



Análisis de vulnerabilidad y riesgo climático

del bioma amazónico y sus áreas protegidas





Análisis de vulnerabilidad y riesgo climático del bioma amazónico y sus áreas protegidas

Johanna Prüssmann, César Suárez,
Óscar Guevara y Analiz Vergara



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



Donantes

Supported by:



Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety

based on a decision of the German Bundestag



Unión Europea

Análisis de vulnerabilidad y riesgo climático del bioma amazónico y sus áreas protegidas

© WWF

Colaboradores:

WWF-Colombia

Johanna Prüssmann
César Freddy Suárez
Jairo Guerrero
Óscar Guevara
Julia Gorricho
Luis Germán Naranjo
Melissa Abud
Carolina López

WWF-Brasil

Bernardo Caldas de Oliveira
Mariana Napolitano e Ferreira

WWF-Ecuador – WWF-LAC

Analiz Vergara

Meteo-Colombia

Thorsten Beisiegel
José Daniel Pabón
Patricia Téllez

Edición:

María Elfi Chaves S.

Coordinación editorial:

Carmen Ana Dereix R.

Diseño y diagramación:

El Bando Creativo

Créditos de imágenes:

Figura 2.

Mapa base: ESRI, DigitalGlobe, Geoeye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo and the GIS User Community, Esri, HERE, DeLorme, MapmyIndia © and the GIS User Community.

Figura 14.

Ficus máxima
Ateles belzebuth
Tetrapus sp
Tapirus terrestris
Pecari tajacu
Panthera onca
Bradypus variegatus
Amazilia versicolor
Ceiba pentandra

Phyllostomus discolor

Boa constrictor
Dasyprocta fuliginosa
Cuniculus paca
Crax globulosa
Myoprocta acouchy
Cebus albifrons
Cebus albifrons
Mauritia flexuosa
Astrocaryum chambira
Euterpe precatoria
Caryocar villosum
Ara macao
Sarcoramphus papa

Guerrit Davidse
Pete Oxford
Christian Ziegler
Guillaume Feuillet
Adrian Hepworth
Frans Lanting
Adriano G. Chiarello
Nick Athanas
Steven paton, Smithsonian Tropical
Research Institute
Programa de Conservación de los
Murciélagos de Paraguay – PCMPy
Nicole Hollenstein
Ryan Shaw
David Cook
Vla Bulatao
Milan Korínek
Bruno Salaroli
Francisco Estéves
www.rarepalmseeds.com
www.beamazon.org
Mateo Hernández
Renan Chisté
parfaitimage.com
Alessandro Abdala



Agosto de 2016

Citar como: Prüssmann J., Suárez C., Guevara O. y A. Vergara. 2016. Análisis de vulnerabilidad y riesgo climático del bioma amazónico y sus áreas protegidas. Proyecto “Visión amazónica: áreas protegidas, soluciones naturales al cambio climático”. 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 p. Cali, Colombia.

Las denominaciones en este documento y su contenido no implican endoso o aceptación por parte de las instituciones participantes, juicio alguno respecto de la condición jurídica de territorios o áreas ni respecto del trazado de sus fronteras o límites.

Índice

Presentación	5
Introducción	6
Acuerdo de París – Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático	7
Marco conceptual y metodológico	8
Introducción	9
Metodología marco	9
Fortalezas, debilidades y limitaciones	10
Ámbito geográfico del análisis	11
Variabilidad y cambio climático en el bioma amazónico	13
Introducción	14
Variabilidad interanual e interdecadal (a largo plazo)	14
Índice Regional de Cambio Climático	18
Servicios ecosistémicos	19
Recurso hídrico	20
Almacenamiento de carbono	22
Biodiversidad – Hábitat de especies	23
Impulsores de transformación del paisaje	29
Deforestación	30
Índice de Riesgo Ecológico	32
Índice de Riesgo Integrado	34
Aporte de las áreas protegidas a la resiliencia del bioma	37
Construcción de un concepto de resiliencia climática	38
Elementos básicos de una agenda con enfoque en resiliencia climática	38
Conclusiones y recomendaciones	42
Principales resultados del análisis	43
El papel de las áreas protegidas	44
Referencias bibliográficas	46



Presentación

La Amazonia es el bioma con la mayor superficie de bosque tropical continuo en el mundo. De hecho, dobla en tamaño a la segunda cuenca más grande, la del río Congo. Es además el sistema hídrico más importante del planeta, pues casi 20% del agua dulce mundial está en esta cuenca. Es refugio de decenas de miles de especies y cinco de los 17 países megadiversos del mundo son amazónicos. La cuenca brinda servicios ecosistémicos cruciales para el ser humano, pues es fundamental para regular el clima no solo de la región sino del planeta; 10% del carbono mundial se encuentra en sus bosques y sus ciclos hídricos garantizan agua para regiones distantes a través de los “ríos voladores”, masas de aire húmedo que viajan por Sudamérica dotando del líquido vital a regiones distantes. La Amazonia es el hogar de más de 30 millones de personas y de alrededor de 350 pueblos y culturas indígenas.

Sin embargo, esta enorme riqueza es especialmente vulnerable a los efectos del cambio climático. Sus efectos se ven multiplicados por una serie de actividades insostenibles relacionadas con el avance de la frontera agropecuaria, la construcción de infraestructura y la extracción de recursos no renovables, entre otros. El estudio que se presenta a continuación, realizado por un extraordinario equipo de profesionales y con la participación activa de los gobiernos de la Amazonia, es un análisis a escala regional sobre la vulnerabilidad y riesgo climático de la región y sus áreas protegidas. El documento indica, entre otras cosas, que la calidad y cantidad de servicios ecosistémicos que brinda esta zona son muy probables que se alteren debido a factores relacionados con el cambio climático y el cambio en el uso del suelo. Los estudios muestran que las regiones de mayor riesgo relacionado con cambio climático, de mayor vulnerabilidad sociocultural, corresponden a la parte oriental de la Amazonia, cerca de Manaus en Brasil y de Iquitos en Perú, así como el piedemonte colombiano y peruano en el oeste del bioma.

Una conclusión importante del estudio es el reconocimiento del rol que juegan las áreas protegidas, ya que son fundamentales “amortiguadores” del impacto del cambio climático sobre la biodiversidad y ayudan a reducir los riesgos relacionados. Se demuestra que estas áreas son importantes herramientas de adaptación y mitigación al cambio climático y que la conservación de su integridad es fundamental para reducir la vulnerabilidad, en línea con la declaración que presentó REDPARQUES en la Vigésima Primera Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático de París en 2015. Juntos, áreas protegidas y territorios indígenas son piezas fundamentales para que la Amazonia nos siga proveyendo de sus servicios.

Esperamos que este estudio ayude a orientar a los gobiernos y a la sociedad civil en la toma de decisiones para la conservación y manejo efectivo, que les permita a los países amazónicos, con el apoyo de la comunidad internacional, mantener la funcionalidad e integridad ecológica del bioma y desarrollar e implementar una agenda de resiliencia al cambio climático para esta región tan importante de nuestro planeta.

TARSICIO GRANIZO
Coordinador - Unidad de Coordinación
Amazónica, WWF-LAC

PEDRO GAMBOA
Director, Servicio Nacional de Áreas
Protegidas, SERNANP, Perú
Coordinador Regional, REDPARQUES

Quito y Lima, agosto de 2016

Introducción

En los últimos años, la información detallada y a escala fina sobre clima, variabilidad y cambio climático no ha sido suficiente para establecer cómo la biodiversidad, las comunidades y los sectores económicos van a quedar expuestos y amenazados ante los cambios ambientales o para apoyar la toma de decisiones a diferentes niveles de política pública. La comunidad internacional adoptó el marco conceptual e invirtió recursos significativos en hacer evaluaciones de vulnerabilidad al cambio climático como el único indicador, sin entender que a diferentes escalas y en sistemas altamente complejos es necesario analizar los riesgos climáticos existentes y esperados y las variables que determinan su capacidad para resistir y recuperarse de los impactos negativos.

En los análisis de vulnerabilidad y riesgo climático que se llevaron a cabo en el marco del proyecto “Visión amazónica: áreas protegidas, soluciones naturales al cambio climático”, que presentamos en esta publicación, incluimos otros elementos de tal forma que se lograra una aproximación integrada en el análisis que permitiera de forma efectiva definir estrategias de adaptación al cambio climático vinculadas con áreas protegidas y el fortalecimiento de la resiliencia en el bioma amazónico, una región reconocida a nivel mundial no solo por su riqueza en biodiversidad sino también por los servicios ecosistémicos que provee a escala local, regional y global. Nuestros análisis se enfocan en contribuir con los esfuerzos de la Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Parques Naturales, Áreas Protegidas, Fauna y Flora Silvestre (REDPARQUES) de consolidar una visión de conservación amazónica.

Este documento presenta los análisis llevados a cabo a lo largo de siete secciones principales. En la primera, después de esta introducción, se hace una síntesis breve del marco conceptual y metodológico usado en los análisis. La segunda se refiere a la variabilidad y cambio climático en el bioma amazónico e incluye el Índice Regional de Cambio Climático. En la tercera, se incluyen los análisis relacionados con los servicios ecosistémicos de recurso hídrico, almacenamiento de carbono y biodiversidad, específicamente en relación con el hábitat de distintas especies. La cuarta sección, sobre los principales impulsores de transformación en el bioma amazónico, termina con el Índice de Riesgo Ecológico del bioma amazónico. Los dos índices antes mencionados contribuyen con el Índice Integrado de Riesgo que se presenta en la quinta sección. Finalmente, los pasos para construir una agenda de resiliencia para la región, así como conclusiones y recomendaciones generales derivadas del análisis se desarrollan en las dos últimas secciones.

Acuerdo de París - Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático

En la 21.^a Conferencia de las Partes de la CMNUCC llevada a cabo en diciembre de 2015 se logró concertar el llamado Acuerdo de París, en gran parte porque se generó un reconocimiento implícito de que los esfuerzos en mitigación y adaptación han sido insuficientes y que además se evidencia un progresivo aumento en la magnitud y velocidad de la incidencia de las actividades antropogénicas en el clima global.

En consecuencia, en su artículo 5, el acuerdo alienta a las partes a que incentiven y apoyen la conservación, la gestión sostenible de los bosques, el aumento de las reservas forestales de carbono y los “enfoques de política alternativos, como los que combinan la mitigación y la adaptación para la gestión integral y sostenible de los bosques”. Para ello, todos los niveles de gestión (local, subnacional, nacional e internacional) están siendo convocados con urgencia para redoblar esfuerzos a las escalas equivalentes y relevantes con el fin de alcanzar una adecuada reducción tanto de las emisiones de gases de efecto invernadero como de los riesgos climáticos, en sinergia con unas trayectorias de desarrollo que permitan lograr objetivos de desarrollo sostenible.

La Visión de Conservación de la Amazonia juega un papel fundamental en este contexto. Desde que fue concertada por las instituciones de los países amazónicos miembros de REDPARQUES (proceso que inició en 2008), se ha buscado posicionarla de manera positiva en espacios participativos de planeación y manejo de la conservación del bioma amazónico. El objetivo es consolidar unos sistemas amazónicos de áreas protegidas representativos, completos y efectivamente manejados y, además, definir cómo enfrentar las presiones, amenazas y factores de cambio más urgentes, incluidos aquellos que se derivan del cambio climático, identificando a la vez las oportunidades de lograr beneficios para las comunidades locales. La iniciativa es un esfuerzo conjunto entre REDPARQUES, las instituciones relacionadas con parques nacionales de cada país, UICN, FAO y WWF, que comparten objetivos comunes y aportan el conocimiento, los recursos y el liderazgo necesarios para lograr los resultados que demanda dicha Visión.

Desde 2014 y como parte de la implementación de la Visión de Conservación de la Amazonia, REDPARQUES, en conjunto con WWF a través de los proyectos SNACC¹ y IAPA, ha dirigido esfuerzos para mejorar la comprensión de los procesos de transformación del bioma amazónico originados o detonados por un clima cambiante, las acciones prioritarias para conservación y manejo del bioma “climáticamente inteligente” y los mecanismos para el fortalecimiento de la planeación y manejo de los sistemas de áreas protegidas.

1 La Visión de Conservación Amazónica actualmente cuenta con dos proyectos que se implementan en el marco de esta iniciativa: 1) Áreas Protegidas, Soluciones Naturales al Cambio Climático (SNACC) – financiado por el Ministerio Federal Alemán de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Construcción y Seguridad Nuclear (BMUB, sigla en alemán) y WWF-Alemania; 2) Integración de las Áreas Protegidas del Bioma Amazónico (IAPA) – financiado por la Unión Europea y FAO.



© J.J. Huckin / WWF-US

Marco conceptual y metodológico



Introducción

El último informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, sigla en inglés), AR5-2014, afirma que la adaptación al cambio climático requiere de una aproximación en su análisis basada en riesgo que tome en cuenta las interacciones entre el clima y los sistemas sociales y ecológicos. El informe resalta la necesidad de construir “camino climáticamente resilientes” que, en el caso del bioma amazónico, combinen la reducción del riesgo climático y el incremento de la resiliencia climática para lograr conservar un paisaje amazónico saludable y sostenible.

Nuestro trabajo busca contribuir con la evaluación de las necesidades de adaptación climática en el bioma e integrarla en la Visión de Conservación Amazónica, con base en los siguientes conceptos. Se enfoca en el análisis de vulnerabilidad y riesgo climático y en la identificación de fuentes de servicios ecosistémicos y resiliencia en el bioma. Buscamos asegurar que se incluyan vínculos críticos entre clima (cambio climático, variabilidad y eventos climáticos extremos) y biodiversidad (especies, ecosistemas y servicios ecosistémicos), particularmente en el contexto de áreas protegidas. Desarrollamos la metodología aplicada basada en parte en el IPCC – AR5 y otras herramientas ya probadas que, combinadas, agregan valor. Esta aproximación permite que nuestro análisis tenga flexibilidad en su desarrollo tanto en el contexto de áreas protegidas específicas del bioma amazónico, como en el contexto de las necesidades y capacidades de cada uno de los países.

Buscamos asegurar que se incluyan vínculos críticos entre clima (cambio climático, variabilidad y eventos climáticos extremos) y biodiversidad (especies, ecosistemas y servicios ecosistémicos), particularmente en el contexto de áreas protegidas.

Metodología marco

Los estudios técnicos de vulnerabilidad y riesgo (Figura 1) tienen el propósito de brindar insumos que fortalezcan los procesos de planeación y manejo de las áreas protegidas del bioma amazónico, en un contexto ampliado que permita la incorporación de objetivos de gestión climática, como la mitigación, la adaptación y el desarrollo resiliente y bajo en carbono. A lo largo del diseño conceptual y ejecución del análisis, se acordó con los socios del proyecto que los estudios técnicos deberían abordar cada uno de los objetivos específicos de este, lo que necesariamente significa integrar múltiples escalas, fuentes de información, técnicas de modelación espacial y análisis.

En consecuencia, los primeros pasos para cumplir con este propósito de integración están relacionados con estudios técnicos que:

- Permiten entender el clima histórico, actual y esperado en el bioma amazónico, tanto en sus condiciones promedio como en su variabilidad.
- Identifican la incidencia de fenómenos físicos potencialmente peligrosos y amenazas originadas o detonadas por el clima.
- Actualizan la línea base de información climática, biológica, social, económica e institucional del bioma amazónico.
- Modelan la capacidad actual y futura del bioma para proveer servicios ecosistémicos, regulación hídrica, captura y secuestro de carbono y hábitat para especies, bajo consideraciones de cambio en usos de suelo y escenarios de cambio climático.
- Analizan y evalúan los riesgos climáticos, entendidos como la potencial pérdida en la funcionalidad² del bioma.
- Identifican los factores biofísicos del bioma amazónico que potencialmente son fuentes de resiliencia climática.
- Apoyan las políticas y modelos de desarrollo requeridos para intervenir territorios con una vocación de conservación y desarrollo social, que, sin embargo, están en condición de amenaza y transformación por cambios del clima, para los cuales no están adaptados.

2 Se entiende “funcionalidad” como la capacidad de provisión de servicios ecosistémicos.



Figura 1. Marco metodológico utilizado en el presente estudio.

Fortalezas, debilidades y limitaciones

El presente análisis es un gran avance en el conocimiento de los impactos de la variabilidad y cambio climático en el bioma amazónico y en la relación del sistema de áreas protegidas con respecto al mantenimiento de los servicios ecosistémicos. Provee información y datos clave para la toma de decisiones a nivel regional, como complemento a la definición de estrategias para afrontar los retos del cambio global en la región de la Amazonia. El documento recoge una variedad de estudios realizados en la región, que son referentes técnicos en sus diferentes temáticas (hidrología, clima, aspectos físicos y biológicos), los cuales invitamos a consultar para mayor detalle y aclaración de los elementos técnicos estudiados.

No obstante la variedad de fuentes de información, durante la revisión de información bibliográfica y geográfica, se evidenciaron grandes vacíos de información, en su gran mayoría correspondientes a una baja disponibilidad de datos climáticos, hidrológicos y biológicos debidamente georeferenciados. Como es común, se encuentran sesgos hacia áreas con mayor acceso. De igual manera, se posee muy poco conocimiento sobre el estado de vulnerabilidad de las especies frente a los impactos esperados de la variabilidad y el cambio climático, lo cual constituyó una limitación en el desarrollo del estudio.

Por otro lado, en los diferentes espacios de discusión y construcción del ejercicio, se propuso incluir con mayor relevancia el papel del contexto social de la Amazonia en el análisis de vulnerabilidad. Sin embargo, las diferencias en los indicadores existentes en los países amazónicos con respecto a su temporalidad, conceptos y métodos de medición no permitieron la integración total de estos aspectos.

Se posee muy poco conocimiento sobre el estado de vulnerabilidad de las especies frente a los impactos esperados de la variabilidad y el cambio climático, lo cual constituyó una limitación en el desarrollo del estudio.



Ámbito geográfico del análisis

El comité técnico del proyecto SNACC acordó delimitar el área de estudio con base en el concepto de “bioma amazónico”, que es una zona biogeográfica previamente definida por Olson y Dinerstein (1998). El polígono resultante abarca 6.851.583,24 km², que se encuentran en jurisdicción de ocho países (Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, Perú, Surinam y Venezuela) y un territorio de ultramar, Guayana Francesa (Figura 2).

El bioma amazónico abarca 6.851.583,24 km², que se encuentran en jurisdicción de ocho países y un territorio de ultramar francés.



¿Cuánta área contribuye cada país al bioma amazónico?

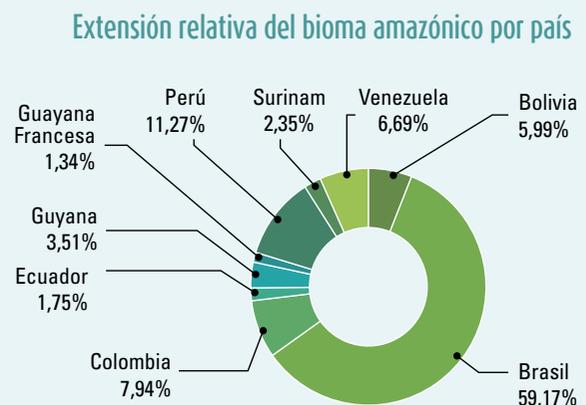
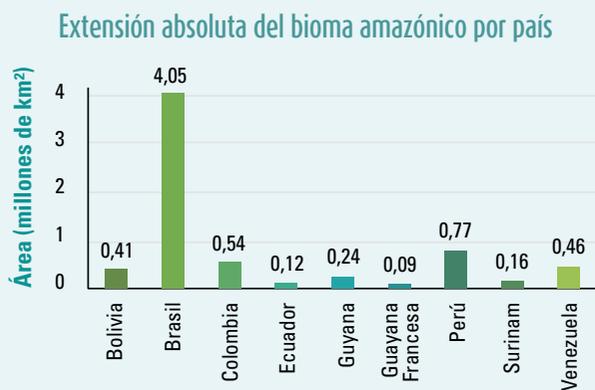
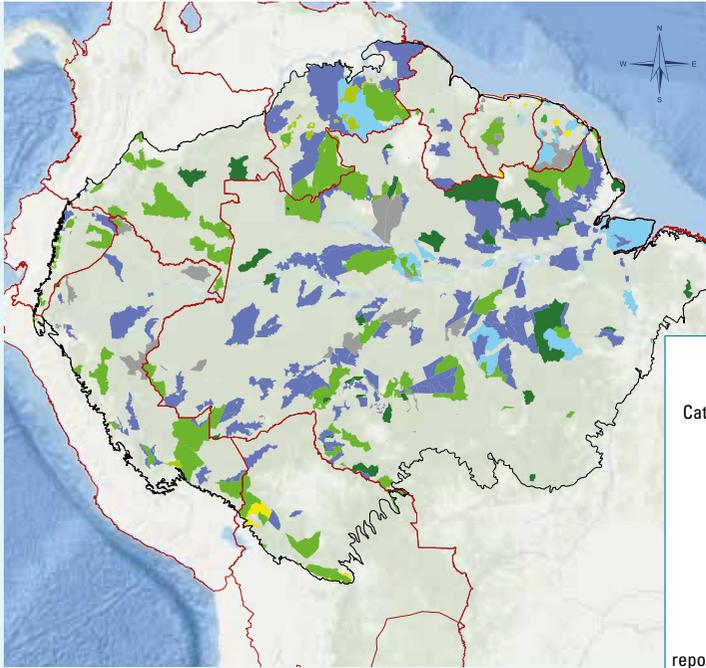


Figura 2. Límites y figuras de la region amazónica.

Casi 30% del bioma amazónico, es decir 1.945.769 km², está bajo alguna categoría de protección (Figura 3). Esto incluye 439 áreas protegidas de todas las categorías de la UICN, once Sitios Ramsar, siete Reservas de la Biósfera de Unesco y siete sitios denominados Patrimonio de la Humanidad de Unesco (IUCN y UNEP-WCMC 2015, Ramsar 2015). Estas áreas representan el centro del trabajo de REDPARQUES de construcción de resiliencia en el bioma amazónico para enfrentar los impactos negativos del cambio climático. Sin embargo, solo 145 áreas protegidas, 28% del territorio protegido (815.764 km² - 11,9% del bioma), están en las categorías UICN más estrictas la, Ib y II.

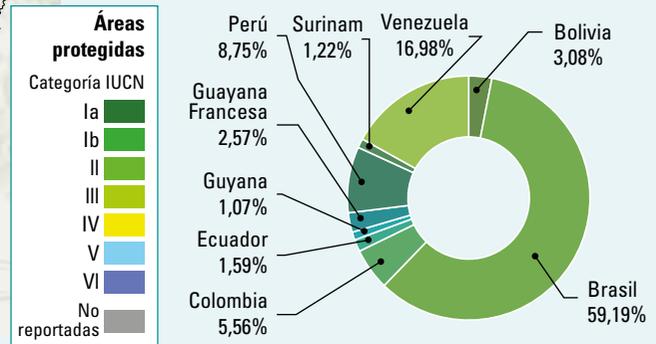


Fuentes de datos de áreas protegidas:

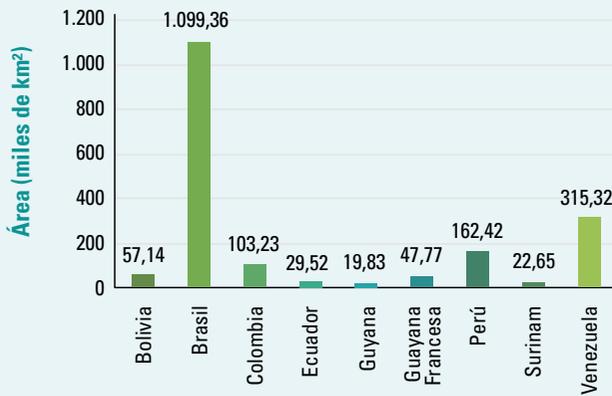
Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador y Perú: Los datos fueron provistos por los ministerios de ambiente de cada país.

Venezuela, Guayana, Guayana Francesa y Surinam: IUCN and UNEP-WCMC (2015), The World Database on Protected Areas (WDPA) [On-line], 08/2015], Cambridge, UK: UNEP-WCMC. Available at: www.protectedplanet.net

Porcentaje del bioma conservado en cada país



Áreas protegidas dentro de cada país (sólo dentro del bioma)



Participación de cada país a lo largo del sistema de áreas protegidas amazónicas

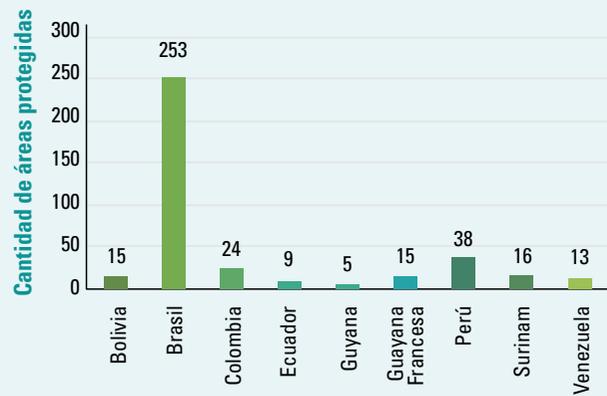


Figura 3. Extensión de las áreas protegidas en el bioma amazónico. Fuente: Ministerios de Medio Ambiente de Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador y Perú. IUCN, 2015: Venezuela, Guyana, Guayana Francesa y Surinam.

Es importante anotar que los límites de la cuenca del río Amazonas no necesariamente corresponden con los límites del bioma amazónico, el cual comprende también áreas del Orinoco hacia el noreste y otras cuencas como los ríos Essequibo, Courantyne y Maroni al norte, y los ríos Gurupi y Tocantins al este. Hacia la zona andina en el oeste de la región, el bioma no alcanza a cubrir las zonas glaciares y subglaciares de la divisoria de aguas de la cuenca.

Las áreas protegidas representan el centro del trabajo de REDPARQUES de construcción de resiliencia en el bioma amazónico para enfrentar los impactos negativos del cambio climático.



© Archivo fotográfico WWF-Colombia

Variabilidad y cambio climático en el bioma amazónico



Introducción

Debido a su gran tamaño, los patrones climáticos de la Amazonia son alterados por fases extremas de variabilidad climática y poseen particularidades subregionales, que se expresan en diferencias espaciales marcadas (Espinoza *et al.* 2009). Dadas las posiciones relativas del bioma y la migración de la Zona de Convergencia Intertropical, este presenta una bipolaridad climática a nivel intranual, que se traduce en que los meses húmedos y secos de la zona norte se invierten en la zona sur. Es decir, cuando en la región norte se presentan bajas precipitaciones, en la parte sur son altas y viceversa.

Para determinar el grado de influencia de fenómenos atmosféricos globales en la variabilidad climática de la Amazonia, se relacionaron la precipitación y temperatura de 134 estaciones disponibles en la base de datos del Climatic Research Unit con 10 índices climáticos (CRU 2015, Jones *et al.* 2012). Los análisis de estos datos mostraron variaciones extremas expresadas en eventos críticos, como las sequías de 2005 y 2010 y las inundaciones de 2002, 2008 y 2015. En esta sección, se muestran los resultados de estos análisis y de los modelos de cambio climático, utilizando promedios multianuales de precipitación y temperatura, con un periodo de referencia actual y un escenario futuro equivalente a un RCP de 8,5 para 2030. En el caso de los análisis de biodiversidad, se tomaron periodos más largos, al 2050 y 2080. Por último, el Índice de Riesgo Integrado se genera para las condiciones del presente siglo.

Debido a su gran tamaño, los patrones climáticos de la Amazonia son alterados por fases extremas de variabilidad climática y poseen particularidades subregionales, que se expresan en diferencias espaciales marcadas (Espinoza *et al.* 2009).

Variabilidad interanual e interdecadal (a largo plazo)

A escala regional, muchos de los indicadores de variabilidad climática muestran una relación mucho más evidente con procesos climáticos del Pacífico tropical que aquellos del Atlántico (Figura 4 y Tabla 1). El Fenómeno de El Niño del Pacífico del Este redonda en déficits de precipitaciones, en especial, el periodo comprendido entre diciembre y febrero (el verano austral). Anomalías en la temperatura del aire también tienen una distribución espacial diferente, con valores positivos mayores durante el verano austral.

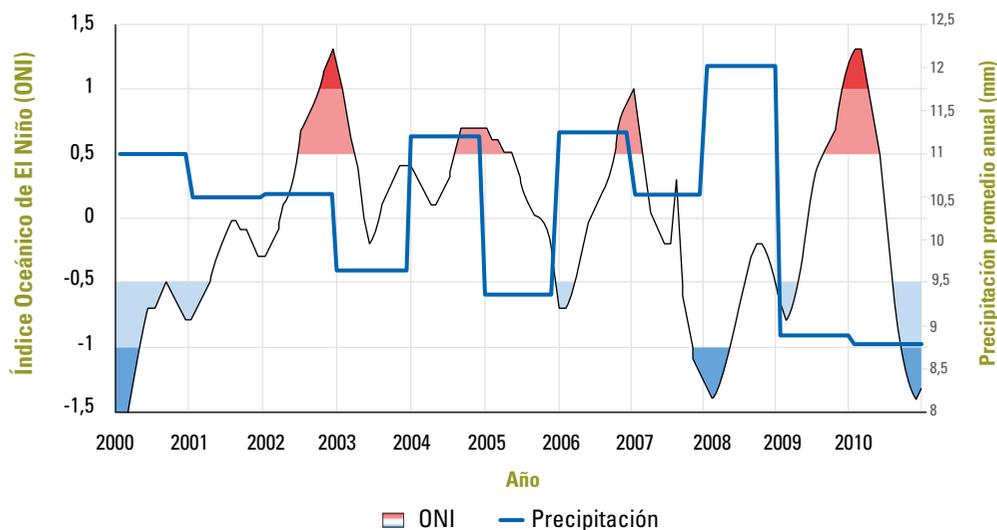


Figura 4. Correlación entre la precipitación promedio multianual acumulada con el Índice Oceánico de El Niño.



Tabla 1. Índices de variabilidad climática en el bioma amazónico

Proceso regulatorio	Sector del Amazonas donde el efecto es mayor	
	Precipitación	Temperatura
Variabilidad interanual	Efecto muy notorio al noroccidente, norte y sur del Amazonas. No es notorio en otras áreas	Efecto directo positivo muy notorio de El Niño y La Niña en el norte amazónico
Variabilidad de la temperatura en el Atlántico norte	Sin un efecto notorio en la precipitación	Efecto evidente en la temperatura
Variabilidad interdecadal en el Pacífico	Efecto inverso notorio en el extremo este de la cuenca	Sin efecto
Variabilidad interdecadal en el Atlántico	Sin efecto	Efecto inverso notorio en el extremo este de la cuenca

Variabilidad climática y cambios en la productividad neta del bosque



Los eventos climáticos extremos también tienen un efecto sobre la estructura y funcionamiento del bosque amazónico. El flujo del agua en los bosques del Amazonas durante los períodos secos está regulado principalmente por el acceso de las raíces al agua presente en el suelo y su redistribución en el ecosistema boscoso, que conllevan altas tasas de transpiración y fotosíntesis (Malhi *et al.* 2008). Debido a la influencia de la humedad del sue-

lo en la capacidad de los bosques amazónicos de responder a los impactos de la sequía, aquellas áreas con el mayor déficit de humedad en el suelo tienen una pérdida neta de biomasa durante estos eventos (Meir *et al.* 2009, Phillips *et al.* 2009). Por ejemplo, durante la sequía de 2005, más de 70 millones de hectáreas del Amazonas occidental experimentaron un fuerte déficit de agua (Saatchi *et al.* 2013) (Figura 5).

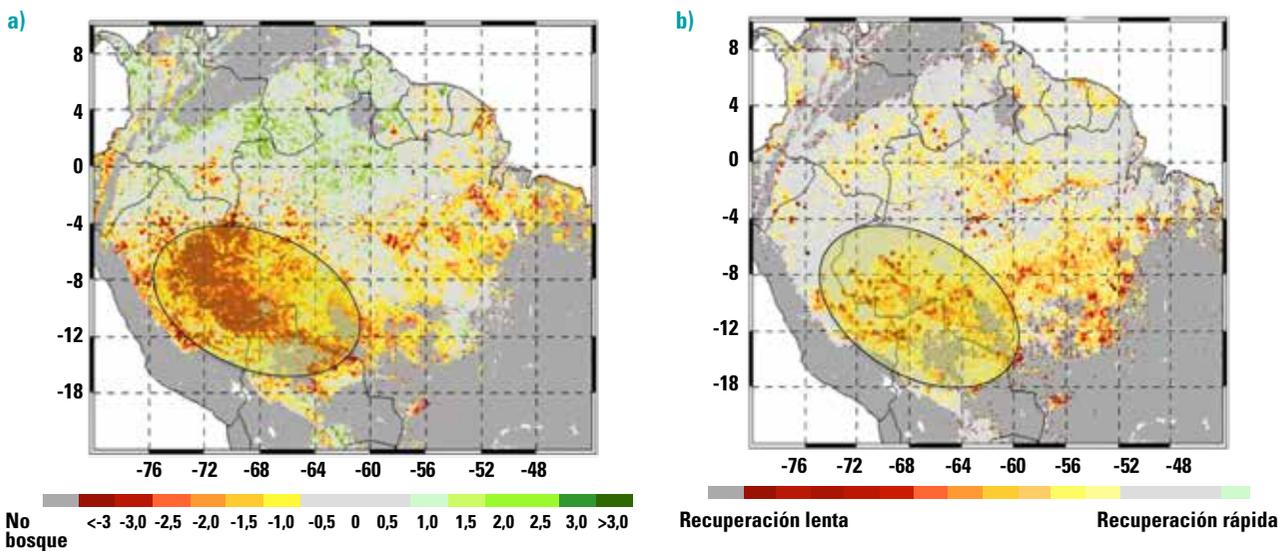


Figura 5. a) Distribución espacial y severidad de la sequía de 2005. b) Tasas de recuperación. Fuente: Adaptado de Saatchi *et al.* 2013.



Cambios en variables del clima



Evidencias del cambio climático en la Amazonia han sido señaladas de manera reiterada por diversos autores (IPCC 2012, 2013, Marengo 2009, Valverde & Marengo 2011). Los resultados de la simulación para el escenario RCP8.5 confirman lo que indica la literatura respecto al aumento de la temperatura en la Amazonia. El aumento es general en todo el territorio y oscila entre 0,3 °C y 3 °C. En consecuencia, se presenta también un aumento generalizado del contenido de vapor de agua. La respuesta de la precipitación al cambio climático en la Amazonia es diversa y se diferencia fuertemente por regiones. Una de las posibles causas puede ser el alto porcentaje de reciclaje de la precipitación, que depende de la oferta hídrica y el tipo de vegetación.

Los resultados de la simulación para el escenario RCP8.5 confirman lo que indica la literatura respecto al aumento de la temperatura en la Amazonia. Será general en todo el territorio y oscilará entre 0,3 °C y 3 °C.

Temperatura

Al analizar la distribución espacial de los cambios de temperatura promedio mensuales multitemporales para el periodo actual (Figura 6a) y futuro (Figura 6b), además de la diferencia entre ambos periodos (Figura 6c). Se observa en términos generales un calentamiento entre 0,3 °C y 3 °C. El mayor calentamiento se observa de febrero a mayo, con algunos núcleos al norte con incrementos cercanos a 2 °C y un amplio sector al sur con aumento hasta de 3,6 °C. Entre junio y agosto, se observan sectores con reducciones de temperatura (-0,2 °C y +0,2 °C) en el sur y el oriente, al igual que entre septiembre y enero sobre una franja dirigida de noroccidente a oriente. La distribución de las diferencias entre las temperaturas medias anuales permite ver un calentamiento generalizado entre 0,35 °C y 1,2 °C, más marcado en amplios sectores del sur, oriente, norte y centro de la Amazonia.

El mayor calentamiento se observa de febrero a mayo, con algunos núcleos al norte con incrementos cercanos a 2 °C y un amplio sector al sur con aumento de hasta 3,6 °C.

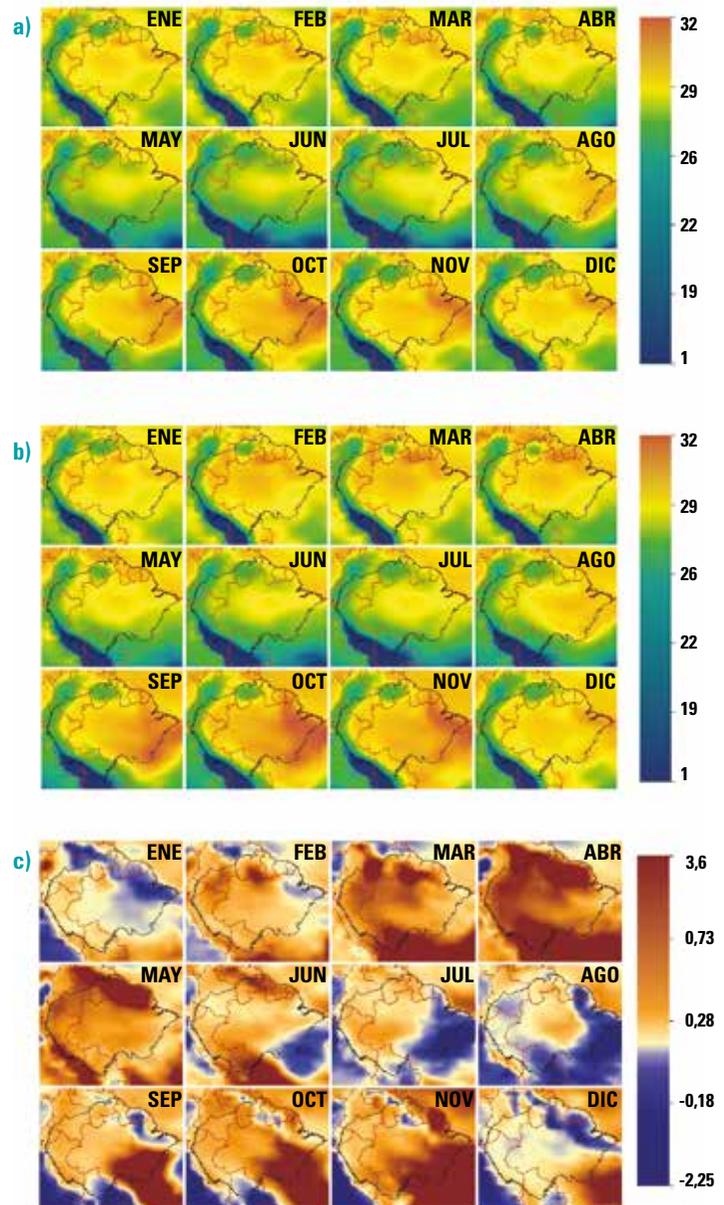


Figura 6. Temperaturas promedio mensuales multianuales (°C) para: a) Actual. b) Futuro. c) Diferencias en los promedios mensuales multianuales para ambos periodos.



Precipitación

Las modelaciones muestran el efecto de la posición relativa de la tierra respecto al Sol y el ángulo del eje de rotación sobre la oscilación de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) a lo largo del bioma y sus consecuencias sobre la presencia de núcleos de alta precipitación hacia el norte a mitades de año y hacia el sur a principios de año. La distribución espacial de los cambios en la precipitación de cada mes entre los periodos analizados, así como las anomalías entre ambos periodos (Figuras 7a-c), indica que en el periodo febrero-junio habría un marcado aumento de la precipitación en el suroccidente (Amazonia boliviana y peruana), sur y oriente, mientras que al norte (Amazonia colombiana y venezolana) se presentaría disminución. Entre julio y noviembre, la distribución de los cambios se invierte con aumentos al norte y disminuciones hacia el sur. En noviembre, diciembre y enero, habría un aumento en el sector oriental sobre el delta del río Amazonas en el estado de Pará. Una marcada disminución ocurriría en el sector sur y oriental de la región entre octubre y marzo. En promedio, se observan disminuciones cercanas a 20% en el sureste y oriente de la región y algunos núcleos de aumento cercano a 20% al norte. Al suroccidente, occidente y noroccidente, predomina el aumento de la precipitación en valores cercanos a 10%, mientras que en el resto de la cuenca, los valores oscilan entre -6% y +6%, es decir, prácticamente sin cambios significativos (Figura 7c).

En promedio, se observan disminuciones cercanas a 20% en el sureste y oriente de la región y algunos núcleos de aumento cercano a 20% al norte. Al suroccidente, occidente y noroccidente, predomina el aumento de la precipitación en valores cercanos a 10%.

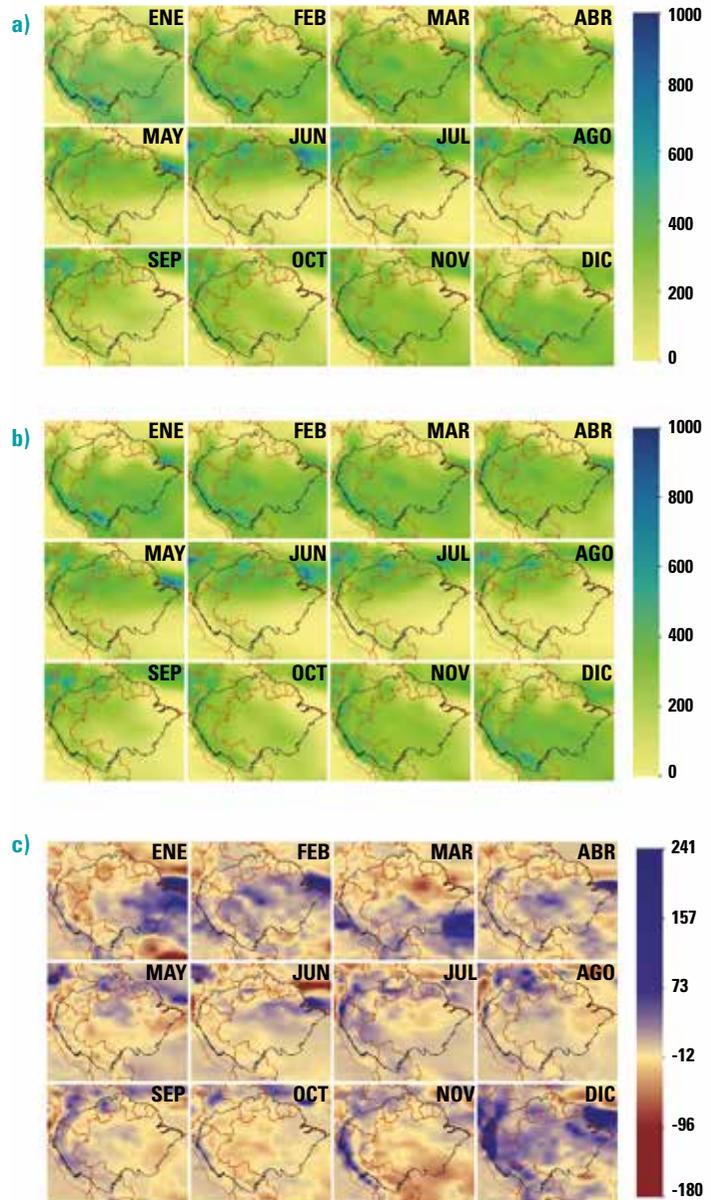


Figura 7. Precipitación promedio mensual multianual (mm) para: a) Actual. b) Futuro. c) Diferencias en los promedios mensuales multianuales para ambos periodos.



Índice Regional de Cambio Climático

El Índice Regional de Cambio Climático (RCCI, sigla en inglés; Giorgi & Bi 2005, Giorgi 2006), utilizado en el análisis de vulnerabilidad de las áreas naturales protegidas en Perú (Mena *et al.* 2014), muestra cómo se distribuirán los cambios en temperatura y precipitación a lo largo del bioma amazónico, tomando en cuenta la temporada de lluvias (invierno) y la temporada seca (verano), comparando los periodos climáticos actuales y futuros. Para su cálculo, adoptamos la caracterización climática de la temporada seca realizada por Malhi *et al.* (2008) en donde, para la región norte, establece los meses de diciembre a febrero, ampliando a noviembre, marzo y abril, y para la región centro y sur, los meses de junio a agosto, ampliando a mayo, septiembre y octubre.

Como afirma Giorgi (2006), el principal objetivo del análisis RCCI es comparar regiones entre sí más que proveer una medida absoluta del cambio. Los efectos del cambio climático serán mayores en la zona suroriental del bioma, en los estados de Pará, Mato Grosso y Rôndonia (Figura 8). En contraste, las zonas con

menor influencia del cambio climático en la Amazonia son los piedemontes de Colombia y Ecuador, la costa atlántica de Las Guayanas (Surinam, Guyana y Guayana Francesa) y el estado de Maranhão en Brasil. En Bolivia, las provincias de El Beni y Pando hacia el oriente son las que presentan mayor índice de cambio climático. Para Perú, la distribución es diferenciada por regiones; sin embargo, los mayores cambios se esperan hacia la frontera con Brasil y Bolivia.

Los efectos del cambio climático serán potencialmente mayores en la zona suroriental del bioma, en los estados de Pará, Mato Grosso y Rôndonia.

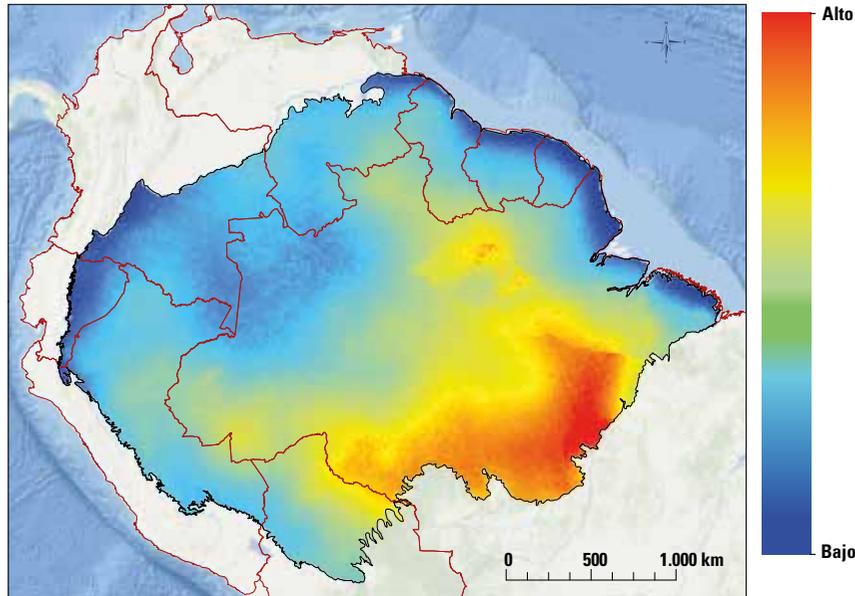


Figura 8. Índice Regional de Cambio Climático (RCCI) para el bioma amazónico.



© Brent Stirton / Getty Images WWF

Servicios ecosistémicos



Recurso hídrico

La respuesta del bioma amazónico a la variabilidad y cambio climático es muy poco uniforme desde un punto de vista biofísico (Figura 10). Por ejemplo, en los períodos 1996-1997 y 2005-2010, la parte suroriental amazónica sufrió sequías severas, especialmente en 2005 cuando se dio la más larga de los 40 años anteriores y la de mayor intensidad en los 100 años anteriores (Marengo *et al.* 2008, Tomasella *et al.* 2011). Durante estos eventos extremos, la navegación fluvial por el río Madeira y la parte central del río Amazonas tuvo que ser suspendida y las comunidades locales tuvieron que desplazarse a otros lugares para evitar quedar aisladas, debido a los bajos niveles del agua (Pinho *et al.* 2014). Esto volvió a suceder en octubre de 2014 (Telesur 2015) (Figura 9a). En febrero de ese mismo año, los municipios de Brasileira y Epitaciolândia en el Brasil y Cobija en Bolivia se inundaron (Figura 9b), con la subsiguiente erosión ribereña (Globo 2015, Sol de Pando 2015).

Si bien las sequías e inundaciones hacen parte de la variabilidad natural de la región, durante la última década su intensidad no ha tenido precedentes en la historia reciente. Esto indica que, a pesar de los altos niveles de incertidumbre en la información climática, es posible afirmar que las inundaciones y sequías continuarán aumentando en el futuro (Marengo *et al.* 2013).

Es posible afirmar que las inundaciones y sequías continuarán aumentando en el futuro.



© Bruno Kelly / REUTERS (Telesur 2015).



© Altino Machado.

Figura 9. a) Sequía que generó graves problemas de navegabilidad en los alrededores de Manaus en octubre de 2015.
b) Extensión de la inundación del río Acre ocurrida en febrero de 2015.

Aunque en promedio no se observa un cambio drástico para la cuenca amazónica en el punto de control de Manaus para el escenario futuro, sí se observan cambios drásticos en algunas de las subcuencas amazónicas.

En lo que respecta al rendimiento hídrico bajo escenarios de cambio climático, la modelación hidrológica realizada con el modelo InVEST (Skansi *et al.* 2013) muestra que, aunque en promedio no se observa un cambio drástico para la cuenca amazónica en el punto de control de Manaus para el escenario futuro, sí se observan cambios drásticos en algunas de las cuencas de la Amazonia (Figura 10), con diferencias que van desde 0,78% hasta 50,17% por debajo del promedio del periodo de referencia y entre 0,18% y 295,47% por encima de este. Las cuencas donde se presentará una mayor disminución del rendimiento hídrico (39% y 50%) serán Caroni, Caura y Cushabatay y las que tendrán un mayor aumento (36% y 295%) serán Amapá Grande – Macar y Caño Mono.

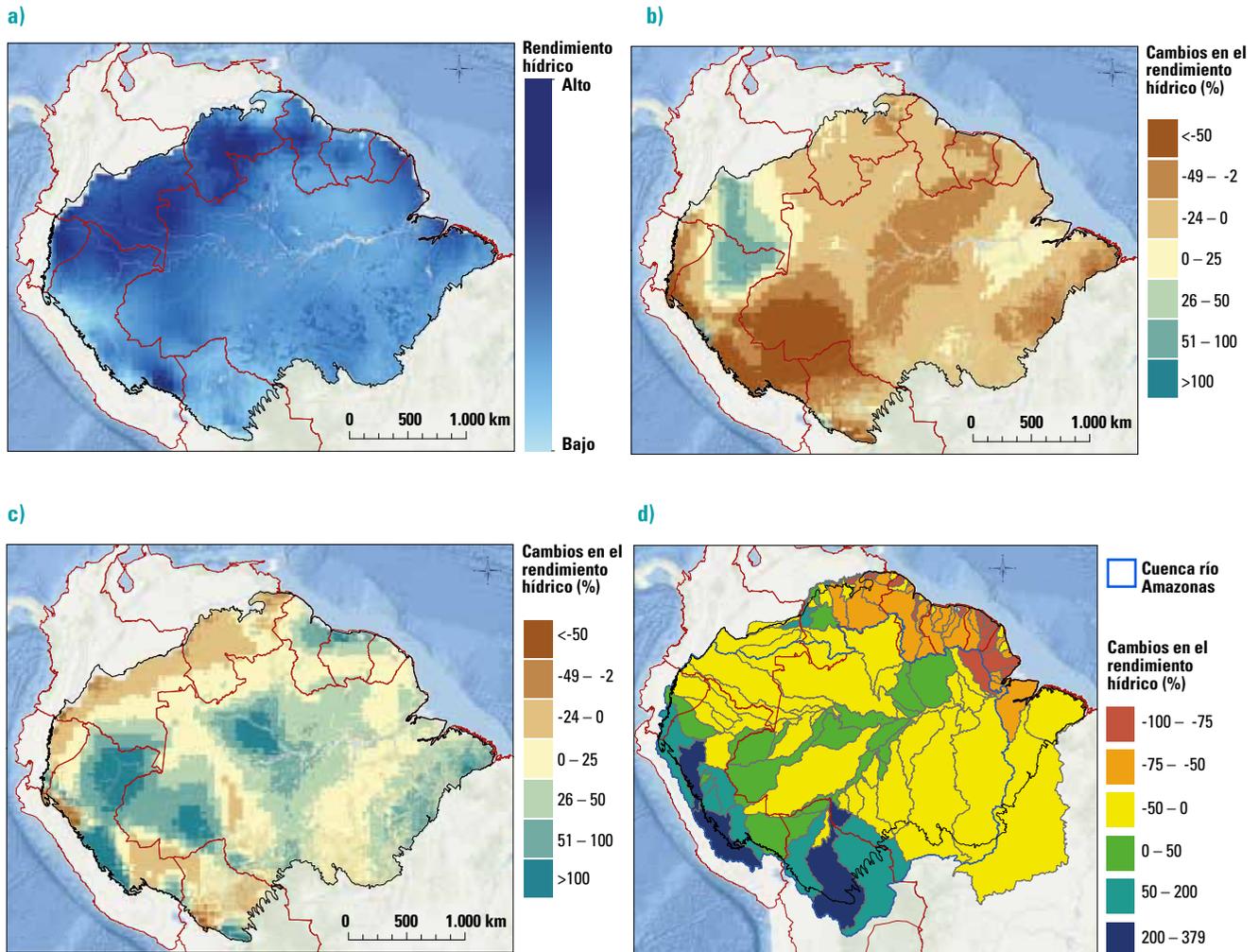


Figura 10. a) Rendimiento hídrico promedio para las condiciones actuales. b) Cambios porcentuales en el balance hídrico entre 2000 y 2005 (anomalías durante El Niño). c) Cambios en la productividad hídrica entre 2000 y 2010 (anomalías durante La Niña). d) Cambios porcentuales esperados en el rendimiento hídrico promedio a futuro bajo un escenario RCP 8,5 a nivel de subcuencas.

Por otro lado, al comparar el porcentaje de áreas protegidas en cada una de las cuencas con respecto al efecto de la variabilidad climática sobre el rendimiento hídrico para la sequía de 2005, encontramos que las variaciones más extremas en cuanto a recurso hídrico se presentan en las cuencas con menos territorio dentro de áreas protegidas, evidenciando así la importancia de estos espacios para mitigar los efectos de la variabilidad climática (Figura 11).

Las variaciones más extremas en cuanto a recurso hídrico se presentan en las cuencas con menos territorio dentro de áreas protegidas.

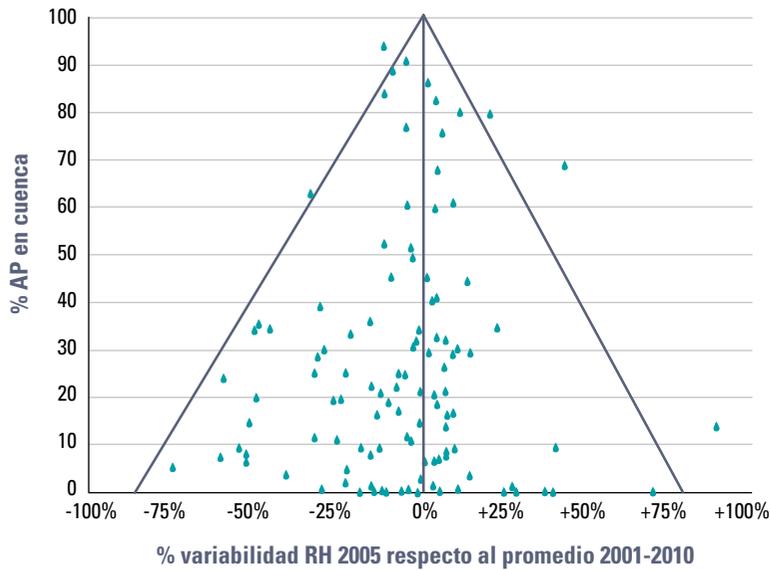


Figura 11. El papel de las áreas protegidas en la regulación de la descarga hídrica.

Almacenamiento de carbono

Sin lugar a dudas, uno de los servicios ecosistémicos más importantes que provee el bioma amazónico a escala global es el almacenamiento de carbono. De acuerdo con el mapa de densidad de carbono en áreas tropicales elaborado por Baccini *et al.* (2012) con información satelital (Figura 12a), se estima que los bosques del bioma amazónico almacenan 166.256,61 megatoneladas de carbono, que corresponden a 56,2% del carbono almacenado por la biomasa aérea de los bosques de todo el mundo (FAO, 2015). Aún más, si se compara la cantidad almacenada por hectárea entre áreas protegidas y otras desprotegidas, para todos los países, el valor es mayor en las primeras, con Colombia y Perú mostrando los mayores valores de almacenamiento de carbono (Figuras 12b y 12c).

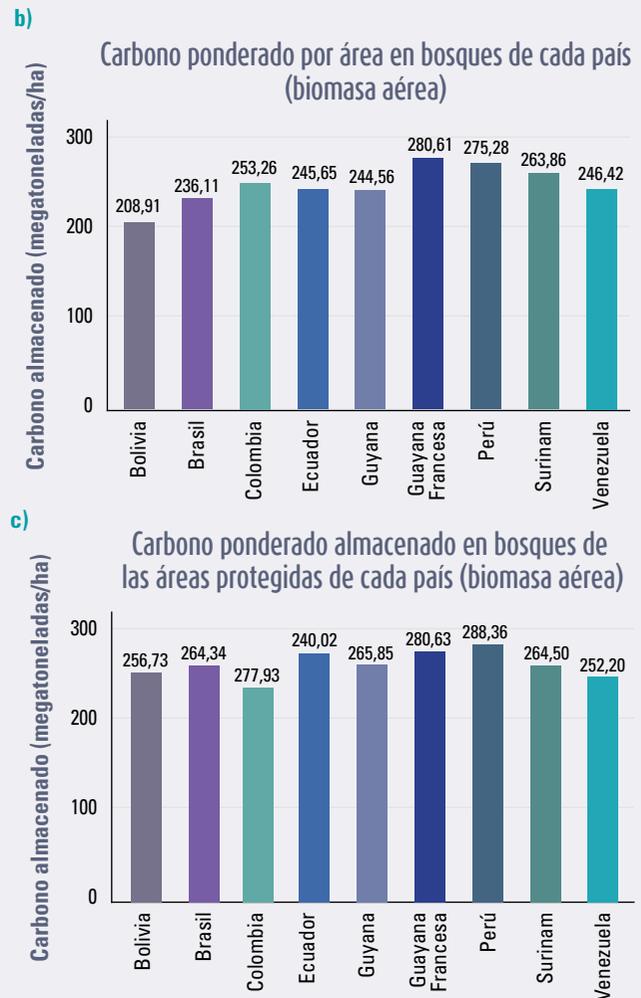
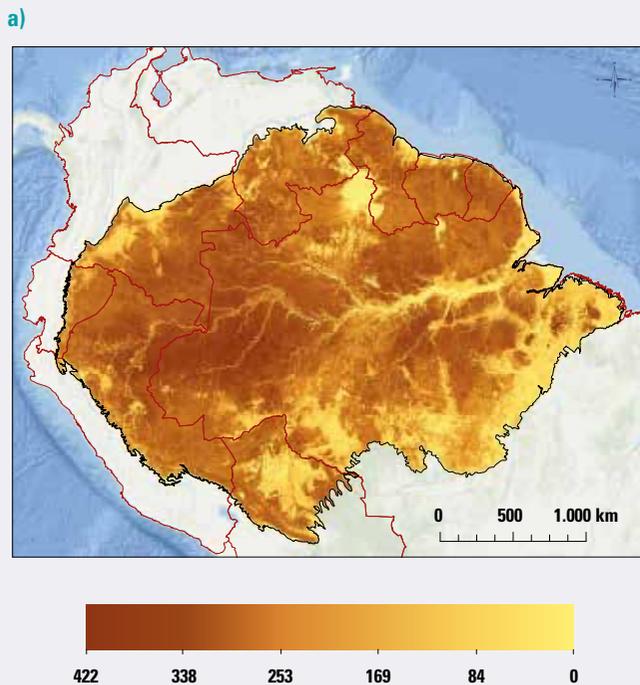


Figura 12.

a) Magnitud del almacenamiento de carbón en el bioma amazónico (ton/ha). **b)** Cantidad de carbono ponderado almacenado en el bioma amazónico por país. **c)** Cantidad de carbono ponderado almacenado en las áreas protegidas. Fuente: Baccini *et al.* 2012.



Sin embargo, bajo el modelo climático HadGEM2-ES del Centro Hadley en Gran Bretaña (Collins *et al.* 2011) y una trayectoria de emisiones de gases invernadero RCP 8,5, se predice una disminución de contenido de carbono en tres cuartas partes de la Amazonia. Hasta el año 2030, todo menos un núcleo ubicado en la parte nororiental experimentará cambios negativos en la vegetación. Es necesario aclarar, sin embargo, que existe una limitación en la información por la baja resolución espacial del modelo atmosférico. Al calcular los cambios promedio multianuales, anuales y mensuales entre el periodo actual y futuro (Figura 13), se observa que las mayores pérdidas de carbono ponderado se podrán estar

dando en las zonas del oriente y sur del bioma y, en menor medida, en la zona de piedemonte entre Perú y Ecuador. En la zona central de la Amazonia, se puede presentar un ligero aumento en el almacenamiento ponderado de carbono.

Se predice una disminución de contenido de carbono en tres cuartas partes de la Amazonia.

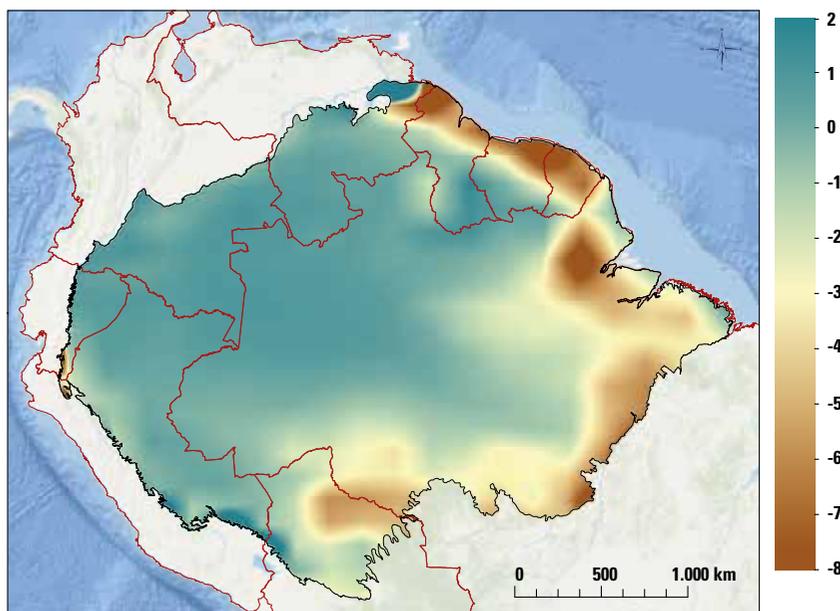


Figura 13.

Cambios porcentuales en el contenido de carbono en biomasa aérea a lo largo del bioma amazónico, actual y futuro.

Biodiversidad – Hábitat de especies

Cerca de 40% de los bosques húmedos tropicales del mundo se encuentran en el Amazonas. Se presume que estos bosques neotropicales son los más ricos en especies (Gentry 1988). Un hecho notable, por ejemplo, es que frecuentemente se pueden encontrar entre 200 y 300 especies diferentes de árboles en una hectárea de bosque amazónico, más de las que se conocen para toda la Unión Europea. Se estima que 40.000 especies de plantas, 427 de mamíferos, 1294 de aves, 378 de reptiles, 427 de anfibios y cerca de 3.000 especies de peces se encuentran en el bioma amazónico (Silva *et al.* 2005, Mittermeier *et al.* 2002, 2003).

Nosotros evaluamos el impacto en la distribución de especies representativas con diferentes atributos funcionales en el bioma amazónico, asumiendo que la integridad ecológica de las áreas protegidas depende de mantener las relaciones ecológicas entre sus objetos de conservación. Para nuestros análisis, utilizamos información global de datos bioclimáticos tanto actuales como futu-

Se estima que 40.000 especies de plantas, 427 de mamíferos, 1294 de aves, 378 de reptiles, 427 de anfibios y cerca de 3.000 especies de peces se encuentran en el bioma amazónico.

ros, utilizando una trayectoria de emisiones RCP de 8,5 (Hijmans *et al.* 2005). Igualmente, utilizamos datos de cambios en la distribución de especies, generada por la Iniciativa Wallace (Warren *et al.* 2013), que utilizó variables bioclimáticas y algoritmos de optimización del nicho climático de especies para modelar potenciales refugios climáticos a futuro (MaxEnt, Phillips *et al.* 2006).



Funcionalidad ecosistémica



A diferencia de la mayoría de estudios de modelación existentes, en este, el principal criterio para la selección de las especies a modelar en el bioma amazónico fue la existencia de relaciones ecológicas interespecíficas, soportada por información científica y registros disponibles en las bases de datos que permitieran su modelación. Así, la mayoría de especies presentadas en el análisis interactúan con otras incluidas en el listado. Para verificar las relaciones interespecíficas, consultamos artículos científicos y libros que mencionaran la existencia de dichas interacciones. También tuvimos en cuenta otros criterios como categoría de amenaza UICN, que fueran definidos previamente como Objetos de Conservación, su sensibilidad a factores climáticos, contribución a la conectividad y provisión de servicios ecosistémicos, entre otros atributos.

Como resultado de la búsqueda de información secundaria, generamos una red hipotética de relaciones simplificada (Figura 14) constituida por varios niveles tróficos, vínculos de funcionalidad ecológica y provisión de servicios ecosistémicos generados por las especies, de gran importancia para mantener la integridad del bioma. A pesar de ser una mínima muestra de la biodiversidad amazónica, el análisis de los cambios en la distribución de las especies constituye un acercamiento al entendimiento de los posibles impactos futuros que podría generar el cambio en las condiciones climáticas sobre las relaciones interespecíficas.

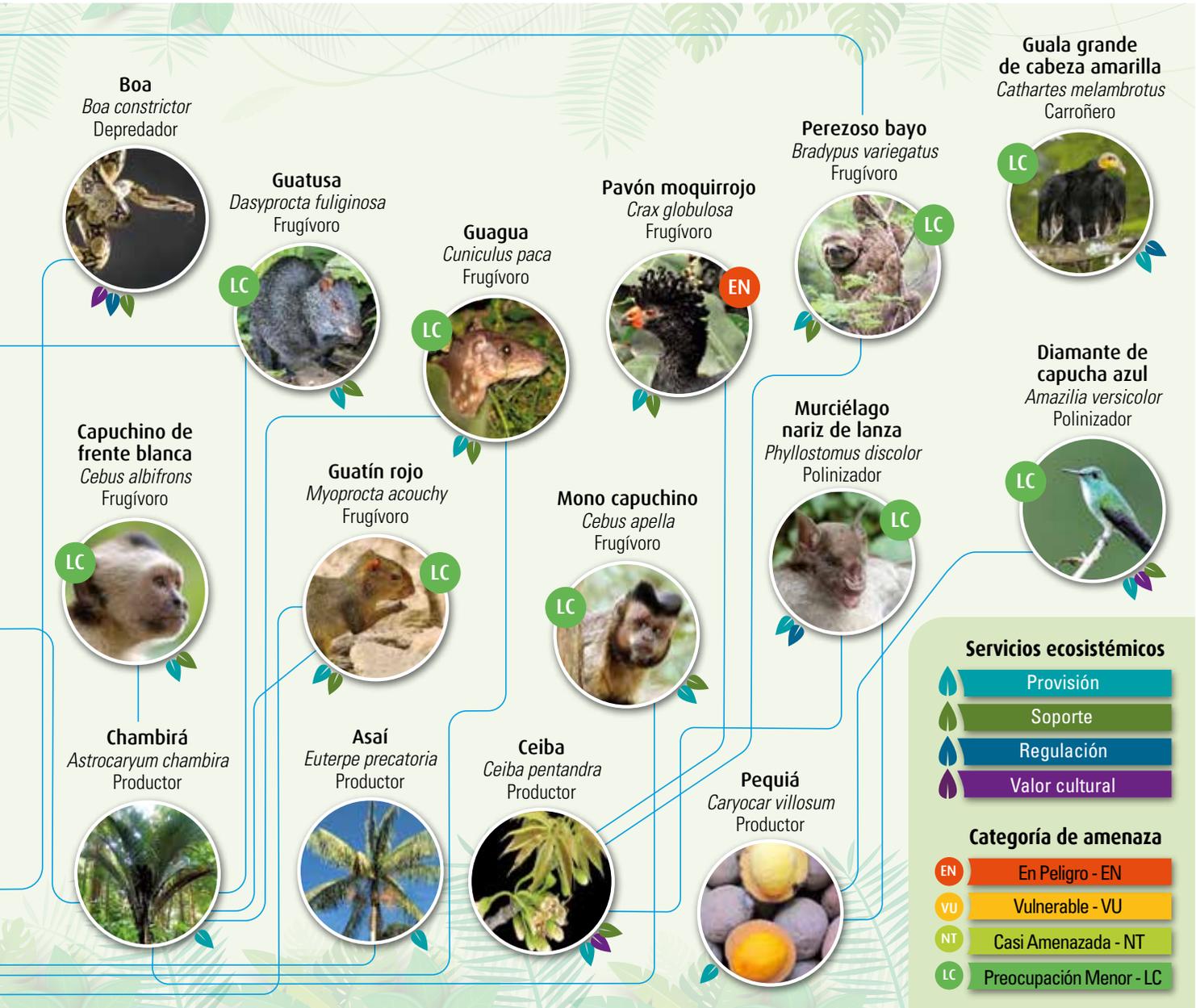
A pesar de ser una mínima muestra de la biodiversidad amazónica, el análisis de los cambios en la distribución de las especies constituye un acercamiento al entendimiento de los posibles impactos futuros que podría generar el cambio en las condiciones climáticas sobre las relaciones interespecíficas.



Figura 14. Red de relaciones entre las especies analizadas y los servicios ecosistémicos.

En la base de esta red se encuentran especies con importante valor en la estructura, función y prestación de servicios ecosistémicos del bosque amazónico; por esta razón, los consideramos piedras angulares en este estudio. En la base productiva de la cadena, las especies vegetales que, en su mayoría, se encuentran asociadas en los procesos de sucesión ecológica, proporcionan hábitat, alimento y diversos beneficios a más de 20 especies, incluyendo las comunidades humanas (Lemes & Gribel 2007, Castro-Vásquez *et al.* 2010, Nazareno *et al.* 2007, Instituto Sinchi 2007, Parolín 2002).

En la base de esta red se encuentran especies con importante valor en la estructura, función y prestación de servicios ecosistémicos del bosque amazónico.



También se incluyeron en esta red a un conjunto de especies frugívoras, omnívoras y nectarívoras que dependen, en mayor o menor grado, de las especies vegetales anteriormente mencionadas (Castro-Vásquez *et al.* 2010, Galeotti *et al.* 2001, Montenegro 2005) y que contribuyen como dispersores de semillas y reguladores. Adicionalmente, representan una fuente alimenticia para comunidades humanas, carnívoros y carroñeros del bioma (Fragoso *et al.* 2003, Pozo 2004, Instituto Sinchi 2007), los cuales contribuyen al control de otras poblaciones, incluyendo vectores de enfermedades. Es importante resaltar que además de los servicios ecosistémicos ya mencionados que presta este conjunto de especies en el bioma, varias especies son consideradas de valor cultural y religioso como es el caso del jaguar, la boa, la guacamaya bandera, entre otras (Aranda 1994, Hilty & Brown 2001, Wallace & Stanley 1987, Renjifo *et al.* 2002).



Más allá de los cambios en la distribución potencial de las especies



Los resultados de las modelaciones evidencian que los cambios en los regímenes de precipitación en las temporadas secas, junto con la estacionalidad de la temperatura y la precipitación, afectan la distribución de las especies seleccionadas para el análisis (Figura 15). Cabe anotar que de acuerdo con los análisis, la distribución de las especies es muy sensible al aumento en la frecuencia y magnitud de eventos extremos de temperatura y precipitación. De igual manera, las especies seleccionadas mostraron dependencias muy altas a la distribución de las coberturas naturales.

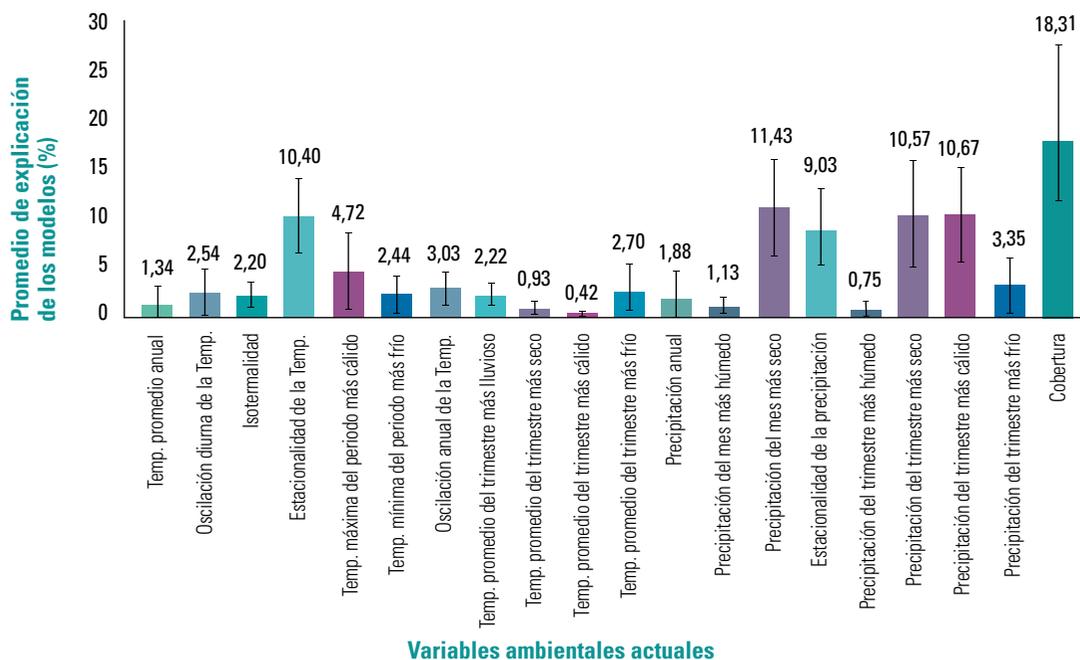
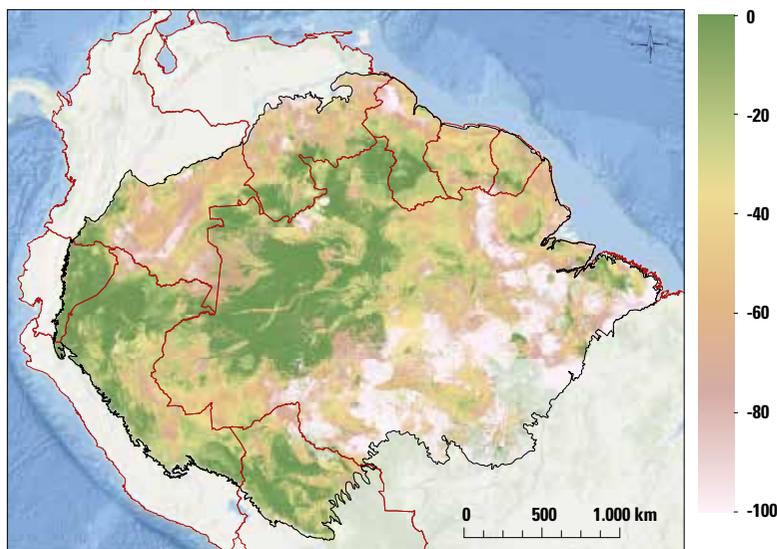


Figura 15. Promedios y desviación de cada una de las variables ambientales de acuerdo con el porcentaje de explicación de los modelos de las especies seleccionadas.



Con base en la información sobre las especies, analizamos las relaciones existentes entre ellas y el conteo del número de relaciones existentes tanto para el periodo actual como para el futuro. Su diferencia porcentual implica cambios en las relaciones interespecíficas del sistema amazónico y los servicios ecosistémicos (Figura 16).

Figura 16. Zonas de pérdida de relaciones entre especies (% de relaciones perdidas).



No obstante, también se observan nuevas áreas aptas para la presencia de las diferentes especies. Es preciso señalar que estas zonas hay que tenerlas en cuenta con especial cuidado, debido a que su existencia a futuro no significa necesariamente su colonización, en especial, para el caso de las especies vegetales, cuya movilidad depende de las dinámicas y estrategias de dispersión que estas posean, la presencia de suelos y condiciones de luminosidad o humedad acordes con sus necesidades fisiológicas, así como con los procesos de reclutamiento de plántulas en nuevos lugares, entre otros factores. Como lo menciona el IPCC (2014), se espera que las plantas, comparadas con otros taxones como mamíferos o insectos, posean una menor velocidad de desplazamiento y colonización de nuevas áreas bajo condiciones de cambio climático. Si se tiene en cuenta la importancia de las especies vegetales en las redes tróficas de un bioma como el amazónico, es posible que aquellas especies que dependen de los recursos alimenticios proporcionados por las plantas permanezcan en las mismas zonas, ligadas al lento proceso de colonización de su fuente alimenticia, aunque tengan nuevos nichos climáticos disponibles.

De acuerdo con los análisis, todas las especies piedra angular posiblemente perderán áreas de su nicho climático actual, por lo cual es plausible que cambien su distribución, poniendo en peligro las relaciones interespecíficas asociadas a ellas. Por otro lado, para especies muy amenazadas, la pérdida potencial de área esperada a futuro posiblemente constituirá un factor que agrave esta condición. Sin embargo, especies más generalistas presentaron las mayores áreas estables a futuro, lo cual implica hipotéticamente que tengan mayor capacidad de adaptación a los cambios esperados en su nicho climático.

Al analizar los cambios esperados dentro de las áreas protegidas, no se observa un comportamiento homogéneo en el mantenimiento de la riqueza de especies de los grupos seleccionados, lo cual indica que las áreas actualmente constituidas en el bioma no garantizan necesariamente un atenuamiento de los impactos del cambio climático para las especies analizadas. Teniendo en cuenta lo anterior, la creación de nuevas áreas de conservación y la implementación de estrategias que aumenten la conectividad dentro del bioma amazónico son acciones necesarias para facilitar los procesos de adaptación de la biodiversidad y el mantenimiento de los servicios ecosistémicos proporcionados por ella.

También se observan nuevas áreas aptas para la presencia de las diferentes especies.



© Y.-J. Rey-Millet / WWF-Canon

Potenciales refugios climáticos



Con el fin de complementar el análisis de las potenciales áreas futuras de distribución de especies, usamos datos de la Iniciativa Wallace, que llevó a cabo un análisis global de cambios en el rango por clima de las especies comunes y ampliamente distribuidas (Warren *et al.* 2013). Para el análisis de los datos se tomó en cuenta el escenario de distribución de especies con cero dispersión, entendiéndose esto como la capacidad de los organismos de movilizarse y/o colonizar nuevas áreas y producir una nueva configuración ecológica para una región determinada. En este caso, se utilizaron 21 modelos de circulación global que analizaron en conjunto grupos de especies de plantas, anfibios, reptiles, aves y mamíferos. Teniendo en cuenta la tasa creciente de emisiones de gases de efecto invernadero y su influencia en la línea base climática, se empleó el escenario pesimista de emisiones futuras para la descripción de resultados.

Para cada uno de los grupos de especies, determinamos las potenciales áreas de refugio climático definidas como aquellas con suficiente estabilidad climática para mantener más del 75% de las especies incluidas, según el número de modelos de circulación global utilizados por Warren *et al.* (2013), en una escala de 0 a 21 (Figura 17). Se destaca la menor cantidad de potenciales refugios para anfibios y plantas (Figuras 17a y 17d, respectivamente), mientras que las aves y los reptiles podrían encontrar refugio en algunos lugares de la zona andina (Figuras 17b y 17e), a medida que las condiciones de temperatura a lo largo del gradiente altitudinal cambian, así como en algunas zonas del núcleo de la Amazonia.

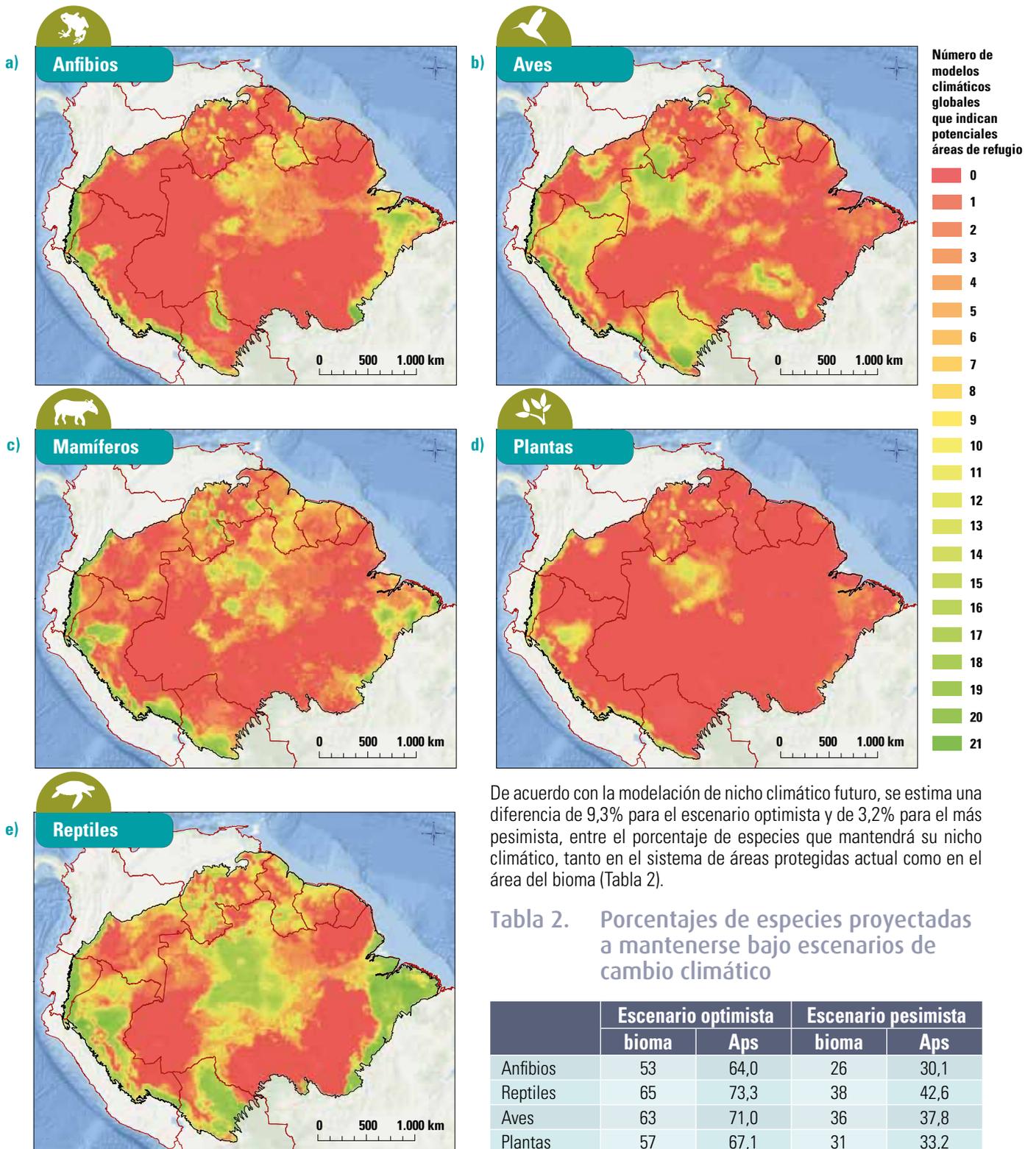


Figura 17. Refugios climáticos

Con base en estos resultados, pudimos establecer una tendencia leve a mantener un mayor número de especies en las áreas protegidas bajo un contexto de cambio climático.



© Michel Roggo / WWF

Impulsores de transformación del paisaje



Deforestación

En el año 2000, el bioma amazónico tenía una extensión de bosques cercana a 5,75 millones de km² y una extensión deforestada de 492.095 km², correspondiente a 8,55%. Para el periodo 2000-2013 aumentó el porcentaje de bosques deforestados en 4,92%, correspondiente a 269.970 km² del bosque al 2013 (Figura 18). En otras palabras, durante el periodo 2000-2013, se deforestó una superficie superior a la extensión del Reino Unido.

Durante el periodo 2000-2013, se deforestó una superficie superior a la extensión del Reino Unido.

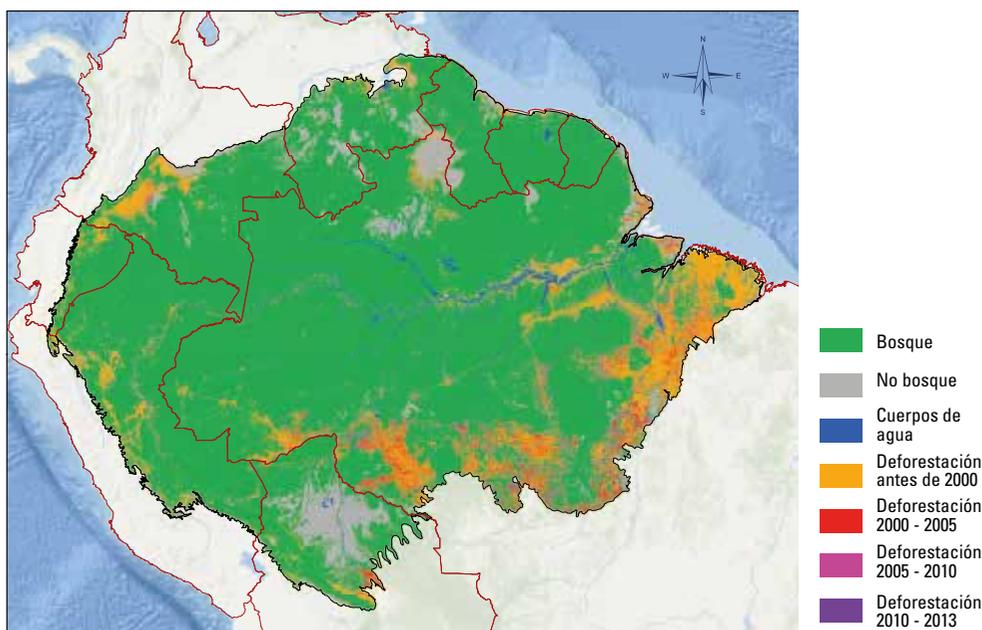


Figura 18. Deforestación en el bioma amazónico en varios periodos.

A nivel regional, para el periodo evaluado 2000-2013, encontramos que el promedio anual de deforestación es de 20.767 ha. En el periodo analizado, en promedio, se deforestaron anualmente lo correspondiente al doble de la extensión del Parque Nacional da Amazonia en Brasil o el Parque Nacional Yasuní en Ecuador. No obstante, es necesario evaluar estos datos a nivel regional por periodos y observar la tendencia.

Cabe tener en cuenta que esta tasa anual de deforestación, si se observa desde esta perspectiva regional, viene disminuyendo en los últimos años (Figura 19). Las dinámicas en Brasil se convierten en un movilizador de los datos y las estadísticas de la región debido a su gran participación en extensión. Es así que para el periodo 2010-2013, se redujo la tasa anual promedio de deforestación a la mitad. La situación para los demás países amazónicos es muy diferente ya que se observa un aumento en la tasa anual promedio de deforestación en Bolivia, Venezuela, Perú, Guyana, Guayana Francesa y Surinam.

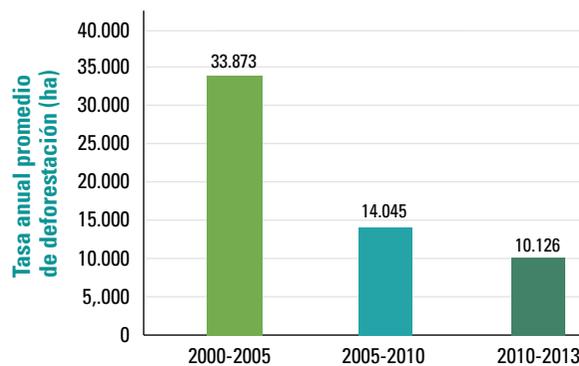


Figura 19. Tasa anual promedio de deforestación en el bioma amazónico.



En cuanto a las áreas protegidas (Tabla 3), la deforestación es muy baja en comparación con la definida para el bioma, pero ligeramente más alta que en los territorios indígenas (RAISG 2015, WWF 2016). La tabla también muestra que para Guyana y Guayana Francesa, la mayor proporción de la deforestación ocurrida en el periodo de estudio se dio en los últimos tres años (2010-2013).

Tabla 3. Datos de deforestación dentro del sistema de áreas protegidas del bioma amazónico

País	Número total de áreas protegidas analizadas	Proporción del área total deforestada - Deforestación histórica	Proporción de la deforestación para el periodo 2000-2013
Bolivia	47	3,80%	20%
Brasil	247	3,60%	9%
Colombia	30	1,50%	18%
Ecuador	17	5,60%	14%
Guayana Francesa	15	0,70%	67%
Guyana	6	0,50%	83%
Perú	45	1,00%	13%
Surinam	13	0,90%	62%
Venezuela	19	2,50%	29%
Total	439		
Valor promedio		2,95%	12%

Incendios forestales en la Amazonia



La variabilidad climática tiene un efecto directo sobre los incendios forestales en el Amazonas, debido a los cambios en precipitación y temperatura ya mencionados e, indirectamente, por los cambios que esto conlleva en la composición y estructura de la vegetación (Cochrane & Barber 2009, Pausas & Bradstock 2007). En consecuencia, los grandes incendios forestales en el Amazonas están condicionados por la variabilidad climática a gran escala de eventos como El Niño (Figura 5a, Cochrane *et al.* 1999, UNEP 2002, Alencar *et al.* 2006). No obstante lo anterior, los periodos de sequía e incendios forestales, tales como los ocurridos en el sureste amazónico en 2005, no estaban asociados necesariamente al fenómeno de El Niño (IPCC 2007, Figura 20a).

Los patrones actuales de ocurrencia de fuego son, sin ninguna duda, diferentes a los patrones históricos, como consecuencia de la actividad humana. Los cambios en frecuencia, intensidad y localización son dramáticos desde la década de 1970 (Cochrane & Barber 2009), cuando la construcción de una red de vías que

conectó el Amazonas brasileño con el resto del país abrió frentes de colonización. Esta red impulsó los cambios en los incendios forestales puesto que la práctica de tumba y quema es la más usada para establecer y mantener áreas grandes de agricultura y pastos en las zonas cercanas a las carreteras. La mayor densidad de ocurrencias de incendios en el periodo 2001-2005 está concentrada en Brasil, sureste del bioma, donde la frecuencia está altamente correlacionada con el verano austral, y en el piedemonte colombiano, la región del Beni en Bolivia y la región del Pucallpa en Perú, donde se encuentran los principales frentes de deforestación (Figura 20b).

En agosto y septiembre de 2010, se presentaron los incendios de mayor magnitud en el bioma, captados por los sensores satelitales (NASA 2015) durante el periodo de referencia 2000-2014, los cuales generaron graves afectaciones en Brasil al sur de la región de Pará y al norte de Mato Grosso (Figura 21).

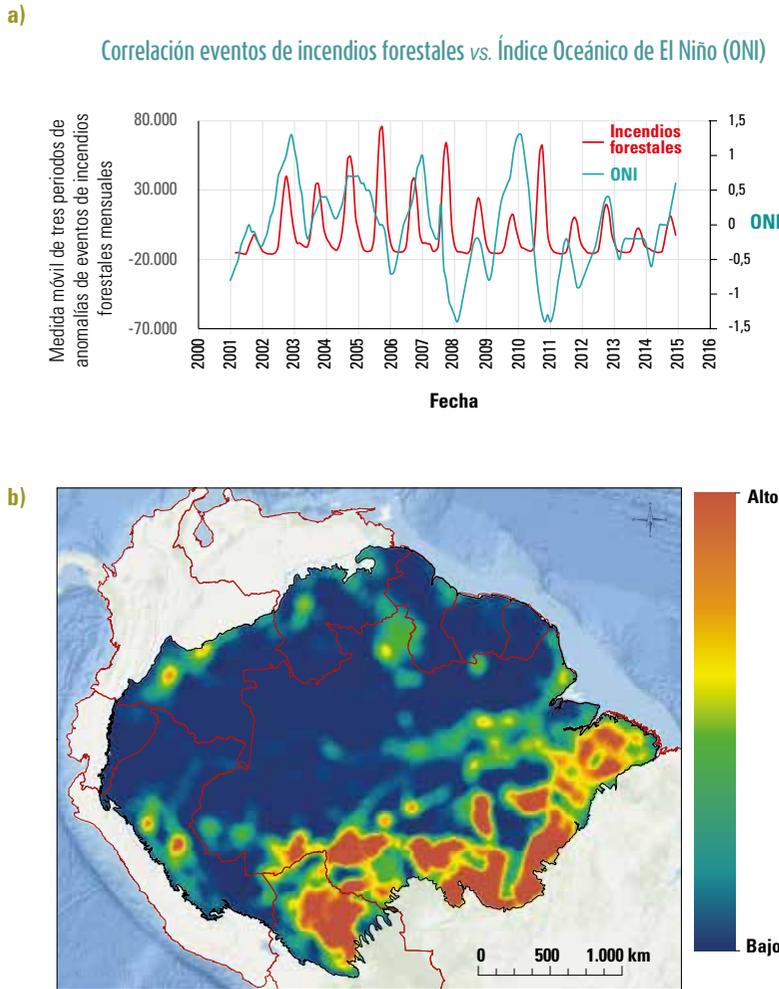


Figura 20. a) Correlación entre eventos de incendios forestales y el Índice Oceánico de El Niño (ONI). b) Densidad de ocurrencia de incendios (puntos de acceso del sensor MODIS) para el período 2001-2015.

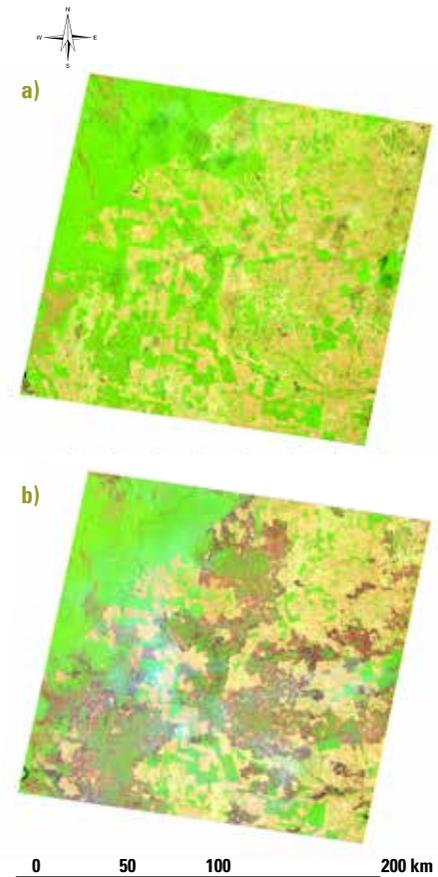


Figura 21. Efectos de la ocurrencia de un incendio forestal de gran magnitud. a) Antes del incendio (julio/2010). b) Después del incendio (septiembre/2010). Fuente: Mosaicos en falso color Landsdat 8 - Escenas LT52240672010207CUB01 y LT52240672010255CUB01.

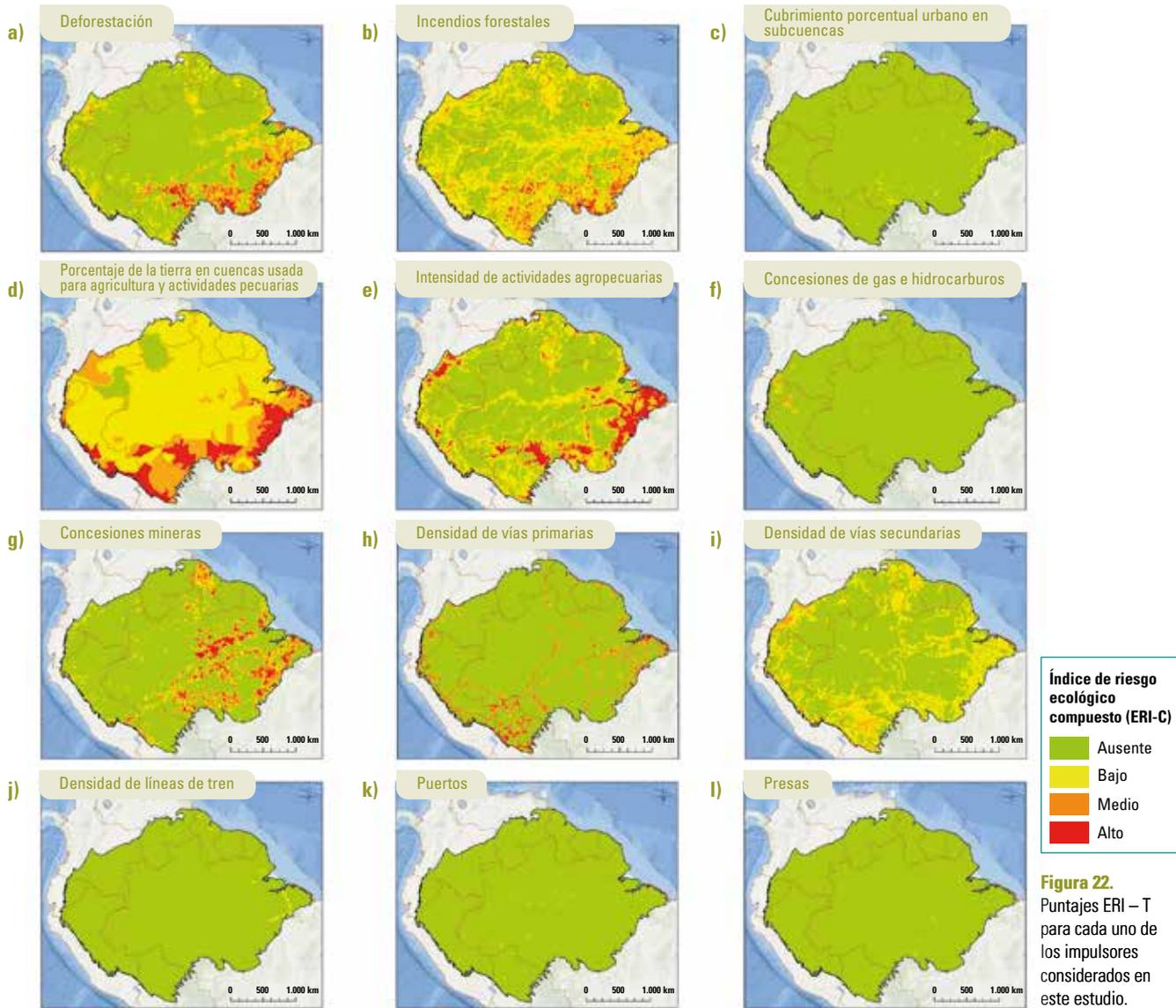
Índice de Riesgo Ecológico

Teniendo en cuenta la importancia de conocer el riesgo ecológico de origen antrópico que poseen los ecosistemas del bioma amazónico, se hizo uso de un acercamiento conceptual del Índice de Riesgo Ecológico propuesto por Mattson & Angermeier (2006) (ERI, por su nombre en inglés), el cual integra la frecuencia de varios agentes de degradación con estimaciones de su efecto potencial sobre algunos factores ambientales de importancia, como la calidad del agua, calidad de hábitat, interacciones bióticas y régimen hidrológico (Figura 22).

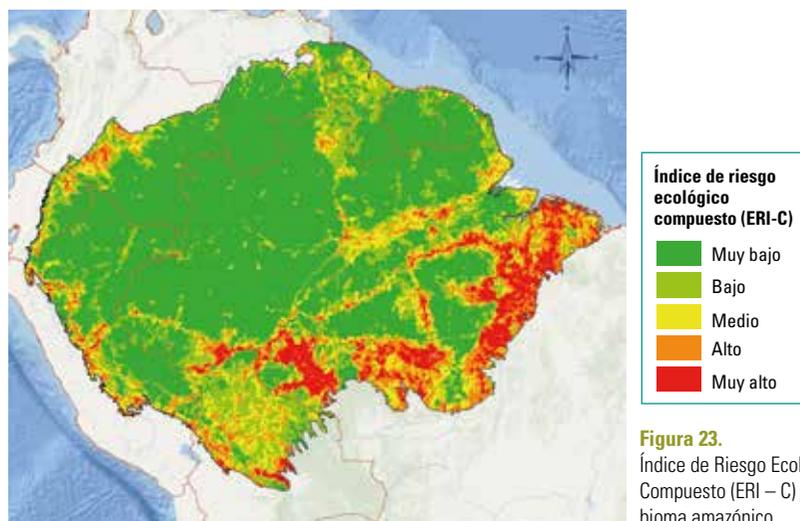
En primera instancia, se identificaron los posibles efectos antrópicos impulsores de cambio (drivers) en paisajes naturales y las unidades de análisis más adecuadas, que en este caso corres-

pondieron a las cuencas de Hydrosheds de WWF (Lehner *et al.* 2008). Luego, se procedió a determinar los puntajes de frecuencia y severidad para cada uno de los impulsores, basándose en el estudio realizado por Riveros *et al.* (2009) para la cuenca del río Amazonas. Los puntajes fueron integrados a las unidades de análisis.

Es evidente que los principales impulsores de cambio antrópico se relacionan con la deforestación (Figura 22a), extensión e intensidad de las áreas destinadas a cultivos y artes pecuarias (Figura 22d), concesiones mineras (Figura 22g) y vías estructurantes (Figura 22h).



Al integrar los puntajes parciales de todos los impulsores de cambio (ERI – C, Figura 23), se observa que las áreas de mayor riesgo de degradación se localizan en las zonas sur y oriente del bioma, en los estados de Acre, Rôndonia, Mato Grosso y Pará de Brasil, y al occidente en las zonas de piedemonte andino en Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia. También se aprecia un núcleo de riesgo medio en la zona norte en el estado de Roraima en Brasil, en la zona norte de Guyana.





© Archivo fotográfico WWF-Colombia

Índice de Riesgo Integrado



Generamos una representación del riesgo frente al cambio climático del bioma amazónico, con base en la integración del índice regional de cambio climático (Giorgi 2006) y el índice de vulnerabilidad sociocultural (IPCC 2013) y tomando en cuenta las diferencias en precipitación y temperatura, la estacionalidad de estas dos variables entre los estándares climáticos actuales y los escenarios climáticos futuros, tanto para estación seca como lluviosa. El algoritmo también tomó en cuenta información relacionada con vulnerabilidad y capacidad de adaptación (CI 2015). Como sustituto (*proxy*), usamos información sobre densidad poblacional, el índice de desarrollo humano y el contenido de agua disponible para plantas (PAWC, sigla en inglés).

En términos generales, el mayor riesgo está localizado en la parte este del bioma, en el estado brasileño de Pará, así como en la zona sur, en el estado de Rondônia (Figura 24a). Se encontraron otros focos de riesgo en Brasil y Perú, cerca de las ciudades de Manaus e Iquitos, respectivamente, y en el piedemonte al suroccidente de Colombia y Perú. En general, 8,37% del bioma se encuentra en muy alto riesgo (57.351.087 ha), mientras que el 11,86% (81.224.668 ha) está en alto riesgo. En total, son 138.575.755 ha con categorías muy alto y alto.

36 áreas protegidas enfrentan muy alto riesgo, lo que equivale a 4.482.517 ha (2,35% del total de área de las áreas protegidas del bioma). 76 áreas enfrentan alto riesgo, equivalente a 20.640.954 ha (10,81%). En total, son 25.123.470 ha con categorías muy alto y alto. No obstante, las áreas protegidas contribuyen a reducir el nivel de riesgo por cambio climático en 21,43% en el bioma amazónico.

Un total de 112 áreas protegidas (13,16% del total), esto es, 25.123 km² enfrentan alto riesgo.

El efecto de las áreas protegidas se evidencia ante todo en el rendimiento hídrico durante los extremos de la variabilidad climática, amortiguando las respuestas a los extremos climáticos. Caudales extremos se presentan ante todo en cuencas donde la superficie en áreas protegidas es menor del 50%. Es de considerar que para un ecosistema sensible a ciertas condiciones climáticas, los extremos de la variabilidad climática representan una mayor amenaza que los cambios a largo plazo generados por el calentamiento global, los cuales son de menor amplitud. A escala regional, el cambio climático es el resultado del calentamiento global junto con los cambios antropogénicos locales, como son los que se dan en el uso de suelo. Frente a los últimos, las áreas protegidas tienen un efecto notable: solamente existe una fuerte disminución del contenido de carbono hacia el año 2030 en áreas con mucha presión antropogénica, donde el porcentaje de superficie en áreas protegidas es bajo.

Se evidenció que Bolivia es el país con el mayor porcentaje de área relativa en riesgo, seguido por Brasil, Colombia y Perú (Figura 25). Venezuela no mostró áreas en riesgo dentro del análisis, pero esto puede deberse a vacíos de información, dada la dificultad de conseguir datos de este país en particular.

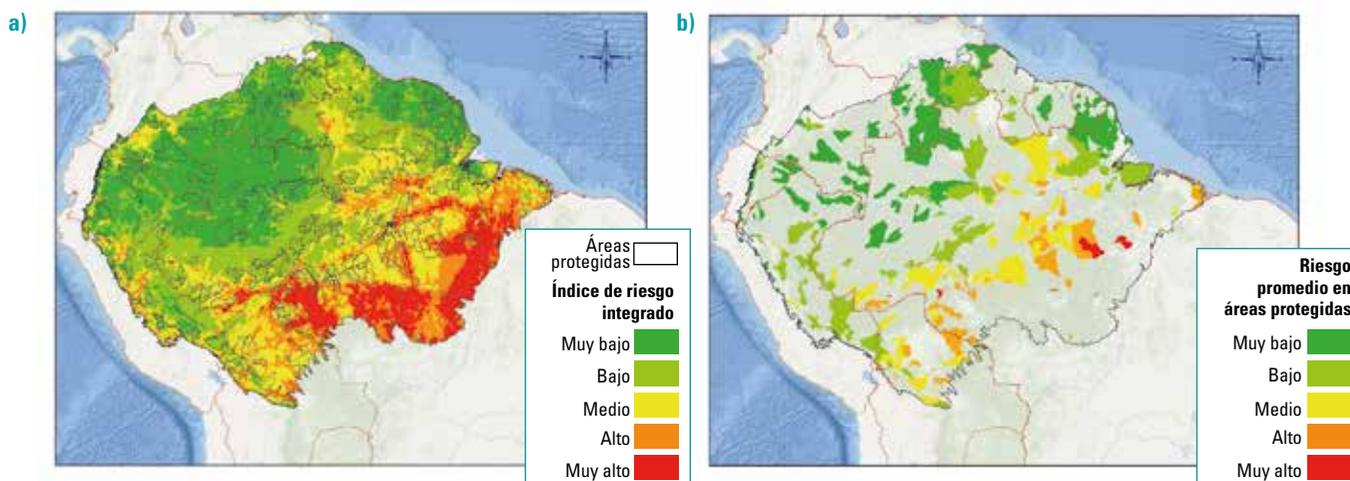


Figura 24. a) Índice de Riesgo Integrado para el bioma amazónico. b) Media del Índice de Riesgo Integrado para las áreas protegidas del bioma.

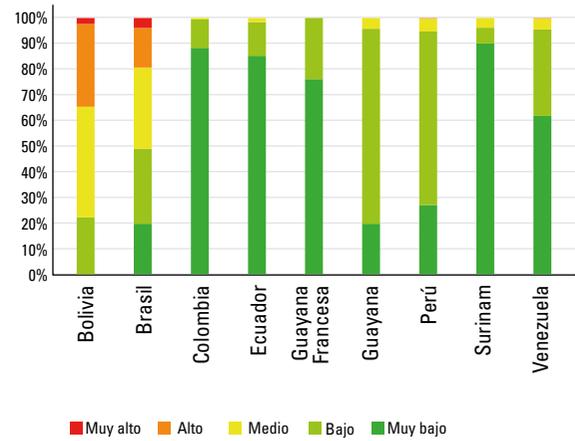
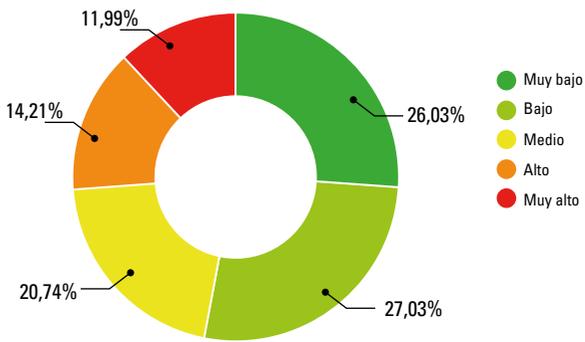
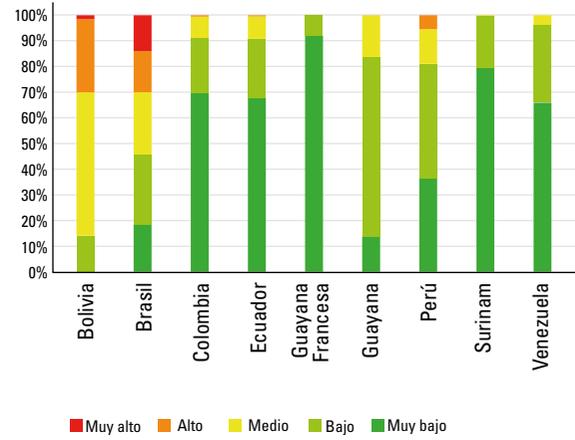
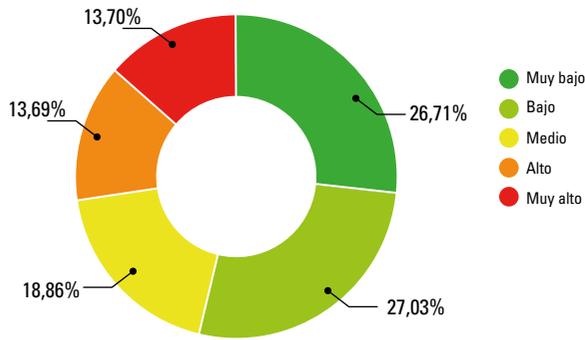


Figura 25. Distribución de extensión relativa del Índice Integrado de Riesgo en las áreas protegidas de los nueve países amazónicos.



© Archivo fotográfico WWF-Colombia

Aporte de las áreas protegidas a la resiliencia del bioma



Construcción de un concepto de resiliencia climática

La iniciativa de Visión de Conservación Amazónica decidió enfrentar el reto de construir los elementos teóricos y prácticos relacionados con fortalecer el papel de las áreas protegidas en la adaptación al cambio climático. Esto ha significado también una reflexión sobre los retos de la resiliencia climática en el bioma amazónico y cómo dicho concepto puede integrarse en los marcos de trabajo de la Visión de Conservación Amazónica de REDPARQUES y, en general, de los diferentes actores que intervienen en los procesos de conservación y manejo en el bioma amazónico.

El punto de partida es reconocer que no existe una solución simple para abordar el tema de la resiliencia climática, ya sea buscando conservar a futuro los elementos característicos actuales de la biodiversidad del bioma o teniendo en cuenta aquellas iniciativas y medidas encaminadas a flexibilizar los objetivos de conservación y manejo en un contexto de rápido cambio global.

Dentro de los procesos de construcción participativa de un concepto de resiliencia para la Visión de Conservación Amazónica y el proyecto SNACC, han sido destacados teorías y conceptos de tres grandes áreas del conocimiento: las ciencias sociales, las ciencias biológicas y la ingeniería. En cada una de estas disciplinas, se han estudiado cambios o impactos en individuos y/o sistemas, producto de tensiones sobre dichos sujetos y cómo se presenta una amplia gama de ajustes y respuestas a partir de las configuraciones iniciales, dando paso a diferentes arreglos en el sujeto inicialmente considerado.

La iniciativa de Visión de Conservación Amazónica decidió enfrentar el reto de construir los elementos teóricos y prácticos relacionados con fortalecer el papel de las áreas protegidas en la adaptación al cambio climático.

Uno de los retos “contemporáneos” es la incorporación del cambio climático como factor de cambio en el análisis de la resiliencia. El reto radica fundamentalmente en el carácter **permanente** —al menos en una escala temporal de 50 a 100 años— e **irreversible** del cambio climático. El aumento en la concentración de los gases de efecto invernadero en la atmósfera causado por acción antrópica y los consecuentes cambios en el clima mundial predominarán por muchos años, dadas las condiciones en que dichos gases persistirán luego de ser emitidos. Por lo tanto, un modelo de resiliencia climática debe necesariamente abordar una diversidad de choques y disturbios climáticos, pero además un cambio permanente en las condiciones mismas del clima.

A partir de lo anterior, una definición inicial de resiliencia climática aplicada al bioma amazónico en el marco del proyecto SNACC es: **“la capacidad del sistema socioecológico para mantener condiciones clave de su identidad biológica, social y funcional, en procesos de cambio permanente, tanto en su entorno, como en los elementos propios de su estructura y composición”³.**

Elementos básicos de una agenda con enfoque en resiliencia climática

La anterior definición de resiliencia climática necesariamente motiva una teoría de cambio que reconozca la relación entre la conservación de la diversidad biológica y social del bioma, con los retos propios de la resiliencia climática. En consecuencia, se considera que dicha teoría debe abordar **la gestión de la conservación y del manejo del bioma amazónico y, particularmente, de los paisajes que incluyen los sistemas de áreas protegidas, con unos objetivos que sean formulados en un marco amplio que implica, además de una adecuada identificación de las presiones y motores de cambio originados por un clima cambiante, el abordaje explícito de situaciones de manejo dinámicas.**

3 Definición adaptada a partir de las definiciones propuestas por: (i) Stockholm Resilience Centre, consultado en <http://www.stockholmresilience.org> (ii) Franco F. y Andrade G. (2014). Buscando respuestas en un entorno cambiante. Capacidad adaptativa para la resiliencia socioecológica de las áreas naturales protegidas.



Componentes iniciales



El enfoque que planteamos en pro de la resiliencia climática tiene hasta el momento dos tipos de aproximaciones: (i) Evitar el cambio (Figura 27) y (ii) Reconocer el cambio (Figura 28).

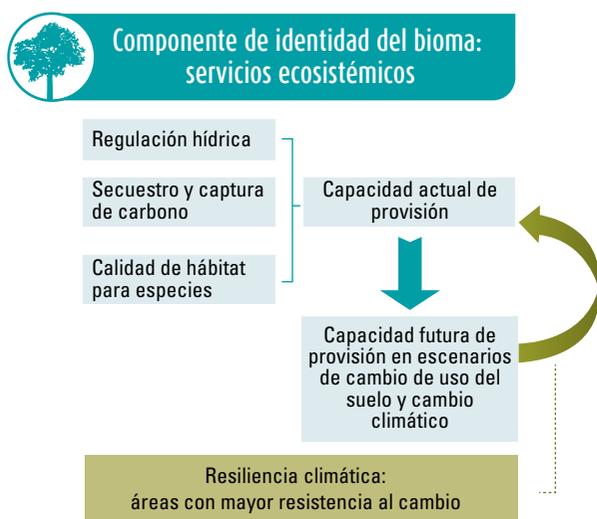


Figura 26. Enfoque “Evitar el cambio”.

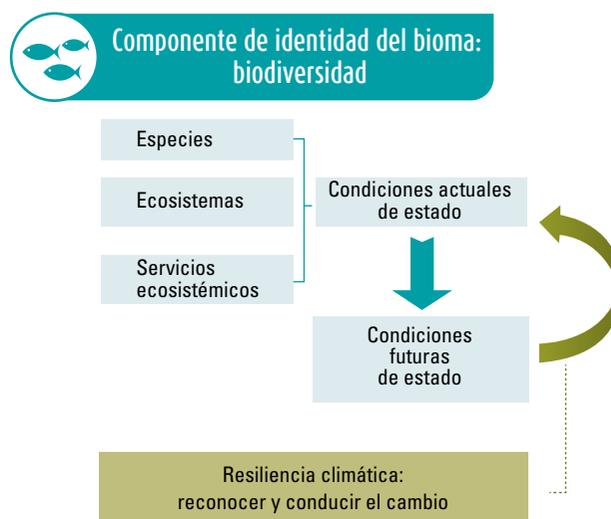


Figura 27. Enfoque “Reconocer el cambio”

Evitar el cambio. Este enfoque de la resiliencia climática para el bioma se ha fundamentado en desarrollar un componente teórico que incluya estudios técnicos y en proponer el diseño de estrategias de manejo que mantengan la capacidad del bioma amazónico para proveer tres servicios ecosistémicos priorizados: (i) regulación hídrica (Figura 10); (ii) captura y secuestro de carbono (Figura 13); (iii) calidad de hábitat para especies (Figura 16). Lo anterior implica que una parte importante de la “identidad” del bioma radica en **mantener** su capacidad funcional, bajo dos condiciones de cambio también priorizadas: **cambio climático** y **cambios en uso de suelo**. En la práctica, los estudios técnicos han buscado, entonces:

- Cuantificar la capacidad actual de provisión de servicios ecosistémicos.
- Identificar escenarios de cambios de uso de suelo y de cambio climático.
- Cuantificar los cambios en la capacidad de provisión de servicios ecosistémicos.
- Evaluar las zonas del bioma donde existe un menor umbral de pérdida funcional (zonas resilientes - evitar el cambio).
- Identificar las condiciones biofísicas que atribuyen resiliencia a dichas zonas y proponer acciones de manejo.

El enfoque de resiliencia que apunta a evitar el cambio se basaría en la identificación de las áreas del bioma donde los estudios técnicos han cuantificado un menor porcentaje de cambio en la provisión del servicio ecosistémico (medido como la diferencia entre la línea base y el escenario futuro). Como paso siguiente, se desarrollaría una selección de los atributos biofísicos que permitan explicar dichos resultados (por ejemplo, cobertura forestal, integridad ecológica, red hidrológica, humedad del suelo, entre otros), para luego plantear acciones de manejo asociadas a dichos atributos. Como resultado, una agenda de resiliencia enfocada en evitar el cambio buscaría adoptar un manejo específico de los elementos biofísicos que actuarían como componentes principales para explicar y mantener la funcionalidad (en términos de servicios ecosistémicos) del bioma.

El enfoque de resiliencia que apunta a evitar el cambio se basaría en la identificación de las áreas del bioma donde los estudios técnicos han cuantificado un menor porcentaje de cambio en la provisión del servicio ecosistémico



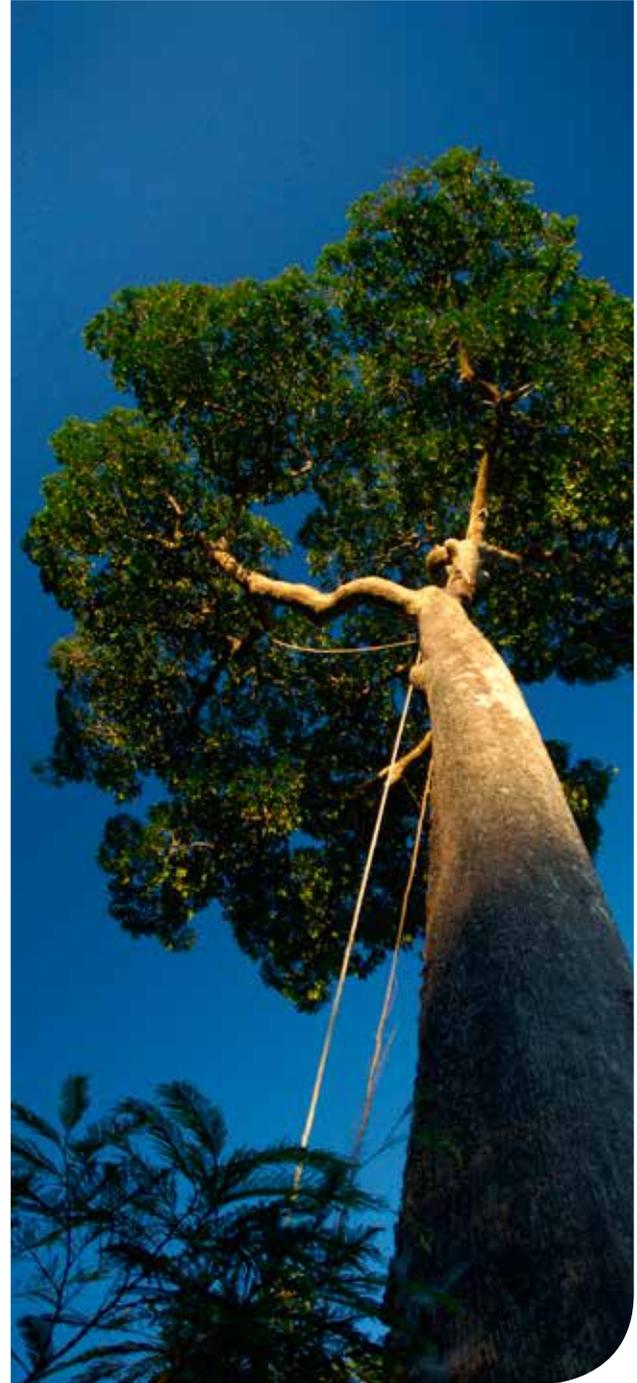
Reconocer el cambio. Este segundo enfoque de la resiliencia climática para el bioma está basado en el seguimiento a la evolución en las situaciones de manejo de varios componentes de la biodiversidad. Como su nombre lo indica, se diferencia del enfoque de “**Evitar el cambio**”, a favor de un esfuerzo intencional por monitorear, comprender e integrar en las situaciones de manejo la **trayectoria de cambio** de buena parte de la biodiversidad del bioma, con énfasis en lo que se conocen como “objetos de conservación” y manejo en las áreas protegidas. La adopción de este tipo de enfoque puede considerarse “convencional”, en la medida en que se basa en buena parte de las estrategias de conservación *in situ* (como, por ejemplo, monitoreo y seguimiento) a las condiciones de estado de especies y ecosistemas. La diferencia radica en que se incluye el enfoque agregado del reconocimiento de cómo dicho estado varía con el tiempo.

Se tiene entonces que en la perspectiva de la resiliencia climática y los objetivos de conservación y manejo, algunas de las acciones a considerar en la agenda futura de la Visión de Conservación y otras iniciativas son:

- Mejorar los protocolos de monitoreo e investigación de especies y ecosistemas, en el contexto de cambio climático, y su sinergia con los demás motores de pérdida de biodiversidad del bioma. La información obtenida por dichos protocolos debe trascender a modelos que faciliten la anticipación y el manejo del cambio progresivo en las condiciones de estado de dichos elementos.
- Identificar posibles acciones de manejo para conducir y/o preparar el cambio de los actuales objetos de conservación.

Como resultado de lo anterior, es posible establecer una sinergia entre la agenda tradicional de conservación con estos primeros elementos de la resiliencia climática, a partir de la comprensión de las trayectorias de cambio de los actuales objetivos de conservación y manejo. Una nueva comprensión de las alternativas para influenciar dicho cambio (por ejemplo, detenerlo, revertirlo, influenciarlo, manejarlo, etc.) puede resultar en nuevos paradigmas para las instituciones y organizaciones involucradas en planificar futuros objetivos, escenarios y situaciones de manejo en el bioma amazónico.

La adopción de este tipo de enfoque puede considerarse “convencional”, en la medida en que se basa en buena parte de las estrategias de conservación *in situ*.



© Ricardo Lisboa / WWF-US



Resiliencia climática y habilidad de facilitar el cambio



En la práctica, los elementos técnicos y conceptuales de esta primera aproximación a la resiliencia climática en el marco del proyecto SNACC han permitido identificar insumos fundamentales para la construcción de una teoría de cambio, en el contexto del sistema de áreas protegidas del bioma amazónico y de la Visión y plan de trabajo de REDPARQUES. Estos son:

- El **paradigma actual de conservación**, fundamentado en el mantenimiento de unas condiciones de estado de la biodiversidad, a partir del control de presiones y amenazas a dichos objetos, debe ajustarse bajo el conocimiento y las perspectivas actuales de cambio global. En particular, los cambios esperados en las condiciones promedio de precipitación y temperatura en escenarios de cambio climático tienen un carácter permanente y, por lo tanto, considerando la escala geográfica y temporal, no es posible revertir dicho factor de cambio.
- Los **cambios en la biodiversidad del bioma** ocurrirán y, por ello, los actores que confluyen en la Visión Amazónica deben, en lo posible, anticiparse al cambio, para que este ocurra en condiciones de espacio y tiempo que permitan, por ejemplo, evitar escenarios de extinción de especies y desaparición de ecosistemas.
- El proceso de **entendimiento y evolución de los procesos ecológicos** es fundamental en el contexto de la planeación del manejo del bioma amazónico. Los primeros esfuerzos del proyecto SNACC apuntan a aquellos procesos asociados a servicios ecosistémicos priorizados (regulación hídrica, captura y secuestro de carbono, hábitat para especies) y su posible cambio en el contexto de proyecciones de cambio climático y deforestación, así como la forma en que esto se refleja en acciones de manejo que permitan una futura funcionalidad alta de dichos procesos.

La escala de gestión es posiblemente uno de los factores más determinantes en la agenda de resiliencia climática.

- Algunas características de la **funcionalidad del bioma amazónico pueden persistir en el tiempo**, aun cuando su estructura ecológica y la relación interespecífica entre sus elementos sea distinta a la que conocemos actualmente. Por lo tanto, es urgente plantear a futuro un balance entre el estado de la biodiversidad del bioma, los procesos ecológicos y la funcionalidad (servicios ecosistémicos) para los tomadores de decisión.
- La **escala de gestión** es posiblemente uno de los factores más determinantes en la agenda de resiliencia climática. Las unidades geográficas bajo las cuales se realizan los estudios técnicos y se planifican acciones de manejo deben ser consistentes bajo la consideración de que en dichas unidades es donde **ocurre el cambio**, no donde se **detiene el cambio**, y donde, además, se aplican los principios de diversidad, redundancia, modularidad y conectividad requeridos en la facilitación del cambio.
- Un **proceso de adaptación natural al cambio** es posiblemente el mejor escenario de resiliencia climática, al minimizar las interacciones con presiones y amenazas de origen antrópico.



© Archivo fotográfico WWF-Colombia

Conclusiones y recomendaciones



Principales resultados del análisis

Los retos que el cambio climático trae a la Amazonia son una cuestión de importancia global. Esperamos a través de estos estudios aportar a los procesos de toma de decisiones que permitan una efectiva conservación y un adecuado manejo de los ecosistemas de la Amazonia y su funcionalidad, en momentos en los que el bioma está experimentando importantes transformaciones y en que la **resiliencia** se está posicionando como una prioridad en la agenda de desarrollo sostenible a nivel regional.

Los patrones climáticos del bioma amazónico son de difícil caracterización ya que se ven influenciados tanto por el cambio climático como por fases extremas de variabilidad relacionadas con procesos que tienen lugar en los océanos Pacífico y Atlántico y que exhiben, además, particularidades subregionales. Nuestros resultados muestran la probabilidad de un incremento continuo de temperatura entre 0,3 °C y 3 °C para el periodo 2021-2030, junto con una diversidad de cambios en la precipitación, correspondiente a diferentes partes del bioma, así como con una persistencia de eventos climáticos extremos, tales como las inundaciones de 2002, 2008 y 2015 y las sequías de 2005, 2010 y 2015, cuya intensidad no tiene precedentes en la historia reciente. El **Índice de Riesgo Climático regional** muestra una mayor influencia del cambio climático en los estados brasileños de Pará, Mato Grosso y Rôndonia, de la zona suroriental del bioma.

Encontramos que la cantidad y temporalidad de la provisión de servicios ecosistémicos clave en la Amazonia probablemente cambiará debido a la incidencia de riesgos relacionados con el clima y cambios de uso de suelo. Los tres servicios estudiados, el almacenamiento de carbono, la regulación y provisión de agua dulce y la provisión de hábitat para las especies se verán afectados por los impactos del cambio climático. Por ejemplo, varias

Los retos que el cambio climático trae a la Amazonia son una cuestión de importancia global.

cuenas amazónicas posiblemente experimenten cambios drásticos; para tres de ellas, una reducción de 39 a 50% del rendimiento hídrico y un aumento de entre 36 y 295% en, al menos, dos cuencas del bioma. Por otra parte, en el bosque amazónico es probable que se presente una reducción del contenido de carbono en una superficie equivalente a los tres cuartos del bioma y que, para el año 2030, el bioma en su totalidad, exceptuando un núcleo en su extremo nororiental, experimente cambios negativos en su capacidad de almacenamiento.

El análisis de modificaciones en la distribución de las especies frente a posibles impactos del cambio climático muestra un alto nivel de dependencia de estas hacia la cobertura natural y gran sensibilidad ante la frecuencia y magnitud de eventos extremos. Se encontró que las 24 especies piedra angulares incluidas en el estudio probablemente perderán áreas de hábitat que hoy en día forman parte de su nicho climático. Esto podría desencadenar cambios en su distribución y trastornos en las relaciones interespecíficas y en la provisión de servicios ecosistémicos asociados a dichas especies, así como una situación de estrés agravado para las especies que actualmente ya se encuentran amenazadas. En algunos casos, se presentarán nuevas áreas de hábitat potencial, sin que esto garantice su colonización. El análisis de refugios climáticos indica que existe una menor cantidad de refugios potenciales para plantas y anfibios, y un mayor número para aves y reptiles. Se confirma que los impactos ligados al incremento en frecuencia y magnitud de eventos extremos de temperatura y precipitación ligados al cambio climático son aquellos que resultan en la mayor afectación a la biodiversidad del bioma.

En relación con el riesgo ecológico de origen antropogénico – **Índice de Riesgo Ecológico** –, encontramos que los motores de transformación más perjudiciales para los ecosistemas de la Amazonia son la deforestación, la expansión en superficie e intensidad de las áreas destinadas a la agricultura y ganadería, el desarrollo de la minería y la construcción de carreteras. Con respecto a las áreas protegidas, 36 áreas enfrentan muy alto riesgo y 76 áreas enfrentan alto riesgo. En total son 25.123.470 ha con categorías muy alto y alto.



© Day's Edge Productions / WWF-US

El papel de las áreas protegidas

Presentamos una visión de la vulnerabilidad y el riesgo climático de la Amazonia desde una perspectiva regional en la que hemos estudiado el papel de las áreas protegidas como uno de los elementos requeridos para construir resiliencia en el bioma. Nuestros resultados apoyan la premisa de que las áreas protegidas amazónicas pueden jugar un rol importante en la atenuación de los impactos del cambio climático y en la reducción de los riesgos a su biodiversidad relacionados con el clima.

Encontramos, por ejemplo, que existe un mayor contenido de carbono por hectárea en áreas protegidas en todos los países amazónicos y que la estabilidad del contenido de carbono es mayor en áreas del bioma que cuentan con un porcentaje alto de área bajo protección vs. área desprotegida, aun cuando están presentes fuertes presiones antropogénicas. Asimismo, se evidencia que la presencia de áreas protegidas amortigua los impactos de los eventos climáticos extremos al mantener los niveles de rendimiento hídrico durante episodios de sequía y otras instancias de intensa variabilidad. En particular, vemos que las cuencas con menos del 50% de su superficie dentro de áreas protegidas tienden en mayor medida a exhibir eventos extremos de descarga. Adicionalmente, encontramos que la presencia de áreas prote-

gidas está ligada a una reducción de 21,43% en el **Índice de Riesgo Climático**. En lo que se refiere a la provisión de hábitat para especies en un contexto de cambio climático, sin embargo, las áreas protegidas actualmente existentes en el bioma no demuestran ser suficientes para garantizar la presencia de zonas que atenúen los impactos del cambio climático para las especies incluidas en el análisis.

Nuestros resultados apoyan la premisa de que las áreas protegidas amazónicas pueden jugar un rol importante en la atenuación de los impactos del cambio climático y en la reducción de los riesgos a su biodiversidad relacionados con el clima.



Hacia la construcción regional de una agenda de resiliencia



Un aporte importante de este estudio es la aproximación conceptual hacia una agenda de resiliencia aplicada al bioma amazónico, que se enfoca en la capacidad del sistema para mantener condiciones clave de su identidad biológica, social y funcional frente al cambio climático. Partiendo de la identificación de las presiones y motores de transformación provenientes del cambio climático, reconocemos dos posibles enfoques complementarios y con diferentes implicaciones para el manejo dinámico del bioma: **evitar el cambio y reconocer el cambio**. En el primero, se busca mantener la identidad funcional del bioma y, por tanto, se requiere la evaluación de aquellas zonas que presentan un umbral menor de pérdida funcional en escenarios de cambio climático y la caracterización de las condiciones biofísicas a las que se les puede atribuir la resiliencia de dichas zonas para buscar fortalecerlas.

Respecto al segundo enfoque, con un énfasis en la gestión del cambio, se identifica la necesidad de desarrollar protocolos de monitoreo e investigación que permitan seguir la pista a los cambios en las condiciones de estado de especies y ecosistemas, con el objetivo de anticiparse y manejarlos. En algunos casos, las acciones de manejo resultantes de la implementación de estos dos enfoques para la resiliencia del bioma se manifestarán en sinergia con la agenda tradicional de conservación.

En este ejercicio, hemos podido identificar los insumos principales para la construcción de una teoría de cambio en el contexto de los sistemas de áreas protegidas del bioma, que responde a los desafíos de construir resiliencia climática y facilitar el cambio. Responder a dichos desafíos nos obligará a repensar el paradigma actual de conservación y requerirá del desarrollo de nuevas capacidades, incluyendo una mejor comprensión de los actuales

Un aporte importante de este estudio es la aproximación conceptual hacia una agenda de resiliencia aplicada al bioma amazónico, que se enfoca en la capacidad del sistema para mantener condiciones clave de su identidad biológica, social y funcional frente al cambio climático.

procesos ecológicos y su posible evolución, para anticiparse a los cambios. Considerando que existen características de la funcionalidad del bioma amazónico que podrían persistir en el tiempo, será necesario que los tomadores de decisión comprendan que el reto consiste en mantener un balance entre las prioridades de conservación de la biodiversidad, los procesos ecológicos y la funcionalidad de este territorio con el fin de preservar la integridad del bioma.

A manera de recomendación general, las políticas de conservación de la Amazonia, de aquí en adelante, deberán incluir criterios de cambio climático y resiliencia para la planificación y el manejo de los sistemas de áreas protegidas de la región y considerar la necesidad de una capacidad adaptativa socioinstitucional más desarrollada que pueda facilitar procesos naturales de adaptación al cambio climático. Una mejor comprensión de las dinámicas ecológicas y socioeconómicas que influyen en la integridad del bioma y la salud de sus ecosistemas y comunidades será fundamental para la consolidación de una Visión Amazónica de Conservación regional en la que los sistemas de áreas protegidas puedan contribuir a la construcción de resiliencia del bioma ante impactos climáticos presentes y futuros.

Determinar los desafíos que están por venir no es tarea fácil, dado los altos niveles de incertidumbre en las predicciones climáticas y la multiplicidad de factores que inciden en la integridad del bioma y la salud de sus ecosistemas y especies. Aun así, la creación de nuevas áreas protegidas o expansión de las existentes, en particular, en zonas donde el potencial de conservación y resiliencia es alto, su integración en los enfoques de paisaje y la implementación de estrategias que fortalezcan la conectividad dentro del bioma se consolidan como acciones fundamentales para facilitar los procesos de adaptación de la biodiversidad al cambio climático y el mantenimiento a lo largo del tiempo de la provisión de servicios ecosistémicos de la Amazonia. Para esto se debe considerar la utilización de enfoques regionales y a nivel de bioma que permitan el diseño y manejo de redes ecológicas a gran escala y promuevan la interacción transfronteriza para la gestión de los sistemas nacionales de áreas protegidas. Es fundamental también potenciar las investigaciones sobre el rol de las áreas protegidas en la reducción de vulnerabilidad frente al cambio climático y su integración en los contextos institucionales de los gobiernos amazónicos como estrategias efectivas y costoeficientes para la adaptación y mitigación basadas en ecosistemas. Por último, las áreas protegidas y su rol frente al cambio climático deben ser incluidos en las políticas públicas relacionadas con la gestión del mismo en los niveles sectorial, regional, nacional y local.

Referencias bibliográficas

- Alencar A., Nepstad D. & Vera Díaz M. 2006. Forest understory fire in the Brazilian Amazon in ENSO and non-ENSO years: area burned and committed carbon emissions. *Earth Interactions* 10(6).
- Aranda M. 1994. Importancia de los pecaríes (*Tayassu* spp.) en la alimentación del jaguar (*Panthera onca*). *Acta Zool. Mex.* (62): 11-22.
- Baccini A., Goetz S.J., Walker W.S., Laporte N.T., Sun M., Sulla-Menasse D., Hackler J., Beck P.S.A., Dubayah R., Friedl M.A., Samanta S. & Houghton R.A. 2012. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nature Climate Change* 2(182-185).
- Castro-Vásquez L., Meza M., Plese T. & Moreno-Mora S. 2010. Activity patterns, preference and use of floristic resources by *Bradypus variegatus* in a tropical dry forest fragment, Santa Catalina, Bolívar, Colombia. *Edentata* 11(1): 62-69.
- Cochrane M.A., Alencar A., Schulze M.D., Souza Jr. C.M., Nepstad D.C., Lefebvre P. & Davidson E.A. 1999. Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. *Science* 284(1): 1838-1835.
- Cochrane M.A. & Barber C.P. 2009. Climate change, human land use and future fires in the Amazon. *Global Change Biology*, 15: 601-612.
- Collins W.J., Bellouin N., Doutriaux-Boucher M., Gedney N., Halloran P., Hinton T., Hughes J., Jones C.D., Joshi M., Liddicoat S., Martin G., O'Connor F., Rae J., Senior C., Sitch S., Totterdell I., Wiltshire A. & Woodward S. 2011. Development and evaluation of an earth-system model – HadGEM2. *Geosci. Model Dev.* 4: 1051-1075.
- CI – Conservation International. 2015. Mapping essential natural capital in Amazonia. Conservation International, Arlington, VA. 73 pp.
- CRU – Climatic Research Unit. University of East Anglia. 2015. Gridded datasets of surface temperature data over land areas and averages for the Northern and Southern hemispheres and the globe [online]. Available at: <http://www.cru.uea.ac.uk/data>.
- Espinoza J.C., Ronchail J., Guyot J.L., Cochonneau G., Naziano F., Lavado W., De Oliveira E., Pombosa R. y Vauchel P. 2009. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia and Ecuador). *Int. J. Climatol.* 29: 1574-1594.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2015. Global Forest Resources Assessment 2015: How have the world's forests changed? Rome, Italy. 56 pp.
- Fragoso J., Silvius K. & Correa J. 2003. Long-distance seed dispersal by tapirs increases seed survival and aggregates tropical trees. *Ecology* 84(8): 1998-2006.
- Franco F. y Andrade G. 2014. Buscando respuestas en un entorno cambiante. Capacidad adaptativa para la resiliencia socioecológica de los sistemas nacionales de Áreas Naturales Protegidas. Lima, Perú. 64 pp.
- Galetti M., Keuroghlian A., Hanada L. & Morato M.I. 2001. Frugivory and seed dispersal by the lowland tapir (*Tapirus terrestris*) in southeast Brazil. *Biotrópica*, 33(4): 723-726.
- Gentry A.H. 1988. Tree species richness of upper Amazonian forests. *Proceedings of the National Academic Society of the USA*, 85, 156-159.
- Giorgi F. 2006. Climate change hot-spots. *Geophys. Res. Lett.* 33: 707-711.
- Giorgi F., and Bi X. 2005. Updated regional precipitation and temperature changes for the 21st century from ensembles of recent AOGCM simulations, *Geophys. Res. Lett.* 32:L21715
- Globo - Globo Comunicação e Participações S.A. 2015. Cheias atingem 4,8 mil pessoas em cinco municípios do Acre [online]. Available at: <http://g1.globo.com/ac/acre/noticia/2015/02/cheias-atingem-48-mil-pessoas-em-cinco-municipios-do-acre.html>
- Hijmans R.J., Cameron S.E., Parra J.L., Jones P.G. & Jarvis A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- Hilty S.L. y Brown W.L. 2001. Guía de las aves de Colombia. Imprelibros S.A. 1030 pp.
- 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. & Zobel M. 2006. Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order. *Global Ecology and Biogeography* 15: 1-7.
- Instituto Sinchi – Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas. 2007. Ecología, aprovechamiento y manejo sostenible de nueve especies de plantas del departamento del Amazonas, generadoras de productos maderables y no maderables. Bogotá. 226 pp.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. Climate Change 2007: the physical science basis. In: Contribution of working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. (eds.)]. IPCC, Cambridge, UK and New York, NY, USA. 996 pp.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2012. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A special report of working groups I and II of the intergovernmental panel on climate change [Field C.B., Barros V., Stocker T.F., Qin D., Dokken D.J., Ebi K.L., Mastrandrea M.D., Mach K.J., Plattner G.K., Allen S.K., Tignor M. y Midgley P.M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. 582 pp.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2013. Climate Change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker T.F., Qin D., Plattner G.K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V. y Midgley P.M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1535 pp.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2013a. Annex I: atlas of global and regional climate projections supplementary material [van Oldenborgh G.J., Collins M., Arblaster J., Christensen J.H., Marotzke J., Power S.B., Rummukainen M. y Zhou T. (eds.)]. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of working group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker T.F., Qin D., Plattner G.K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V. y Midgley P.M. (eds.)]. Available at: www.climatechange2013.org and www.ipcc.ch.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 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. Ginebra, Suiza. 40 pp. IUCN – International Union for the Conservation of Nature y UNEP-WCMC – United Nations Environmental Programme World Conservation Monitoring Centre. 2015. The World Database on Protected Areas (WDPA) [online]. Cambridge, UK: UNEP-WCMC. Available at: www.protectedplanet.net.
- Jones P.D., Lister D.H., Osborn T.J., Harpham C., Salomon M. & Morice C.P. 2012. Hemispheric and large-scale land surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010. *J. Geophys. Res.* 117, D05127.
- Lehner B., Verdin K. & Jarvis A. 2008. New global hydrography derived from spaceborne elevation data. *Eos, Transactions, AGU*, 89(10): 93-94.
- Lemes R.M. & Gribel R. 2007. Polinização de *Caryocarpus villosus* (Aubl.) Pers. (Caryocaraceae) uma árvore emergente da Amazônia Central. *Revista Brasil* 30(1): 37-45.
- Malhi Y., Roberts J.T., Betts R.A., Killeen T.J., Li W. & Nobre C.A. 2008. Climate change, deforestation and the fate of the Amazon. *Science* 319: 169-172.

- Marengo J.A. 2009. Long-term trends and cycles in the hydrometeorology of the Amazon basin since the late 1920s. *Hydrol. Process.* 23: 3236-3244.
- Marengo J.A., Borma L., Rodriguez D., Pinho P., Soares W. & Alves L. 2013. Recent extremes of drought and flooding in Amazonia: vulnerabilities and human adaptation. *American Journal of Climate Change* 2(2): 87-96.
- Marengo J.A., Nobre C.A., Tomasella J., Oyama M.D., Sampaio de Oliveira G., de Oliveira R., Camargo H., Alves L.M. & Brown, I.F. 2008. The drought of Amazonia in 2005. *J. Clim.* 21: 495-516.
- Mattson & Angermeier. 2006. Integrating human impacts and ecological integrity into a risk-based protocol for conservation planning. *Environ Manage* 39: 125-138.
- Phillips S.J., Anderson R.P. & Schapire R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190: 231–259.
- Meir P., Brando P.M., Nepstad D., Vasconcelos S., Costa A.C.L., Davidson E., Almeida S., Fisher R.A., Sotta E.D., Zarin D. & Cardinot G. 2009. The effects of drought on Amazonian rain forests. In: pp. 429–449. [Keller M., Bustamante M., Gash J., Silva Dias P. (eds.)]. *Geophysical Monograph Series*. American Geophysical Union, Washington, D.C.
- Mena J.L., Robles R., Veliz C., Riveros J.C., Álvarez C., Valdivia R. y Vergel C. 2014. Análisis de la vulnerabilidad de las áreas naturales protegidas frente al cambio climático al 2030, 2050 y 2080. Documento de trabajo. Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado – SERNAP, WWF-Perú. Cooperación Alemana, implementada por la GIZ, a través del Proyecto Iniciativa Trinacional: Fortalecimiento de los sistemas nacionales de Áreas Naturales Protegidas en Colombia, Ecuador y Perú. Lima. 84 pp.
- Mittermeier R.A., Mittermeier C.G., Brooks T.M., Pilgrim J.D., Konstant W.R., da Fonseca G.A.B. & Kormos C. 2003. Wilderness and biodiversity conservation. *PNAS* 100(18): 10309-10313.
- Mittermeier R.A., Mittermeier C.G., Robles-Gil P., Brooks T., Pilgrim J. & Konstant W.R. 2002. Wilderness: Earth's last wild places. CEMEX, Conservation International y Agrupación Serra Madre, S. C., México. P. 576 pp.
- Montenegro O. 2005. Programa nacional para la conservación del género *Tapirus* en Colombia. Primera edición. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, D.C., Colombia. 98 pp.
- NASA – National Aeronautics and Space Administration. 2015. Near real-time and MCD14DL and MCD14ML MODIS active fire detections (TXT format). Data set. Available at: <https://earthdata.nasa.gov/active-fire-data#tab-content-6>
- Nazareno A.G., Querino da Silva R. & Pereira R. 2007. Fauna de Hymenoptera em *Ficus* spp. (Moraceae) na Amazônia Central, Brasil. *Iheringia, Sér. Zool.*, Porto Alegre, 97(4): 441-446.
- Olson D.M. & Dinerstein E. 1998. The Global 200: A representation approach to conserving the Earth's most biologically valuable ecoregions. *Conservation Biology*, 12: 502-515.
- Parolin P. 2002. Bosques inundados en la Amazonía Central: su aprovechamiento actual y potencial. *Ecología Aplicada* 1(1): 111-114.
- Pausas J.G. & Bradstock R.A. 2007. Fire persistence traits of plants along a productivity and disturbance gradient in Mediterranean shrublands of southeast Australia. *Global Ecology and Biogeography*, 16(3): 330-340.
- Phillips O.L., Aragao L.E.O.C., Lewis S.L., Fisher J.B., Lloyd J., Lopez-González G., Malhi Y., Monteagudo A., Peacock J., Quesada C.A., van der Heijden G., Almeida S., Amaral I., Arroyo L., Aymard G., Baker T.R., Banki O., Blanc L. & Bonal D. 2009. Drought sensitivity of the Amazon rainforest. *Science* 323: 1344-1347.
- Phillips S.J., Anderson R.P. & Schapire R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231-259.
- Pinho P.F., Marengo J.A. & Smith M.S. 2014. Complex socio-ecological dynamics driven by extreme events in the Amazon. *Reg. Environ. Change*, 15(4): 643-655.
- Pozo W.E. 2004. Agrupación y dieta de *Ateles belzebuth belzebuth* en el Parque Nacional Yasuní, Ecuador. *Anuario de la Investigación Científica* 2(1): 77-102.
- RAISG – Red Amazónica de Información Socioambiental Georeferenciada. 2015 [online]. Available at: <https://raisg.socioambiental.org>
- RAMSAR. 2015. Ramsar Sites Information Service [online]. Available at: <https://rhis.ramsar.org>
- Renjifo L.M., Franco-Maya A.M., Amaya-Espinel J.D., Kattan G.H. & López-Lanús B. (eds). 2002. Libro rojo de aves de Colombia. Serie Libros Rojos Especies Amenazadas de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá, Colombia. 561 pp.
- Riveros J.C., Tadeu S., Suárez C.F., Oliveira M. & Secada L. 2009. Hydrological Information System y Amazon River Assessment – HIS/ARA. FY09 final report. Science and Monitoring Team - Amazon Network Initiative, WWF. 30 pp.
- Saatchi S., Asefi-Najafabady S., Malhi Y., Aragao L.E., Anderson L.O., Myneni R.B. & Newman R. 2013. Persistent effects of a severe drought on Amazonian forest canopy. *Proc Natl Acad Sci U.S.A.* 110: 565-570.
- Silva J.M.C., Rylands A.B. & Da Fonesca G.A.B. 2005. The fate of the Amazonian areas of endemism. *Conservation Biology* 19: 689-694.
- Skansi M.M., Brunet M., Sigro J., Aguilar E., Arévalo-Groening J.A., Betancur O.J., Castellón-Geier Y.R., Corre-Amaya R.L., Jácome H., Malheiros-Ramos A., Rojas C.O., Pasten A.M., Sallons-Mitro S., Villaroel-Tallis H.T., Ricketts T., Guerry A.D., Wood S.A., Sharp R., Nelson E., Ennaanay D., Wolny S., Olvero N., Vigerstol K., Pennington D., Mendoza G., Aukema J., Foster J., Forrest J., Cameron D., Arkema K., Lonsdorf E., Kennedy C., Verutes G., Kim C.K., Guannel G., Papenfus M., Toft J., Marsik M., Bernhardt J., Griffin R., Glowinski K., Chaumont N., Perelman A., Lacayo M., Mandle L., Griffin R., Hamel P. & Chaplin-Kramer R. 2013. InVEST 3.0.0. User's Guide, The Natural Capital Project, Stanford, CA. 324 pp.
- Sol de Pando. 2015. El Acre comenzó a erosionar las laderas habitadas en Cobija, Brasi-leia y Epitaciolandia [online]. Available at: <http://www.soldepando.com/el-acre-comenzo-a-erosionar-las-laderas-habitadas-en-cobija-brasileia-y-epitaciolandia>
- Telesur. 2015. Severe drought in Brazilian Amazon leaves boats high and dry [online]. Available at: <http://www.telesurtv.net/english/multimedia/Severe-Drought-in-Brazilian-Amazon-Leaves-Boats-High-and-Dry-20151019-0044.html>
- Tomasella J., Borma L.S., Marengo J.A., Rodríguez D.A., Cuartas L.A., Nobre C. & Prado M.C.R. 2011. The droughts of 1996-1997 and 2004-2005 in Amazonia: hydrological response in the river main-stem. *Hydrol. Process.* 25: 1228-1242.
- Torres R., Lapola D., Marengo J. & Lombardo M. 2012. Socio-climatic hotspots in Brazil. *Clim. Change* 115: 597-609.
- UNEP – United Nations Environment Programme. 2002. Spreading like wildfire – tropical forest fires in Latin America and the Caribbean: prevention, assessment and early warning. United Nations Environment Program, Regional Office for Latin America and the Caribbean. 96 pp.
- Valverde M. & Marengo J.A. 2011. Rainfall extreme events climatology over the Amazon basin. *Proceedings of the Global Conference on Global Warming 2011*. Lisbon, Portugal. 1-8.
- Wallace M. & Stanley T. 1987. Competitive interactions within and between species in a guild of avian scavenger. *The Auk*. 104(2): 290-295.
- Warren R., van der Wal J., Price J., Welbergen J.A., Atkinson I., Ramírez-Villegas J., Osborn T.J., Jarvis A., Shoo L.P., Williams S.E. & Lowe J. 2013. Quantifying the benefit of early climate change mitigation in avoiding biodiversity loss. *Nature Climate Change* 3: 678-682.
- WWF. 2016. Deforestation in the Amazon Biome. Manuscrito de trabajo sin editar.



Visión Amazónica

Áreas protegidas
que superan las fronteras

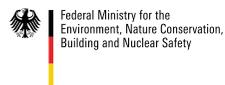


Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Donantes

Supported by:



based on a decision of the German Bundestag



Unión Europea