaciones que se cree que sufren los vertebrados en las ciudades por los cambios en el clima está asociado a efectos secundarios por alteraciones en los recursos (Rosselli *et al.*, 2017). Especialmente el grupo de los herpetos es del que se tiene menor conocimiento y a quienes por sus condiciones fisiológicas se creería que el cambio climático podría afectar en mayor medida (Urbina-Cardona, 2016). La falta de información detallada y tomada sistemáticamente en una escala de temporalidad adecuada dificulta entender si los cambios en la diversidad de los vertebrados en las ciudades se deban directa o indirectamente por efectos del cambio del clima.

López-Vélez y Molina Moreno (2005) manifiestan que la transmisión de enfermedades por efectos del cambio climático en las ciudades podría ser uno de los principales impactos sobre los grupos de vertebrados. Esto puede desencadenar problemas serios de conservación y aumentar los riesgos sobre las especies que actualmente ya se encuentran en peligro. Para otras especies de vertebrados, el aumento de la temperatura en las ciudades podría tener un efecto benéfico, ya que puede aumentar la cantidad de recursos alimenticios disponibles, especialmente si son consumidores de invertebrados (Kühn *et al.*, 2004; Alvey, 2006) ya que en ciertos grupos de insectos se ha demostrado como su población aumenta por ciertas condiciones locales urbanas (Mainwaring, 2015; Chenchouni, 2017).

Por otro lado, hay que tener en cuenta que tanto las aves como los mamíferos son organismos endotermos y esto les permite tener mayor tolerancia efectos directos del cambio climático como el aumento de la temperatura (Khaliq *et al.*, 2014). Existe la probabilidad de que ciertos grupos, especialmente de insectívoros, se beneficien del aumento en la temperatura debido al incremento de algunos grupos de insectos que son alimento de anfibios, reptiles pequeños, aves, mamíferos pequeños y medianos (Forister *et al.*, 2010; Chen *et al.*, 2011; Rosselli *et al.*, 2017).

En cuanto a las aves, actualmente existe información consolidada sobre las poblaciones de aves en varias partes del mundo, especial en los últimos años con el incremento en los observadores de aves aficionados y los continuos monitoreo que se realizan varias veces al año (Feria *et al.*, 2013); sin embargo, aún existen dificultades para lograr hacer conjeturas respecto a futuros escenarios climáticos y no se disponen de las suficientes herramientas para hacer análisis que arrojen resultados precisos y lograr tomar decisiones de manejo y de adaptación al cambio climático con mayor sustento (Rastandeh y Zari, 2018). En ese mismo sentido, de acuerdo con Rosselli *et*

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN	<i>al.</i> (2017), también existen dificultades para asignar los cambios en las poblaciones en las ciudades a variables afectadas por el cambio climático.
PALABRAS CLAVE	
ABSTRACT	<b>3.3 Plantas</b>
KEY WORDS	
INTRODUCCIÓN	Las plantas están expuestas a situaciones de estrés debido al aumento en las concentraciones de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), altas temperaturas y sequía, que comprometen su crecimiento, desarrollo y productividad (Supe y Gawande, 2013). Aunque las plantas presentan procesos de aclimatación y adaptación a las condiciones climáticas urbanas (Dai, 2011; Gray y Brady, 2016), estos procesos dependen de las respuestas moleculares, fisiológicas y morfológicas de las plantas, las cuales varían según la especie, el tejido y el estado de desarrollo (Jungvist <i>et al.</i> , 2014).
<b>DESARROLLO</b>	
DISCUSIÓN	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
AGRADECIMIENTOS	En ambientes urbanos, se ha evidenciado una alta concentración de CO <sub>2</sub> , la cual afecta directamente a las plantas al generar un aumento en la tasa de asimilación de carbono (Ainsworth y Long, 2005; Liu <i>et al.</i> , 2011) y, por lo tanto, una mayor biomasa aérea (Madhu y Hatfield, 2013; Gray <i>et al.</i> , 2016). Lo anterior se ve reflejando con el aumento del área foliar, lo cual se ha observado en las plántulas de <i>Quercus rubra</i> (Searle <i>et al.</i> , 2012), o el aumento en el crecimiento y la acumulación de biomasa en <i>Populus deltoides</i> , ambas especies evaluadas y sembradas en la ciudad de Nueva York (Gregg <i>et al.</i> , 2003).
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	
ANEXOS	

Otras alteraciones en las plantas asociadas a ambientes con elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub> son el aumento en la biomasa subterránea (Madhu y Hatfield, 2013; Gray *et al.*, 2016), la disminución de la densidad estomática (Engineer *et al.*, 2014) y el aumento en el número de frutos y semillas de baja calidad (Jablonski *et al.*, 2002; Springer y Ward, 2007; Myers *et al.*, 2014).

La temperatura es fundamental en cada estado fenológico de las plantas, cuya necesidad varía dependiendo de la especie vegetal (Nagel *et al.*, 2009). Así mismo, es una variable climática que determina la distribución de las plantas en las ciudades (Sukopp y Wurzel, 2003). Las evidencias señalan que cuando la temperatura sobrepasa los requerimientos de las plantas, se disminuyen o se detienen procesos fenológicos como la iniciación de primordios foliares, la expansión de las hojas (Granier *et al.*, 2002; Hatfield *et al.*, 2011), se induce aborto floral y se disminuye tanto la viabilidad del polen, como el crecimiento del tubo polínico y el número de óvulos generados por la planta (Baladubramanian *et al.*, 2006; Hedhly, 2011; Bitá y Gerats, 2013). En resumen, cambios en temperatura a consecuencia del cambio climático pueden afectar la tasa de reproducción de las plantas y en el largo plazo afectar la estructura poblacional y la dinámica de comunidades.

No obstante, el aumento de la temperatura, de la concentración de CO<sub>2</sub> y del nitrógeno en algunas ciudades, pueden mejorar el proceso fotosintético (Lambrecht *et al.*, 2016), por ejemplo, un aumento de CO<sub>2</sub> podría promover la actividad fotosintética durante

periodos críticos del establecimiento de plántulas. Un estudio realizado con *Larrea tridentata* encontró que al exponer semillas a altas concentraciones de CO<sub>2</sub>, individuos tuvieron una tasa de crecimiento más alta contribuyendo a una mayor tasa de supervivencia durante eventos de temperaturas extremas (Hamerlynck *et al.*, 2000); sin embargo, entre más elevados sean los niveles de temperatura, mayor será la tasa de respiración y de evaporación del agua del suelo, generando una reducción en los procesos de transpiración y conductancia estomática, lo que puede reducir la asimilación de carbono (Jarma *et al.*, 2012; Lambrecht *et al.*, 2016). Un ejemplo es *Quercus ilex*, un roble ampliamente usado en parques y calles de ciudades mediterráneas, que ante condiciones de altas temperaturas y concentraciones elevadas de CO<sub>2</sub>, ha presentado un rendimiento fotosintético deficiente (Ugolini *et al.*, 2012).

Por otro lado, las áreas urbanas cuentan con superficies de asfalto y concreto que reciben radiación solar directa, aumentando su temperatura y afectando directamente el crecimiento y desarrollo de las raíces en las plantas (Awal *et al.*, 2003; Jungvist *et al.*, 2014). Aunque el efecto de la temperatura del suelo no está ampliamente estudiado en zonas urbanas, Graves (1994) resalta en su revisión de estudios desarrollados en diferentes ciudades de Estados Unidos, que la acacia de tres espinas (*Gleditsia triacanthos var. inermis*), presenta una fuerte reducción en su crecimiento, así como clorosis en las hojas terminales, lo cual parece ser el resultado de la deficiencia de hierro y otros elementos esenciales, los cuales se ven limitados como consecuencia del incremento en la temperatura del suelo.

Las altas temperaturas debido al calentamiento global vienen acompañadas de variaciones en los regímenes de precipitación, generando sequías, por tanto, una combinación entre el estrés por sequía y el estrés por calor revelan aspectos únicos en las plantas, presentando alta respiración con bajos niveles fotosintéticos, cierre estomático y aumento en la temperatura foliar (Rizhsky *et al.*, 2002). Wang *et al.*, (2019), han demostrado una disminución en la fotosíntesis en especies como *Fraxinus chinensis* y *Ginkgo biloba L.* plantadas en Beijing, bajo condiciones de sequía en espacios urbanos con pavimento.

Así mismo, se ha evidenciado en las ciudades que las plantas aumentan la relación raíz -parte aérea para explorar el suelo en búsqueda de agua y de esta forma disminuir la transpiración en su parte aérea (Rellán-Álvarez *et al.*, 2015). También se ha reportado una disminución en la división y expansión celular, menor área foliar, pérdida en la viabilidad del polen, así como mayor contenido de ácido abscísico y prolina (Su *et al.*, 2013; Clauw *et al.*, 2015).

Además, de la variación de temperatura, un aumento en las concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico en las ciudades produce una alteración en la interacción planta- patógeno, planta-insecto que puede ocasionar enfermedades, si la fenología de la planta y el ciclo del patógeno están en sincronía y, si las condiciones ambientales son propicias para el desarrollo del mismo (Garret *et al.*, 2016; Velásquez *et al.*, 2018).

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN **DISCUSIÓN**

## PALABRAS CLAVE

## ABSTRACT

## KEY WORDS

## INTRODUCCIÓN

## DESARROLLO

**DISCUSIÓN**CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

## AGRADECIMIENTOS

## REFERENCIAS

## SOBRE LOS AUTORES

## ANEXOS

Los resultados encontrados indican que a nivel mundial las investigaciones y publicaciones en torno al tema de clima y biodiversidad urbana han ido en incremento en la última década, con el fin de generar información para la planificación de las ciudades con una visión más ecológica o sostenible. Esto concuerda con las recomendaciones dadas por la Convención sobre Diversidad Biológica y la Convención Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas sobre la importancia de los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad y el aporte de la biodiversidad para la adaptación frente a este fenómeno (Ver COP 10 Decision X/22 CDB).

No es sorprendente que los resultados señalen que en el continente europeo es dónde más se realizan estudios, ya que desde el 2009 la Unión Europea ha manifestado la importancia de la generación de información y conocimiento sobre el impacto del cambio climático en la biodiversidad mundial (Useche, 2010). Tampoco sorprende que Estados Unidos sea el país con mayor número de publicaciones, resultado que puede ser explicado por múltiples razones (por ej., idioma nativo del autor, ver Laurance *et al.*, 2013), pero sí es llamativo el número de publicaciones para países tropicales y subtropicales como Tailandia, Taiwan, Australia, Argentina y México.

Por otra parte, sobresale el número de estudios relacionados con modelos de escenarios climáticos futuros y sus posibles efectos en la biodiversidad urbana que consideran la captura de gases efecto invernadero por parte de los bosques y otras coberturas naturales. En la revisión realizada, no se encontraron investigaciones que hicieran mención de datos de largo plazo, tanto climáticos como de biodiversidad, en las ciudades (es decir, mayores a 30 años tal como recomienda la Organización Meteorológica Mundial, 2017), que permitan establecer el impacto del cambio climático sobre la biodiversidad urbana. Así mismo, dada la alteración de factores abióticos que confluyen en las ciudades, evidenciar el impacto aislado del clima sobre la biodiversidad también es un reto científico complejo. De acuerdo con Nowak (2010), no solo el clima determina la distribución de plantas y coberturas vegetales en las ciudades. Los suelos (o tipo de suelo/sustrato), el banco de semillas (cantidad y calidad de ecosistemas remanentes), la conectividad entre coberturas vegetales urbanas, entre otros, determinan la composición florística y, por ende, la diversidad biológica actual en las ciudades. A su vez, diversos factores como el uso del suelo, la densidad de población humana, la distribución de la riqueza económica en la ciudad, las estrategias de manejo de los árboles urbanos (manejo silvicultural), la polución, los disturbios físicos relacionados con diferentes actividades humanas, el tipo de construcción, sistema de riego y manejo de aguas en las áreas urbanas, así como las preferencias humanas en la selección de especies del ornato público, afectan la composición biótica de los espacios verdes urbanos y su biodiversidad.

En Colombia, la voluntad política de asociar la temática de cambio climático y biodiversidad se ve reflejada en los planes de adaptación de las ciudades y en las políticas

de gestión de la biodiversidad. Bogotá, Buga, Cartagena, Montería, Pitalito, Topaga y Tulúa (<http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-territorial-de-cambio-climatico/aproximacion-a-territorio-planes-territoriales-de-cambio-climatico#planes-formulados-a-la-fecha>) son las únicas ciudades de Colombia con planes de adaptación al cambio climático en los que la gestión e incremento de las coberturas vegetales urbanas son una prioridad. Políticas de gestión de la biodiversidad urbana tan solo se encuentran en Bogotá y Medellín, y en ambas se dictamina la necesidad de generar investigación sobre el impacto del cambio climático en la biodiversidad para identificar medidas de adaptación. Sin embargo, de acuerdo a los resultados encontrados, la información y el conocimiento que se está generando en Colombia por la academia y los institutos de investigación, no permiten el soporte científico de acciones para dichas políticas.

Esto es particularmente preocupante si se pone de manifiesto que las regiones donde se proyecta que habrá un mayor incremento en extensión de las áreas urbanas debido a aumentos demográficos (United Nations, 2014) corresponden a zonas consideradas *hotspots* de biodiversidad y son vulnerables a los efectos del cambio climático (Günerald y Seto, 2003; Müller y Werner, 2010), como lo es el caso de Colombia.

Ahora bien, afirmando que la vegetación urbana y su composición están sujetas a cambios constantes, y reconociendo que cada espacio verde urbano puede tener un efecto positivo, aunque local, en el clima urbano, el potencial reside en la suma de todos los espacios verdes urbanos, considerando toda la ciudad como un sistema o un socioecosistema, como señala Andrade *et al.* (2011). Por tanto, Hagen y Stiles (2010) manifiestan que una posible estrategia para la adaptación de las ciudades al cambio climático es tratar de influir en las estructuras urbanas, buscando microclimas urbanos más fríos y húmedos. Dichos espacios mejorados microclimáticamente pueden ayudar a mitigar el efecto de isla de calor en la propia ciudad, y quizás a largo plazo incluso influir en el cambio climático en general.

Para lograrlo, Nowak (2010) propone direccionar el conocimiento hacia un entendimiento de la adaptabilidad de las especies nativas al clima urbano actual y futuro, para asegurar la sobrevivencia de las plantas en diferentes sectores de las ciudades, considerando condiciones microclimáticas diferenciales. Otras consideraciones ante escenarios climáticos futuros incluyen el monitoreo y control de las poblaciones de insectos plaga asociadas a las plantas en las áreas urbanas como una estrategia de manejo fitosanitario. Las plantas en escenarios climáticos futuros deben ser capaces de mantenerse y sobrevivir en un ambiente potencialmente alterado para proveer diversos servicios ecosistémicos a la población humana. La ciencia debe entonces generar información que permita considerar especies y diseños florísticos que faculten mitigar un cambio en el clima de las ciudades y facilitar la adaptación de la biodiversidad y de los ciudadanos a un clima cambiante. A la fecha las tendencias de generación de información sobre biodiversidad urbana y clima a nivel global permitirán el diseño e implementación de ciudades resilientes en el mediano plazo, pero, en Colombia, el desacoplamiento en-

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN	tre la ciencia y la gestión urbana, implicará un tiempo mayor en la estructuración del conocimiento para guiar o direccionar la gestión de la biodiversidad urbana hacia la trayectoria deseada. No obstante, la gestión del cambio climático no da espera.
PALABRAS CLAVE	
ABSTRACT	
KEY WORDS	Por lo pronto, en Colombia, las nuevas políticas de biodiversidad urbana tienen que considerar el concepto mismo de cambio y basarse en la mejor información científica disponible. Por tanto, se propone poner en marcha la agenda de investigación sobre cambio climático y biodiversidad que ha sido propuesta (ver Franco <i>et al.</i> , 2013), adicionando las necesidades de información requeridas por las políticas y planes de adaptación y gestión de la biodiversidad en las ciudades. Actualmente, las publicaciones en Colombia se enfocan principalmente en la gestión de los humedales urbanos, pero la investigación también debe ir dirigida a otros ecosistemas remanentes como los bosques, en donde, según los resultados, muy pocos estudios y solo caracterizaciones se han realizado. Estudios en sobre el arbolado urbano y en los espacios verdes, y su relación con la mitigación del efecto de las islas del calor, son urgentes en Colombia.
INTRODUCCIÓN	
DESARROLLO	
DISCUSIÓN	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	A su vez, investigaciones sobre ecología funcional son necesarias en Colombia y otros países para el diseño de nuevos espacios y la reestructuración de espacios verdes.
AGRADECIMIENTOS	
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	
ANEXOS	Para lograr la adaptación y mitigación al cambio climático, el requerimiento de nuevos espacios verdes en las ciudades es un desafío. Esto ha llevado al incremento de techos y muros verdes, y a nivel mundial y nacional sobresale el número de publicaciones relacionado con estas nuevas coberturas urbanas. Es un tema en crecimiento que ha sido impulsado principalmente por el sector de la construcción. Sin embargo, las plantas usadas en techos y muros verdes generalmente son exóticas. La subdirección científica del Jardín Botánico de Bogotá durante los años 2014-2015 realizó investigaciones en la adaptabilidad de especies nativas de páramo y bosque alto-andino en techos y muros verdes en la ciudad de Bogotá (Santos, 2014). La Universidad Piloto y la Universidad Javeriana de Bogotá, entre otras, han adelantado investigaciones en estas nuevas coberturas urbanas como una estrategia de “enverdecer” la ciudad y hacer la construcción urbana más ecológica.

Por otra parte, las investigaciones adelantadas por Moreno-Echeverry *et al.* (2019) sobre la respuesta de las plantas nativas usadas en el arbolado urbano de Bogotá al déficit hídrico y el anegamiento son claves para la selección de especies nativas resilientes a las diferentes condiciones climáticas de las ciudades actuales y futuras, y ponen de manifiesto la necesidad de generar conocimiento en esta área para las urbes del país.

## CONCLUSIONES

El crecimiento de las áreas urbanas y el cambio climático son dos fenómenos innegables que requieren una gestión integral para mantener la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que esta provee. Aunque a nivel mundial la investigación sobre el tema está en auge, en Colombia son muy pocos los estudios que abordan ambas temáticas.

Así mismo, aunque la Ley de Cambio Climático (ley 1931 de 2018), el Plan Nacional de Adaptación y la Política Nacional para la Gestión de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos señalan la importancia de la adaptación basada en ecosistemas en las ciudades, es poca la investigación que guíe el diseño o la implementación de socioecosistemas urbanos resilientes para el país. Sin embargo, en Colombia existen varias oportunidades para elaborar una agenda de investigación y acción enfocada en la gestión de la biodiversidad urbana a través de la resiliencia que permita la adaptación de la biodiversidad y las ciudades. Entre estas se encuentran los Planes Integrales de Gestión del Cambio Climático Territoriales y la incorporación de cambio climático en instrumentos de planificación, los cuales según la Ley 1931 deben estar diseñados e implementados al 01 de enero del 2020.

Otra oportunidad se encuentra en los monitoreos que realizan distintos grupos, como el que Jardín Botánico de Bogotá, que desarrolla un monitoreo del arbolado urbano a través de la plataforma SIGAU (Sistema de Información para la Gestión del Arbolado Urbano de Bogotá), la Asociación Bogotana de Ornitología, que ejecuta los censos anuales de aves en diferentes puntos de la ciudad, y las organizaciones comunitarias que hacen monitoreo de grupos biológicos en parques y humedales de la ciudad, entre otros (ver Mejía, 2016). Una articulación armoniosa entre estos grupos, con acompañamiento y participación de la academia e institutos de investigación, y una toma de datos dirigida y sistemática que responda objetivos claros de investigación para la gestión urbana, abre una nueva perspectiva de planificación integral de la biodiversidad y la ciudad hacia el cambio climático.

Dada la urgencia de poner en marcha la generación de información y conocimiento para responder a las necesidades apremiantes que nos exige el cambio climático, una acción rápida y pragmática es el desarrollo de las agendas de investigación para responder a las necesidades dadas en los planes y políticas sobre biodiversidad urbana y cambio climático. Para ello, se requiere la voluntad de trabajo mancomunado y el desarrollo de una agenda interinstitucional para el estímulo de investigaciones y acciones de gestión y manejo.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores extienden su especial agradecimiento a Mauricio Díaz Granados, quien desde su gestión en la Subdirección Científica del Jardín Botánico José Celestino Mutis estuvo apoyando el desarrollo y consolidación de la línea de Investigación en Coberturas Vegetales Urbanas, y a la Institución Jardín Botánico de Bogotá, quienes brindaron recursos financieros, técnicos y físicos para el desarrollo de las investigaciones. Los autores también agradecen a los revisores anónimos de esta publicación, cuyos aportes fueron fundamentales para mejorar el contenido y estructura.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

## RESUMEN

## REFERENCIAS

## PALABRAS CLAVE

## ABSTRACT

## KEY WORDS

## INTRODUCCIÓN

## DESARROLLO

## DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

## AGRADECIMIENTOS

## REFERENCIAS

## SOBRE LOS AUTORES

## ANEXOS

- Ainsworth, E. A. y Long, S. P. (2005). Tansley review: what have we learned from 15 Years of Free-Air CO<sub>2</sub> Enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO<sub>2</sub>. *New Phytologist*, 165, 351-371.
- Alberti, M., Marzluff, J. y Hunt, V. M. (2017). Urban driven phenotypic changes: empirical observations and theoretical implications for eco-evolutionary feedback. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 372, 20160029.
- Alvey, A. A. (2006) Promoting and preserving biodiversity in the urban forest. *Urban For Urban Green*, 5(4), 195-201.
- Andrade, G. I., Sandino, J. C. y Aldana, J. (2011). *Biodiversidad y territorio: innovación para la gestión adaptativa frente al cambio global, insumos técnicos para el Plan Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos*. Bogotá: MAVDT y IAvH. 64p.
- Angilletta, Jr., M. J., Wilson, R. S., Niehaus, A. C., Sears, M. W., Navas, C. A. y Ribeiro, P. L. (2007). Urban Physiology: City Ants Possess High Heat Tolerance. *PLoS One*, 2, e258.
- Awal, M. A., Ikeda, T. y Itoh, R. (2003). The effect of soil temperature on source-sink economy in peanut (*Arachis hypogaea*). *Environmental and Experimental Botany*, 50, 41-50.
- Bai, X., Dawson, R. J., Ürge-Vorsatz, D., Delgado, G. C., Barau, A. S., Dhakal, S., Dodman, D., Leonardsen, L., Masson-Delmotte, V., Roberts, D. y Schultz, S. (2018). Six research priorities for cities and climate change. *Nature*, 555, 23-25.
- Balasubramanian, S., Sureshkumar, S., Lempe, J. y Weigel, D., (2006). Potent induction of *Arabidopsis thaliana* flowering by elevated growth temperature. *PLoS Genet*, 2, 0980-0989.
- Bitá, C. E. y Gerats, T. (2013). Plant tolerance to high temperature in a changing environment: scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. *Front. Plant Sci*, 4, 273.
- Campbell-Arvai, V. (2018). Engaging urban nature: improving our understanding of public perceptions of the role of biodiversity in cities. *Urban Ecosystems*, 1-15. doi.org/10.1007/s11252-018-0821-3.
- Carvalho, B. M., Rangel, E. F y Vale, M. M. (2017). Evaluation of the impacts of climate change on disease vectors through ecological niche modelling. *Bulletin of Entomological Research*, 107, 419-430.
- Chambers, L. E., Hughes, L. y Weston, M. A. (2005). Climate change and its impact on Australia's avifauna. *Emu Austral Ornithology*, 105(1), 1-20. doi:10.1071/mu04033.
- Chen, I. C., Hill, J. K., Ohlemüller, R., Roy, D. B. y Thomas, C. D. (2011). Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science*, 333, 1024-1026. doi: 10.1126/science.1206432.
- Chenchouni, H. (2017). Variation in white stork (*Ciconia ciconia*) diet along a climatic gradient and across rural-to-urban landscapes in North Africa. *International journal of biometeorology*, 61(3), 549-564.

- Clauw, P., Coppens, F., De Beuf, K., Dhondt, S., Van Daele, T., Maleux, K., Storme, V., Clement, L., Gonzalez, N. y Inzé, D. (2015). Leaf responses to mild drought stress in natural variants of *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, *167*, 800-816.
- Connop, S., Vandergert, P., Eisenberg, B., Collier, M. J., Nash, C., Clough, J. y Newport, D. (2016). Renaturing cities using a regionally-focused biodiversity-led multifunctional benefits approach to urban green infrastructure. *Environmental Science & Policy*, *62*, 99-111.
- Cregg, B. M. y Dix, M. E. (2001). Tree moisture stress and insect damage in urban areas in relation to heat island effects. *Journal of Arboriculture*, *27*(1), 1-17.
- Dai, A. (2011). Drought under global warming: a review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, *2*, 45-65.
- Dale, A. G. y Frank, S. D. (2017) Warming and drought combine to increase pest insect fitness on urban trees. *PLoS One*, *12*, e0173844.
- Dale, A. G. y Frank, S. D. (2014 a). The Effects of Urban Warming on Herbivore Abundance and Street Tree Condition. *PLoS One*, *9*(7), e102996.
- Dale, A. G. y Frank, S. D. (2014 b) Urban warming trumps natural enemy regulation of herbivorous pests. *Ecological Applications*, *24*(7), 1596-1607.
- DeLucia, E. H., Nability, P. D., Zavala, J. A. y Berenbaum, M. R. (2012) Climate Change: Resetting Plant-Insect Interactions. *Plant Physiology*, *160*, 1677-1685.
- Diamond, S. E., Cayton, H., Wepprich, T., Jenkins, C. N., Dunn, R. R., Haddad, N. M. y Ries, L. (2014) Unexpected phenological responses of butterflies to the interaction of urbanization and geographic temperature. *Ecology*, *95*, 2613-2621.
- Diamond, S. E., Dunn, R. R., Frank, S. D., Haddad, N. M. y Martin, R. A. (2015) Shared and unique responses of insects to the interaction of urbanization and background climate. *Current Opinion in Insect Science*, *11*, 71-77.
- Engineer, C. B., Ghassemian, M., Anderson, J. C., Peck, S. C., Hu, H. y Schroeder, J. I. (2014). Carbonic anhydrases, EPF2 and a novel protease mediate CO<sub>2</sub> control of stomatal development. *Nature*, *513*, 246-250.
- Feria Arroyo, T. P., Sánchez-Rojas, G., Ortiz-Pulido, R., Bravo-Cadena, J., Calixto Pérez, E., Dale, J. M., y Valencia-Herverth, J. (2013). Estudio del cambio climático y su efecto en las aves en México: enfoques actuales y perspectivas futuras. *Huitzil*, *14*(1), 47-55.
- Forister, M. L., McCall, A. C., Sanders, N. J., Fordyce, J. A., Thorne, J. A. y O'Brien, J., (2010). Compounded effects of climate change and habitat alteration shift patterns of butterfly diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.*, *107*, 2088-2097. doi: 10.1073/pnas.0909686107.
- Franco, L., Useche, D. C. y Hernández, S. (2013). Biodiversidad y cambio antrópico del clima: ejes temáticos que orientan la generación de conocimiento para la gestión frente al fenómeno. *Ambiente y Desarrollo*, *17*(32), 79-96.
- Garret, K., Nita, M., Wolf, E., Esker, P., Gomez-Montano, L. y Sparks, A. (2016). Plant pathogens as indicators of climate change. *Climate Change*, 325-338.
- Granier, C., Massonnet, C., Turc, O., Muller, B., Chenu, K. y Tardieu, F. (2002). Individual leaf development in *Arabidopsis thaliana*: a stable thermal-time-based programme. *Annals of Botany*, *89*, 595-604.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

- RESUMEN Gray, S. y Brady, S. (2016). Plant developmental responses to climate change. *Developmental Biology*, 419, 64-77.
- PALABRAS CLAVE Graves, W. R. (1994) urban soil temperatures and their potential impact on tree growth. *Journal of Arboriculture*, 20(1), 24-27.
- ABSTRACT Gregg, J. W., Jones, C. G. y Dawson, T. E. (2003). Urbanization effects on tree growth in the vicinity of New York City. *Nature*, 424(6945), 183.
- KEY WORDS Grimm, N. B., Foster, D., Groffman, P., Grove, J. M., Hopkinson, C. S., Nadelhoffer, K. J., Pataki, D. E. y Peter, D. P. C. (2008). The changing landscape: ecosystem responses to urbanization and pollution across climatic and societal gradients. *Frontiers in Ecology and Environment*, 6(5), 264-272.
- INTRODUCCIÓN Güneralp, B. y Seto, K. C. (2013). Futures of global urban expansion: uncertainties and implications for biodiversity conservation. *Environmental Research Letters*, 8, 014025.
- DESARROLLO Hagen, K. y Stiles, R. (2010). Contribution of landscape design to changing urban climate conditions. En Müller, N., Werner, P., Kelcev, J. G. (Eds.). *Urban Biodiversity and Design*. Pp. 572–592. Oxford: Wiley-Blackwell.
- DISCUSIÓN Hamblin, A. L., Youngsteadt, E., López-Urbe, M. M. y Frank, S. D. (2017). Physiological thermal limits predict differential responses of bees to urban heat-island effects. *Biology Letters*, 13, 20170125.
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES Hamerlynck, E. P., Huxman, T. E., Loik, M. E. y Smith, S. D. (2000) Effects of extreme high temperature, drought and elevated CO<sub>2</sub> on photosynthesis of the Mojave Desert evergreen shrub, *Larrea tridentata*. *Plant Ecology*, 148, 183-193.
- AGRADECIMIENTOS Harrison, T y Winfree, R. (2015). Urban drivers of plant-pollinator interactions. *Functional Ecology*, 29, 879-888.
- REFERENCIAS Hatfield, J. L., Boote, K. J., Kimball, B. A., Ziska, L. H., Izaurrealde, R. C., Ort, D., Thomson, A. M. y Wolfe, D. (2011). Climate impacts on agriculture: implications for crop production. *Agronomy Journal*, 103, 351-370.
- SOBRE LOS AUTORES Hedhly, A. (2011). Sensitivity of flowering plant gametophytes to temperature fluctuations. *Environmental and Experimental Botany*, 74, 9-16.
- ANEXOS Hegland, S. J., Nielsen, A., Lázaro, A., Bjerknes, A-L. y Totlan, O. (2009). How does climate warming affect plant-pollinator interactions?. *Ecology Letters*, 12, 184-195.
- Hevia, V., Martín-López, B., Palomo, S., García-Llorente, M., de Bello, F. y González, J. A. (2017). Trait-based approaches to analyze links between the drivers of change and ecosystem services: Synthesizing existing evidence and future challenges. *Ecology and Evolution*, 7, 831-844.
- Hoover, S. E. R., Ladley, J. J., Shchepetkina, A. A., Tisch, M., Giese, S. P. y Tylianakis, J. M. (2012). Warming, CO<sub>2</sub>, and nitrogen deposition interactively affect a plant-pollinator mutualism. *Ecology Letter*, 15, 227-234.
- IPCC (2014). Climate change: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II. Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. En Field, C. B., Barros, V. R., Dokken, D. J., Mach, K. J., Mastrandrea, M. D., Bilir, T. E., Chatterjee, M., Ebi, K. L., Estrada, Y. O., Genova, R. C., Girma, B., Kissel, E. S., Levy, A. N., MacCracken, S., Mastrandrea, P. R. y White, L. L. (Eds.) Cambridge, United Kingdom y New York, USA: Cambridge University Press.

- Jablonski, L. M., Wang, X. y Curtis, P. S. (2002). Plant reproduction under elevated CO<sub>2</sub> conditions: a meta-analysis of reports on 79 crop and wild species. *New Phytology*, 156, 9-26.
- Jarma-Orozco, A., Cardona-Ayala, C. y Araméndiz-Tatis, H. (2012). Efecto del cambio climático sobre la fisiología de las plantas cultivadas: una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 15(1), 63 -76.
- Jenerette, G. D., Clarje, L. W., Avolio, M. L., Pataki, D. E., Gillespie, T. W., Pincetl, S., Nowak, D. J., Hutryra, L. R., McHale, M., McFadden, J. P. y Alonzo, M. (2016). Climate tolerances and trait choices shape continental patterns of urban tree biodiversity. *Global Ecology and Biogeography*, 25(11), doi.org/10.1111/geb.1249.
- Jungvist, G., Oni, S. K., Teutschbein, C. y Futter, M. N. (2014). Effect of climate change on soil temperature in Swedish boreal forests. *PLoS One*, 9(4), e93957.
- Kabisch, N., Frantzeskaki, N., Pauleit, S., Naumann, S., Davis, M., Artmann, M., Haase, D., Knapp, S., Korn, H., Stadler, J., Zaunberger, K. y Bonn, A. (2016). Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action. *Ecology and Society*, 21(2), 39.
- Khaliq, I., Hof, C., Prinzing, R., Böhning-Gaese, K. y Pfenninger, M. (2014). Global variation in thermal tolerances and vulnerability of endotherms to climate change. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1789), 20141097.
- Kühn, I., Brandl, R. y Klotz, S. (2004). The flora of German cities is naturally species rich. *Evolutionary Ecology Research*, 6(5), 749-764.
- Lambrecht, S. C., Mahieu, S. y Cheptou, P. O. (2016). Natural selection on plant physiological traits in an urban environment. *Acta Oecologica* (77), 67-74.
- Laurance, W. F., Useche, D. C., Laurance, S. y Bradshaw, C. J. A. (2013). Predicting Publication Success for Biologist. *BioScience*, 63(10), 817-823.
- Liu, J., Zhou, G., Xu, Z., Duan, H., Li, Y. y Zhang, D. (2011) Photosynthesis acclimation, leaf nitrogen concentration, and growth of four tree species over 3 years in response to elevated carbon dioxide and nitrogen treatment in subtropical China. *Journal of Soils Sediments*, 11, 1155-1164.
- López-Vélez, R. y Molina Moreno, R. (2005). Cambio climático en España y riesgo de enfermedades infecciosas y parasitarias transmitidas por artrópodos y roedores. *Revista Española de Salud Pública*, 79, 177-190.
- Madhu, M. y Hatfield, J. L. (2013). Dynamics of plant root growth under increased atmospheric carbon dioxide. *Agronomy Journal*, 105, 657-669.
- Mainwaring, M. C. (2015). The use of man-made structures as nesting sites by birds: a review of the costs and benefits. *Journal for Nature Conservation*, 25, 17-22. doi:10.1016/j.jnc.2015.02.007.
- Meineke, E., Youngsteadt, E., Dunn, R. R. y Frank, S. D. (2016). Urban warming reduces aboveground carbon storage. *Proceedings Royal Society B*, 283, 20161574.
- Meineke, E. K., Dunn, R. R. y Frank, S. D. (2014). Early pest development and loss of biological control are associated with urban warming. *Biology Letters*, 10, 2-4.
- Meineke, E. K., Dunn, R. R., Sexton, J. O. y Frank, S. D. (2013). Urban warming drives insect pest abundance on street trees. *PLoS One*, 8, e59687.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

- RESUMEN Mejía, M. A. (Ed.). (2016). *Naturaleza Urbana: plataforma de experiencias*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 208 p.
- PALABRAS CLAVE Misslin, R., Telle, O., Daudé, E., Vaguet, A. y Paul, R. E. (2016). Urban climate versus global climate change-what makes the difference for dengue?. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1382(1), 56-72.
- ABSTRACT
- KEY WORDS Moreno-Echeverry, D., Useche, D. C. y Balaguera-López, H. (2019). Respuesta fisiológica de especies arbóreas al anegamiento. Nuevo conocimiento sobre especies de interés en el arbolado urbano de Bogotá. *Colombia Forestal*, 22(1). doi.org/10.14483/2256201X.13453.
- INTRODUCCIÓN Müller, N y Werner, P. (2010). Urban biodiversity and the case for implementing the convention on biological diversity in towns and cities. En Muller, N., Werner, P y Kelcey, J. G. (Eds.). *Urban Biodiversity and Design*. Pp. 1-32. Blackwell Publishing Ltd.
- DESARROLLO Myers, S. S., Zanobetti, A., Kloog, I., Huybers, P., Leakey, A.D.B., Bloom, A. J., Carlisle, E., Dietterich, L. H., Fitzgerald, G., Hasegawa, T., Holbrook, N. M., Nelson, R. L., Ottman, M. J., Raboy, V., Sakai, H., Sartor, K.A., Schwartz, J., Seneweera, S., Tausz, M. y Usui, Y. (2014). Increasing CO<sub>2</sub> threatens human nutrition. *Nature* 510, 139-142.
- DISCUSIÓN Nagel, K. A., Kastenholz, B., Jahnke, S., Van Dusschoten, D., Aach, T., Mühlich, M., Truhn, D., Scharr, H., Terjung, S., Walter, A. y Schurr, U. (2009). Temperature responses of roots: Impact on growth, root system architecture and implications for phenotyping. *Functional Plant Biology*, 36, 947-959.
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- AGRADECIMIENTOS
- REFERENCIAS
- SOBRE LOS AUTORES
- ANEXOS
- Neil, K., Wu, J., Bang, C. y Faeth, S. (2015). Urbanization affects plant flowering phenology and pollinator community: effects of water availability and land cover. *Ecological Processes*, 3, 1-12.
- Nowak, D. J. (2010). Urban Biodiversity and climate change. En Müller, N., Werner, P., Kelcey, J. G. (Eds.). *Urban Biodiversity and Design*. Pp: 101-117. Blackwell Publishing.
- Organización Meteorológica Mundial. (2017). *WMO Guidelines on the calculation of climate normals*. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization. 20 p.
- Pedersen, M. (2018). The importance of urban biodiversity-an ecosystem services approach. *Biodiversity International Journal*, 2(4), 357-360.
- Rastandeh, A., y Zari, M. P. (2018). A spatial analysis of land cover patterns and its implications for urban avifauna persistence under climate change. *Landscape Ecology*, 33(3), 455-474.
- Raupp, M. J., Shrewsbury, P. M. y Herms, D. A. (2010). Ecology of herbivorous arthropods in urban landscapes. *Annual Review of Entomology*, 55, 19-38.
- Reiner, Jr. R. C., Smith, D. L. y Gething, P. W. (2015). Climate change, urbanization and disease: summer in the city. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 109, 171-172.
- Rellán-Álvarez, R., Lobet, G., Lindner, H., Pradier, P. L., Sebastian, J., Yee, M.C., Geng, Y., Trontin, C., Larue, T., Schragger-Lavelle, A., Haney, C. H., Nieu, R., Maloof, J., Vogel, J. P. y Dinneny, J. R. (2015). GLO-Roots: an imaging platform enabling multidimensional characterization of soil-grown root systems. *eLife*, 4, 1-26.
- Rizhsky, L., Liang, H. y Mittler, R. (2002). The combined effect of drought stress and heat shock on gene expression in Tobacco. *Plant Physiology*, 130, 1143-1151.

- Rosselli, L., Stiles, F. G. y Camargo, P. A. (2017). Changes in the avifauna in a high Andean cloud forest in Colombia over a 24 year period. *Journal of Field Ornithology*, 88(3), 211-228.
- Searle, S. Y., Turnbull, M. H., Boelman, N. T., Schuster, W. S. F., Yakir, D. y Griffin, K. L. (2012) Urban environment of New York City promotes growth in northern red oak seedlings. *Tree Physiology*, 32, 389-400.
- Solecki, W. y Marcotullio, P. J. (2013). Climate change and urban biodiversity Vulnerability. En Elmquist, T., Fragkias, M., Goodness, J., Güneralp, B., Marcotullio, P. J., McDonald, R. I., Parnell, S., Schewenius, M., Sendstad, M., Seto, K. C. y Wilkinson, C. (Eds). *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: challenges and opportunities*. Pp: 485-504. Dordrecht: Springer.
- Springer, C. J. y Ward, J. K. (2007). Flowering time and elevated atmospheric CO<sub>2</sub>. *New Phytologist*, 176, 243-255.
- Stiles, F. G., Rosselli, L. y De La Zerda, S. (2017). Changes over 26 Years in the Avifauna of the Bogotá Region, Colombia: Has Climate Change Become Important?. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 5, 58.
- Su, Z., Ma, X., Guo, H., Sukiran, N. L., Guo, B., Assmann, S. M. y Ma, H. (2013). Flower development under drought stress: morphological and transcriptomic analyses reveal acute responses and long-term acclimation in Arabidopsis. *Plant Cell*, 25, 3785-3807.
- Sukopp, H. y Wurzel, A. (2003). The effects of climate change on the vegetation of Central European Cities. *Urban Habitats*, 1(1), 66-86.
- Supe, G. N. y Gawande, S. M. (2013) Effects of dustfall on vegetation. *International Journal of Science and Research*, 2184-2188.
- Taylor, L. y Hochuli, D. F. (2014). Creating better cities: how biodiversity and ecosystem functioning enhance urban residents' wellbeing. *Urban Ecosystem*. doi:10.1007/s11252-014-0427-3.
- Tobolka, M., Zolnierowicz, K. M. y Reeve, N. F. (2015). The effect of extreme weather events on breeding parameters of the White Stork *Ciconia ciconia*. *Bird Study*, 62, 377-385. doi: 10.1080 /00063657.2015.1058745.
- Tryjanowski, P. y Kuźniak S. (2002). Population size and productivity of the White Stork *Ciconia ciconia* in relation to Common Vole *Microtus arvalis* density. *Ardea*, 90, 213-217.
- Tryjanowski, P., Sparks, T. H. y Profus, P. (2009). Severe flooding causes a crash in production of white stork (*Ciconia ciconia*) chicks across central and Eastern Europe. *Basic and Applied Ecology*, 10, 387-392. doi:10.1016/j.baae.2008.08.002.
- Tubby, K. V. y Webber, J. F. (2010). Pest and diseases threatening urban trees under a changing climate. *Forestry*, 83(4), 451-459.
- Ugolini, F., Busotti, F., Lanini, G. M., Raschi, A., Tani, C. y Tognetti, R. (2012). Leaf gas Exchanges and photosystem efficiency of the holm oak in urban green areas of Florence, Italy. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11, 313-319.
- United Nations. (2014). *World urbanizations prospects: the 2014 revision population database*. New York: United Nations. <http://esa.un.org/unup/>

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

SOBRE LOS AUTORES

ANEXOS

RESUMEN	
PALABRAS CLAVE	Urbina-Cardona, J. N. (2016). Gradientes andinos en la diversidad y patrones de endemismo en anfibios y reptiles de Colombia: posibles respuestas al cambio climático. <i>Revista Facultad de Ciencias Básicas</i> , 7(1), 74-91.
ABSTRACT	
KEY WORDS	Useche, D. C. (2010). Biodiversidad: cimiento de nuestra capacidad para enfrentar el cambio climático. En García M. P., Amaya O. D. (Eds). <i>Derecho y cambio climático</i> . Pp. 93-122. Bogotá: Universidad Externado de Colombia.
INTRODUCCIÓN	
DESARROLLO	Van Der Jeugd, H. P., Eichhorn, G., Litvin, K. E., Stahl, J., Larsson, K., Van Der Graaf, A. J., Drent, R. H. (2009). Keeping up with early springs: rapid range expansion in an avian herbivore incurs a mismatch between reproductive timing and food supply. <i>Global Change Biology</i> , 15, 1057-1071. doi:10.1111/j.1365-2486.2008.01804.
DISCUSIÓN	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	Velásquez, A., Danve, C. y Yang, S. (2018). Plant-Pathogen warfare under changing climate conditions. <i>Current Biology</i> , 28(10), 619-634.
AGRADECIMIENTOS	Wang, X-M., Wang, X-K., Su, Y-B. y Zhang, H-X. (2019). Land pavement depresses photosynthesis in urban trees especially under drought stress. <i>Science of the Total Environment</i> , 653, 120-130.
REFERENCIAS	
SOBRE LOS AUTORES	Wilby, R. L. y Perry, G. L. W. (2006). Climate change, biodiversity and the urban environment: a critical review based on London, UK. <i>Progress in Physical Geography</i> , 30(1), 73-98.
ANEXOS	Wilmers, F. (1988). Green for melioration of urban climate. <i>Energy and Buildings</i> , 11(1), 289-299.

## SOBRE LOS AUTORES

### Diana C. Useche

Independiente  
dcuseche@gmail.com

### Juliana Durán-Prieto

Jardín Botánico de Bogotá  
julidpl@gmail.com

### Ingrith A. Zárate Caballero

Independiente  
ingrithzar@hotmail.com

### Darwin L. Moreno-Echeverry

Universidad Nacional de Colombia  
dlmorenoe@unal.edu.co

## Laura Velásquez

James Cook University, Australia  
laura.velasquezjimenez@my.jcu.edu.au

## Pedro A. Camargo

Asociación Bogotana de Ornitología  
pcamargo@avesbogota.org

## ANEXOS

Anexo 1. Publicaciones nacionales e internacionales sobre biodiversidad urbana y clima.

Citación sugerida

Useche, D. C., Durán-Prieto, J., Zárate-Caballero, I. A., Moreno-Echeverry, D. L., Velásquez, L. y Camargo, P. A. (2019). Clima, ciudades y biodiversidad: revisión de producción científica. *Biodiversidad en la Práctica*, 4(1), 212-237.

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

KEY WORDS

INTRODUCCIÓN

DESARROLLO

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

**SOBRE LOS AUTORES**

**ANEXOS**