



Análisis de vulnerabilidad al cambio climático de las áreas silvestres protegidas terrestres

2013



Análisis de vulnerabilidad al cambio climático de las áreas silvestres protegidas terrestres

**Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC)
2013**



Publicado por: SINAC. Sistema Nacional de Áreas de Conservación

Donado por: Asociación Costa Rica por Siempre/Segundo Canje de Deuda

Elaboración técnica: Claudia Bouroncle, Pablo Imbach, Lenin Corrales, Emily Fung, Fredy Argotty, José Ney Ríos, Juan Carlos Zamora, Lluís Calderer y Miguel Cifuentes (CATIE); Monika Springer (Universidad de Costa Rica)

Copyright: © 2013. Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC)

Esta publicación puede citarse sin previa autorización con la condición que se mencione la fuente

Citar como: SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación). 2013 Análisis de vulnerabilidad al cambio climático de las áreas silvestres protegidas terrestres. Costa Rica. 73 p. + anexos

El proceso de facilitación de este Análisis de vulnerabilidad al cambio climático de las áreas silvestres protegidas terrestres fue llevado a cabo mediante un acuerdo de donación por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza y fue posible gracias al apoyo técnico y financiero del Segundo Canje de Deuda por Naturaleza entre Costa Rica y Estados Unidos, la Asociación Costa Rica Por Siempre y del personal del Sistema Nacional de Áreas de Conservación.

La Asociación Costa Rica Por Siempre es una organización sin fines de lucro que administra una iniciativa de conservación público-privada desarrollada con el objetivo de consolidar un sistema de áreas protegidas marinas y terrestres que sea ecológicamente representativo, efectivamente manejado y con una fuente estable de financiamiento, permitiéndole a Costa Rica ser el primer país en desarrollo en cumplir las metas del Programa de Trabajo en Áreas Protegidas (“PTAP”) de la Convención sobre Diversidad Biológica (“CDB”) de las Naciones Unidas.

ISBN:

Asesoría Técnica: Asociación Costa Rica Por Siempre (“ACRXS”)

Financiamiento: Segundo Canje de Deuda



Contenido

Acrónimos utilizados	vii
Lista de cuadros	viii
Lista de figuras.....	ix
Lista de anexos.....	xii
Resumen ejecutivo	1
Introducción	2
Bases conceptuales y metodológicas del análisis	4
El análisis de vulnerabilidad y sus elementos.....	4
Evaluación de la exposición a procesos del cambio climático	6
Datos climáticos de línea base y escenarios de cambio climático	6
Escala de exposición	7
Evaluación del impacto potencial del cambio climático.....	8
Ecosistemas terrestres y de agua dulce ("filtro grueso").....	8
Distribución de especies de flora y fauna ("filtro fino").....	9
Provisión de servicios ecosistémicos: cambios en la oferta de agua e impacto en los usuarios del servicio.....	10
Provisión de servicios ecosistémicos: potencial de degradación de las existencias de carbono.....	11
Evaluación de la capacidad adaptativa	11
Elementos de la capacidad adaptativa.....	11
Selección de criterios e indicadores	12
Evaluación de la vulnerabilidad.....	14
Exposición al cambio climático	17
Exposición del territorio al aumento de la temperatura media anual del aire.....	17
Exposición del territorio a la disminución de la precipitación media anual	20
Exposición de los sistemas de agua dulce al aumento de la temperatura del aire y la disminución de la precipitación	22
Impacto potencial del cambio climático en la vegetación arbórea	26
Impacto potencial del cambio climático en la distribución de especies de flora y fauna .	33
Especies terrestres	33
Especies dulceacuícolas	38
Impacto potencial del cambio climático en la oferta de agua para consumo humano.....	40
Impacto potencial en las existencias potenciales de carbono sobre el suelo	44

Capacidad adaptativa	47
Vulnerabilidad de diferentes elementos al cambio climático	51
Vulnerabilidad al cambio de la vegetación arbórea	51
Vulnerabilidad al cambio en la distribución de especies	56
Vulnerabilidad a la reducción de la oferta de agua para consumo humano.....	57
Vulnerabilidad a la reducción de las existencias potenciales de carbono sobre del suelo	60
Principales hallazgos.....	63
Literatura citada	66

Acrónimos utilizados

AC	área de conservación
ACAHN	Área de Conservación Arenal Huetar Norte
ACA-T	Área de Conservación Arenal Tempisque
ACC	adaptación al cambio climático
ACCVC	Área de Conservación Cordillera Volcánica Central
ACG	Área de Conservación Guanacaste
ACLAC	Área de Conservación La Amistad - Caribe
ACLAP	Área de Conservación La Amistad - Pacífico
ACOPAC	Área de Conservación Pacífico Central
ACOSA	Área de Conservación Osa
ACT	Área de Conservación Tempisque
ACTo	Área de Conservación Tortuguero
ADE	asociación de desarrollo específica
ADI	asociación de desarrollo integral
AR4	cuarto informe de evaluación del IPCC
ASP	área silvestre protegida
AVC	Análisis de Vulnerabilidades y Capacidades
AyA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
CA	capacidad adaptativa
CB	corredor biológico
CC	cambio climático
CCE	Comité Comunal de Emergencias
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CNE	Comité Nacional de Emergencias
CRC	Cruz Roja Costarricense
DINADECO	Dirección Nacional de Desarrollo de la Comunidad
EBAIS	Equipo Básico de Atención Integral de Salud
EE	escenarios de emisiones
GEI	gases de efecto invernadero
IDH	Índice de Desarrollo Humano
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
MAPSS	Mapped Atmosphere-Plant-Soil System
SINAC	Sistema Nacional de Áreas de Conservación
UCR	Universidad de Costa Rica

Lista de cuadros

Cuadro 1. Simulaciones de modelos de circulación global (AOGCM) utilizadas	7
Cuadro 2. Criterios capacidad adaptativa (Wongbusarakum & Loper 2011).....	12
Cuadro 3. Niveles de exposición de las AC al aumento de 3 °C o más de la temperatura del aire, período 2070-2099, EE B1 y A2.....	18
Cuadro 4. Niveles de exposición a la disminución de la precipitación mayor a 50% para EE B1 y A2	20
Cuadro 5. Niveles de exposición (% superficie) de los sistemas de agua dulce al aumento de temperatura por AC.....	22
Cuadro 6. Impacto potencial del cambio climático en las áreas de alta concentración de hábitat de especies (80-100%) de fauna endémica en ASP	34
Cuadro 7. Impacto potencial del cambio climático en las áreas de alta concentración de hábitat de especies (80-100%) de fauna endémica en CB	34
Cuadro 8. Impacto potencial del cambio climático en las áreas de alta concentración de hábitat de especies (80-100%) de fauna de importancia nacional en ASP	35
Cuadro 9. Impacto potencial del cambio climático en las áreas de alta concentración de hábitat de especies (80-100%) de fauna de importancia nacional en CB	35
Cuadro 10. Impacto potencial del cambio climático en las áreas de alta concentración de hábitat de especies (80-100%) de flora de importancia nacional en ASP	36
Cuadro 11. Impacto potencial del cambio climático en las áreas de alta concentración de hábitat de especies (80-100%) de flora de importancia nacional en CB	36
Cuadro 12. Niveles de impacto potencial de los cambios en la oferta de agua para consumo humano proveniente de las ASP por AC, período 2070-2099, EE A1B.....	41
Cuadro 13. Porcentaje de cambio en las existencias de carbono almacenado en las ASP, agrupadas por AC, como respuesta a los cambios en la precipitación y temperatura, EE A1B.....	44
Cuadro 14. Proporción de la superficie de las ASP por AC, bajo cada nivel de capacidad adaptativa	48
Cuadro 15. Proporción de la superficie de las ASP, agrupadas por AC, bajo diferentes niveles de vulnerabilidad a cambios en la vegetación arbórea, período 2070-2090, EE B1 y EE A2.....	52
Cuadro 16. ASP más importantes con impacto potencial muy bajo (categoría 1) para la protección de la biodiversidad en el futuro y su respectiva vulnerabilidad.....	56
Cuadro 17. Proporción de la superficie de las ASP, agrupadas por AC, bajo diferentes niveles de vulnerabilidad a cambios en la oferta de agua para consumo humano, período 2070-2090, EE A1B.....	57
Cuadro 18. Proporción de la superficie de las ASP, agrupadas por AC, bajo diferentes niveles de vulnerabilidad a cambios en las existencias potenciales de carbono sobre el suelo, período 2070-2090, EE A1B	60

Lista de figuras

Figura 1. Marco conceptual de evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático (Marshall et al. 2010).....	5
Figura 2. Variables de entrada y productos de salida del modelo MAPPS	8
Figura 3. Propuesta preliminar de criterios e indicadores de capacidad adaptativa de P .	13
Figura 4. Propuesta preliminar de criterios e indicadores de capacidad adaptativa de los distritos que forman parte del territorio de las ASP y CB	13
Figura 5. Criterios e indicadores utilizados para la estimación de la capacidad adaptativa de las ASP.....	15
Figura 6. Criterios e indicadores utilizados para la estimación de la capacidad adaptativa de los CB.....	15
Figura 7. Temperatura promedio del aire en Costa Rica, periodo 1961 – 1990, según datos de WorldClim (Hijmans et al. 2005)	18
Figura 8. Niveles de exposición de las AC al aumento de 3 °C o más de la temperatura del aire, período 2070-2099, EE B1 (arriba) y A2 (abajo)	19
Figura 9. Precipitación media anual en Costa Rica, periodo 1961 – 1990, según datos de WorldClim (Hijmans et al. 2005)	20
Figura 10. Niveles de exposición de las AC a la disminución de 10% o más de la precipitación, periodo 2070 - 2099, EE B1 (arriba) y A2 (abajo)	21
Figura 11. Niveles de exposición de los sistemas de agua dulce, por AC, al aumento de temperatura, período 2070-2099, EE A1B	22
Figura 12. Niveles de exposición de los sistemas de agua dulce, por AC, al aumento de temperatura, período 2070-2099, EE A1B	23
Figura 13. Proporción de la superficie de las ASP del país, según su nivel de exposición al aumento de la temperatura del aire y disminución de la precipitación, período 2070-2099, EE A1B	23
Figura 14. Niveles de exposición de los sistemas de agua dulce en las ASP, por AC, según su nivel de exposición al aumento de la temperatura, período 2070-2099, EE A1B	24
Figura 15. Niveles de exposición de los sistemas de agua dulce en las ASP (arriba) y los CB (abajo) al aumento de la temperatura, período 2070-2099, escenario de emisiones A1B.....	25
Figura 16. Distribución de tipos de vegetación potencial arbórea de Costa Rica modelados para el periodo 1961-1990.....	26
Figura 17. Impacto potencial de los cambios de precipitación y temperatura en la vegetación arbórea de Costa Rica, periodo 2070-2099 (arriba EE B1; abajo EE A2)	27
Figura 18. Impacto potencial de los cambios de precipitación y temperatura en la vegetación arbórea de Costa Rica, periodo 2070-2099, EEB1 (izquierda) y EE B2 (derecha)	28
Figura 19. Impacto potencial de los cambios de precipitación y temperatura en la vegetación arbórea por AC, periodo 2070-2099, EE B1 (arriba) y EE A2 (abajo)	28
Figura 20. Proporción de superficie del conjunto de ASP bajo diferentes niveles de impacto potencial de los cambios en la temperatura y precipitación en la vegetación arbórea, período 2070-2099, EE B1 y EE A2.....	29

Figura 21. Impacto potencial de cambios de precipitación y temperatura en la vegetación arbórea en las ASP, agrupadas por AC, periodo 2070-2099, EE B1 (arriba) y EE A2 (abajo)	29
Figura 22. Niveles de impacto potencial de los cambios de precipitación y temperatura en la vegetación arbórea de las ASP periodo 2070-2099, (arriba EE B1; abajo EE A2)	30
Figura 24. Proporción de superficie del conjunto de CB bajo diferentes niveles de impacto potencial de los cambios en la temperatura y precipitación en la vegetación arbórea, período 2070-2099, EE B1 y EE A2.....	31
Figura 25. Impacto potencial de los cambios de precipitación y temperatura en la vegetación arbórea en los CB (arriba EE B1; abajo EE A2)	32
Figura 26. Cambio en el número de especies (porcentaje) endémicas de fauna encontradas dentro y fuera de ASP y CB en el periodo de referencia (1950 - 2000) y en el futuro (2010 - 2039), EE A1B	33
Figura 27. Cambio de número de especies (porcentaje) de fauna de importancia nacional dentro y fuera de ASP y CB en el periodo de referencia (1950 - 2000) y en el futuro (2010 - 2039), EE A1B	36
Figura 28. Cambio de número de especies (porcentaje) de flora de importancia nacional dentro y fuera de ASP y CB en el periodo de referencia (1950 - 2000) y en el futuro (2010 - 2039), EE A1B	37
Figura 29. Cambio de número de especies (porcentaje) de fauna globalmente amenazada dentro y fuera de ASP y CB en el periodo de referencia (1950 - 2000) y en el futuro (2010 - 2039), EE A1B	37
Figura 30. Cambio de número de especies (porcentaje) de flora globalmente amenazada dentro y fuera de ASP y CB en el periodo de referencia (1950 - 2000) y en el futuro (2010 - 2039), EE A1B	38
Figura 31. Oferta de agua proveniente de las ASP y CB (según modelo de balance hídrico), considerando las zonas de recarga de las tomas superficiales de agua para consumo humano (según inventario de la Dirección de Aguas del MINAET (2012))......	40
Figura 32. Proporción de superficie de las ASP, agrupadas por AC, bajo diferentes niveles de impacto potencial de los cambios en la temperatura y precipitación en la oferta de agua para consumo humano, periodo 2070-2099, EE A1B	41
Figura 33. Proporción de superficie del conjunto de ASP (izquierda) y CB (derecha) bajo diferentes niveles de impacto potencial de los cambios en la temperatura y precipitación en la oferta de agua para consumo humano, período 2070-2099, EE A1B	42
Figura 34. Niveles de impacto potencial (reducción) de los cambios de precipitación y temperatura en la oferta de agua para consumo humano proveniente de ASP y CB, periodo 2070-2099, EE A1B.....	43
Figura 35. Proporción de superficie de las ASP, agrupadas por AC, bajo diferentes niveles de impacto potencial de los cambios en la precipitación y temperatura en las existencias potenciales de carbono almacenado sobre el suelo, EE A1B	45
Figura 36. Proporción de superficie del conjunto de ASP (izquierda) y CB (derecha) bajo diferentes niveles de impacto potencial de los cambios en la precipitación y temperatura en las existencias potenciales de carbono almacenado sobre el suelo, EE A1B.....	45
Figura 37. Niveles de impacto potencial de los cambios en la precipitación y temperatura en las existencias potenciales de carbono almacenado sobre el suelo en ASP y CB.....	46

Figura 38. Proporción del territorio de las ASP, por AC, bajo cada nivel de capacidad adaptativa	48
Figura 39. Proporción de territorio de los CB bajo cada nivel de capacidad adaptativa ..	48
Figura 40. Capacidad adaptativa ASP y CB de Costa Rica.....	49
Figura 41. Proporción de la superficie del conjunto de las ASP bajo diferentes niveles de vulnerabilidad al cambio de la vegetación arbórea, periodo 2070-2099, EE B1 y A2.....	51
Figura 42. Proporción de la superficie de las ASP, agrupadas por AC, bajo diferentes niveles de vulnerabilidad a cambios en la vegetación arbórea, período 2070-2099, EE B1 (arriba) y EE A2 (abajo)	52
Figura 43. Vulnerabilidad a los cambios de precipitación y temperatura de la vegetación arbórea en las ASP (arriba EE B1; abajo EE A2).....	53
Figura 44. Proporción de la superficie del conjunto de los CB bajo diferentes niveles de vulnerabilidad al cambio de la vegetación arbórea, periodo 2070-2099, EE B1 y A2.....	54
Figura 45. Vulnerabilidad a los cambios de precipitación y temperatura de la vegetación arbórea en los CB (Arriba EE B1; Abajo EE A2)	55
Figura 46. Proporción de superficie de las ASP, agrupadas por AC, bajo diferentes niveles de vulnerabilidad a los cambios en la oferta de agua para consumo humano	57
Figura 47. Proporción de superficie del conjunto de CB bajo diferentes niveles de vulnerabilidad a la reducción de oferta de agua para consumo humano	58
Figura 48. Niveles de vulnerabilidad de ASP y CB a la reducción en la oferta de agua para consumo humano	59
Figura 49. Proporción de superficie de las ASP, agrupadas por AC, bajo diferentes niveles de vulnerabilidad a la reducción de las existencias potenciales de carbono sobre el suelo	60
Figura 50. Proporción de superficie del conjunto de CB bajo diferentes niveles de vulnerabilidad a la reducción de las existencias potenciales de carbono sobre el suelo...	61
Figura 51. Niveles de vulnerabilidad de ASP y CB a la reducción de las existencias potenciales de carbono arriba del suelo	62

Lista de anexos

- Anexo 1. Glosario de términos
- Anexo 2. Escenarios climáticos considerados en el análisis de vulnerabilidad
- Anexo 3. Especies seleccionadas según diferentes criterios para el análisis de distribución potencial actual y futura
- Anexo 4. Variables utilizadas en la modelación de nicho disponible actual y futuro para especies terrestres
- Anexo 5. Variables utilizadas para la modelación de hábitat potencial actual y futuro de especies terrestres y dulceacuícolas
- Anexo 6. Participantes en reuniones realizadas durante el proceso de análisis
- Anexo 7. Indicadores de capacidad adaptativa de los distritos del país
- Anexo 8. ASP: exposición de ecosistemas de agua dulce al aumento de la temperatura y disminución de la precipitación, 2070-2099, EE A1B
- Anexo 9. CB: exposición de ecosistemas de agua dulce al aumento de la temperatura y disminución de la precipitación, 2070-2099, EE A1B
- Anexo 10. ASP: probabilidad de cambio mayor a 66% (probable y muy probable) en la vegetación arbórea como respuesta a cambios en la temperatura y la precipitación, periodo 2070-2099, EE B1 y EE A2
- Anexo 11. CB: probabilidad de cambio mayor a 66% (probable y muy probable) en la vegetación arbórea como respuesta a cambios en la temperatura y la precipitación, periodo 2070-2099, EE B1 y EE A2
- Anexo 12. ASP y CB: cambios en hábitat disponible de especies seleccionadas de flora, periodo 2010-2039, EE A1B
- Anexo 13. ASP y CB: cambios en hábitat disponible de especies seleccionadas de anfibios, periodo 2010-2039, EE A1B
- Anexo 14. ASP y CB: cambios en hábitat disponible de especies seleccionadas de reptiles, periodo 2010-2039, EE A1B
- Anexo 15. ASP y CB: cambios en hábitat disponible de especies seleccionadas de aves, periodo 2010-2039, EE A1B
- Anexo 16. ASP y CB: cambios en hábitat disponible de especies seleccionadas de peces y géneros seleccionados de macroinvertebrados, periodo 2010-2039, EE A1B
- Anexo 17. ASP: impacto potencial en la oferta de agua para consumo humano como respuesta a los cambios en la precipitación, periodo 2070-2099, EE A1B
- Anexo 18. CB: impacto potencial en la oferta de agua para consumo humano como respuesta a los cambios en la precipitación, periodo 2070-2099, EE A1B
- Anexo 19. ASP: impacto potencial en las existencias de carbono, periodo 2070-2099, EE A1B
- Anexo 20. CB: impacto potencial en las existencias de carbono, periodo 2070-2099, EE A1B
- Anexo 21. ASP: capacidad adaptativa
- Anexo 22. CB: capacidad adaptativa
- Anexo 23. ASP: vulnerabilidad de la vegetación arbórea a cambios en precipitación y temperatura, periodo 2070-2099, EE B1 y EE A2

Anexo 24. CB: vulnerabilidad de la vegetación arbórea a cambios en precipitación y temperatura, periodo 2070-2099, EE B1 y EE A2

Anexo 25. ASP: vulnerabilidad al cambio en la oferta de agua (balance hídrico) a los usuarios del servicio, periodo 2070-2099, EE A1B

Anexo 26. CB: vulnerabilidad al cambio en la oferta de agua (balance hídrico) a los usuarios del servicio, periodo 2070-2099, EE A1B

Anexo 27. ASP: vulnerabilidad a la degradación de las existencias de carbono, periodo 2070-2099, EE A1B

Anexo 28. CB: vulnerabilidad a la degradación de las existencias de carbono, periodo 2070-2099, EE A1B

Resumen ejecutivo

Este documento muestra los resultados del análisis de vulnerabilidad del Sistema Nacional de Unidades de Costa Rica. Siguiendo el enfoque propuesto por el IPCC, el documento analiza tres aspectos principales: la exposición de las áreas de conservación (AC) a procesos del cambio climático (cambio en la temperatura y precipitación), el impacto potencial de estos procesos en ecosistemas, especies y servicios ecosistémicos dentro de las áreas silvestres protegidas (ASP) y corredores biológicos (CB), y la capacidad adaptativa actual del SINAC para responder a estos cambios.

El impacto potencial en la vegetación arbórea fue estimado con un modelo biogeográfico que simula el saldo promedio de agua a largo plazo y la estructura de la vegetación potencial. El impacto potencial del cambio climático en especies de fauna y flora de importancia para la conservación, se modeló considerando su distribución potencial actual y futura bajo diferentes escenarios de cambio climático. Se modelaron asimismo los cambios potenciales en la oferta de agua proveniente de ASP y CB en función a los usuarios del servicio, así como el potencial de degradación de las existencias de carbono en ASP y CB debido a los cambios en el clima.

La capacidad adaptativa, definida como el potencial, las habilidades y recursos de un sistema para hacer frente a los impactos del cambio climático; se calculó utilizando aspectos de la gestión de las ASP, la funcionalidad de los CB y la capacidad adaptativa de los distritos aledaños a las ASP.

Los resultados obtenidos muestran que todas las ASP y los CB sufrirán algún grado de impacto potencial por cambio climático; y que el patrón espacial de su vulnerabilidad depende del objeto central de análisis, ya sea vegetación arbórea, servicios ecosistémicos como agua y carbono o refugio de especies individuales. Se concluye que la vulnerabilidad relativa es muy variable dentro de los conjuntos de las ASP y CB, justificando un análisis que considera tanto aspectos biofísicos de impacto como de CA.

Se espera que los resultados del análisis de vulnerabilidad sirvan para la definición de prioridades para la acción y acciones por parte del SINAC, siempre considerando que no existe un valor único de vulnerabilidad para las ASP o CB, y que más bien la consideración de los diferentes criterios por separado apoyará la identificación de las diferentes estrategias de adaptación necesarias en las ASP y CB del país.

Introducción

Existe un consenso respecto al impacto potencial del cambio climático sobre la biodiversidad en un gradiente de escalas ecológicas, que abarca individuos, poblaciones, especies, sistemas ecológicos y biomas (Bellard et al. 2012, Lovejoy & Hannah 2005, Parmesan 2006, Schneider & Root 2002, Thomas et al. 2004). Desde el nivel más básico de la biodiversidad, el cambio climático tendrá efectos directos en la disminución de la diversidad genética de poblaciones debido a pérdidas de especies o cambios en las distribuciones de las mismas, afectando la resiliencia y el funcionamiento de los ecosistemas (Botkin et al. 2007, Meyers & Bull 2002).

Estudios recientes demuestran que el calentamiento global es una de las principales amenazas para la biodiversidad (Sala et al. 2000), principalmente en la región de Mesoamérica, afectando distintos aspectos de la historia natural y distribución de las especies (Thuiller et al. 2005, Peterson et al. 2001). Como consecuencia de los cambios en el clima, las especies podrían ser desplazadas, adaptarse a su nuevo ambiente o extinguirse localmente (Peterson et al. 2001). Las especies que posiblemente serán más afectadas, son aquellas que presentan una distribución más restringida, principalmente las especies endémicas; mientras que las especies con una distribución amplia serán menos afectadas (Thuiller et al. 2005).

Las organizaciones de conservación y agencias gubernamentales están intentando entender y predecir los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad y buscar alternativas prácticas que ayuden a reducir o aminorar sus efectos negativos (Hannah et al. 2002, Bellard et al. 2012). Estas incluyen corredores terrestres y acuáticos (Pringle 2001, Chu et al. 2005) que permitan el movimiento entre hábitats y el escape a sitios con condiciones climáticas favorables, fragmentos de bosque que funcionen como puentes entre reservas, sitios adecuados para proteger especies migratorias y refugios de hábitat donde la exposición al cambio climático sean menos severa (Hannah et al. 2007). Otras estrategias importantes serán la ampliación de la extensión y número de las áreas protegidas, la mejora de su representatividad y el manejo y restauración de las funciones ecosistémicas (Mawdsley et al. 2009). Finalmente, las estrategias de adaptación para la protección de la biodiversidad ante el CC deben abordarse con un enfoque regional, para asegurar que los objetivos de conservación respondan a la escala de impacto a la cual actúa el cambio climático (Hannah et al. 2002).

Varios estudios se enfocan en los cambios de distribución de las especies ante el cambio climático desde una perspectiva taxonómica (Thuiller et al. 2006, 2011). Sin embargo, es recomendable incluir dentro de las estrategias de adaptación, estudios más holísticos que abarquen los efectos de las variaciones climáticas en las funciones del ecosistema y en las interacciones inter e intraespecífica. Es decir, estudios cuyos resultados orienten el manejo y restauración funcional de los biomas y la manutención de los servicios ecosistémicos (dispersión de semillas, polinización, filtración de nutrientes, captación de agua, entre otros) (Bellard et al. 2012, Dawson et al. 2011, Harris et al. 2006).

Considerando los objetivos del Plan de Conservación del Segundo Canje de Deuda por Naturaleza entre los Gobiernos de Estados Unidos y Costa Rica, este trabajo pretende contribuir a largo plazo a la reducción de la vulnerabilidad ante el cambio climático del sistema de áreas silvestres protegidas terrestres del país, así como de sus servicios ecosistémicos asociados. **El objetivo específico de este análisis de vulnerabilidad es identificar áreas prioritarias para la adaptación del SINAC al cambio climático, identificando los impactos potenciales de este proceso en la biodiversidad y los servicios que provee, así como los diferentes estados de la capacidad adaptativa de los elementos del SINAC (áreas silvestres protegidas y corredores biológicos).** Ya que un proceso de adaptación parte del conocimiento de los impactos potenciales del cambio climático y de la capacidad para actuar, se considera que este informe es uno de los primeros pasos del mismo.

Este documento es el resultado del trabajo llevado a cabo mediante un acuerdo de donación por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza y fue posible gracias al apoyo técnico y financiero del Segundo Canje de Deuda por Naturaleza entre Costa Rica y Estados Unidos, la Asociación Costa Rica Por Siempre y del personal del Sistema Nacional de Áreas de Conservación.

Las bases conceptuales y metodológicas expuestas en la propuesta técnica correspondiente se basaron en los objetivos propuestos por el SINAC, en las mejores fuentes de información disponibles y en los resultados y aprendizajes en análisis de vulnerabilidad previos, como el realizado por el equipo del CATIE para zonas marino costeras del país por encargo del Programa BIOMARCC en el año 2012. A través de reuniones entre el equipo encargado de la elaboración técnica y el personal del SINAC, se ajustaron los alcances del análisis (incluyéndose explícitamente los corredores biológicos), se definió la estructura de parámetros para la estimación de la capacidad adaptativa de las ASP y CB y se revisaron resultados parciales para la incorporación de comentarios y sugerencias. Gracias a la dedicación del personal designado del SINAC y su estrecha colaboración con el equipo técnico, la información que sustenta este análisis considera las fuentes más actuales y fidedignas. Agradecemos también la información provista por el personal del Museo de Zoología de la Universidad de Costa Rica, quienes facilitaron información de las colecciones de especímenes; especialmente a Bernal Rodríguez (mamíferos), Federico Bolaños y Adrián García (anfibios y reptiles), Arturo Angulo y Carlos Garita (peces y macroinvertebrados).

El informe describe el análisis de vulnerabilidad al cambio climático de las ASP y CB del SINAC de Costa Rica, considerando aquellas porciones de territorio de las áreas que presentan ecosistemas terrestres continentales. Se analizan además los efectos sobre los servicios ecosistémicos de suministro de agua y carbono y la distribución de algunas especies de importancia actual para la conservación.

El documento resume las tendencias generales de impacto potencial, capacidad adaptativa y vulnerabilidad, sin embargo, cada uno de estos aspectos varía ampliamente dentro de los conjuntos de las ASP y CB. Los gestores de las AC, ASP y CB deben tomar en cuenta esta variabilidad y revisar la información detallada en los anexos para cada caso.

Bases conceptuales y metodológicas del análisis

El análisis de vulnerabilidad y sus elementos

Costa Rica está en la región tropical donde se prevén los mayores cambios en el clima (Giorgi 2006, Rauscher et al. 2008), parte de los cuales ya se han percibido en la última mitad del siglo pasado (Aguilar et al. 2005, Malhi & Wright 2004). Los principales cambios esperados a escala regional son el aumento de la temperatura del aire y la disminución de la precipitación (Neelin et al. 2006), aunque en relación a este último cambio esperado, Costa Rica se encuentra en una zona de alta incertidumbre respecto a las proyecciones futuras (Imbach et al. 2012). La adaptación a este proceso es uno de los mayores desafíos para la conservación en las próximas décadas.

La evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático es un método relativamente nuevo en el contexto de la ciencia del cambio climático, pero a la vez es una técnica empleada en otros ámbitos del conocimiento donde es necesario hacer análisis integrados de información social, ecológica y económica. Así el conocimiento de la vulnerabilidad generalmente se deriva de un enfoque de evaluación integral que incluye la información científica (publicada y no publicada), los conocimientos de la comunidad y los profesionales, así como la opinión de expertos (Wachenfeld et al. 2007).

En este documento se utiliza el enfoque de **vulnerabilidad** propuesto por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, que asume que *"la vulnerabilidad es una función del carácter, magnitud y tasa de variación climática a que está expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación"* (IPCC 2007). Así la vulnerabilidad de un sistema al cambio climático es una función de tres elementos: la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptación (Figura 1).

Los factores de **exposición** son los cambios en el clima y la variabilidad climática tales como aumentos de temperatura, cambios en precipitación y cambios en los patrones de las temporadas de tormentas y huracanes (IPCC 2007). En este análisis, como se verá posteriormente, los factores de exposición considerados son el aumento en la temperatura media anual y cambios en la precipitación media anual.

La **sensibilidad** es el grado en que se afecta un sistema a causa de estímulos externos (IPCC 2007). Utilizando como ejemplo la vegetación arbórea, la exposición puede inducir cambios en los individuos (productividad y crecimiento de los árboles), en la distribución de las especies, en la estructura de los ecosistemas (densidad y altura) y en los regímenes de perturbaciones (incendios y plagas); y los elementos de cada uno de estos niveles -individuos, especies y ecosistemas- tendrán una sensibilidad diferente. Como se verá más adelante, ante un cambio de la misma magnitud del aumento de temperatura y cambios en la precipitación, el bosque seco tropical del Pacífico es más sensible que el bosque siempreverde tropical del Caribe, debido a que tendrá mayor pérdida en el índice de área foliar. En este análisis se consideran diferentes modelos para representar la sensibilidad de ecosistemas y especies.

El **impacto potencial del cambio climático** consiste en las consecuencias esperadas de este proceso en los sistemas naturales y humanos sin considerar ninguna acción de adaptación (IPCC 2007). Continuando con el ejemplo anterior, se espera que como impacto potencial del cambio climático una alta probabilidad de reducción del bosque estacional a bosque de sabana seco.

La **capacidad adaptativa** se define como "la capacidad, el potencial o la habilidad de un sistema para adaptarse a los estímulos, efectos o impactos del cambio climático" (IPCC 2007). En este análisis se considera que la capacidad adaptativa es una función de la capacidad de gestión de las ASP y CB y la de las poblaciones locales. Siguiendo con el ejemplo, la gestión de un ASP que tenga objetivos y acuerdos con las poblaciones claros para el manejo de recursos, y a la vez poblaciones con necesidades básicas satisfechas, informadas y organizadas tendrá mucha más capacidad de adaptación que un ASP que esté en caso contrario. Las comunidades del primer caso tendrán mayor capacidad de implementar estrategias de adaptación como nuevos corredores biológicos. Es importante mencionar que este análisis no aborda la capacidad adaptativa de los ecosistemas, ya que esta depende de la capacidad adaptativa agregada de las especies y queda fuera del alcance de este estudio.

Como ya se ha mencionado, la **vulnerabilidad** resulta de la combinación del impacto potencial y la capacidad adaptativa, y se puede asumir como los impactos residuales del cambio climático que ocurrirían después de implementar acciones de adaptación. Es decir, ante magnitudes similares de impacto potencial, un ASP tendrá menor vulnerabilidad si su gestión implementa medidas de adaptación adecuadas (como pueden ser la mitigación de impactos no climáticos, la redefinición de límites o la restauración de ecosistemas), mientras que un ASP tendrá mayor vulnerabilidad si su gestión no toma ninguna medida.

Un glosario de estos y otros términos utilizados en el informe puede encontrarse en el Anexo 1.

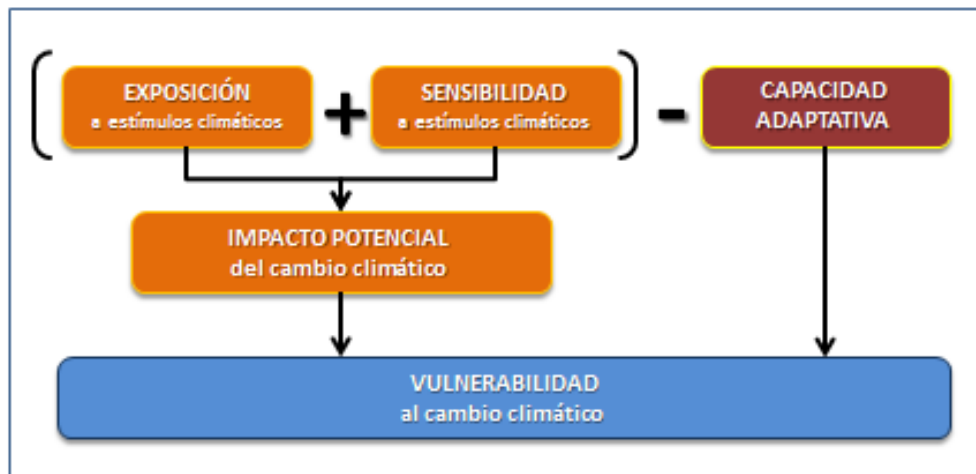


Figura 1. Marco conceptual de evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático (Marshall et al. 2010)

La proyección de las respuestas de los ecosistemas (sensibilidad) y sus servicios asociados al cambio climático es un campo de investigación muy activo, para alertar a los tomadores de decisiones sobre riesgos futuros y desarrollar estrategias de adaptación. Sin embargo, la diversidad de enfoques y la variabilidad e incertidumbre de las proyecciones es un reto para la definición de un panorama general del estado de la biodiversidad bajo diferentes escenarios de cambio climático. A esto se suma el análisis del impacto sobre los servicios ecosistémicos a los que la biodiversidad da soporte, los sectores y usuarios de los servicios potencialmente afectados (MEA 2005).

Para enfrentar este reto, este estudio aborda la exposición a los principales componentes del cambio climático que tendrían un mayor impacto en el trópico americano (cambios en temperatura del aire y precipitación) y diferentes componentes de la biodiversidad sensibles a este cambio (ecosistemas y especies), buscando un panorama de las tendencias del impacto potencial con la información disponible y consistente a nivel nacional. Asimismo, aborda aspectos de la capacidad adaptativa relacionado a las capacidades y logros de la gestión de las ASP, CB y zonas aledañas.

Evaluación de la exposición a procesos del cambio climático

Datos climáticos de línea base y escenarios de cambio climático

Los datos de climatología base utilizados en el análisis corresponde al período 1960-2000 y provienen de WorldClim (Hijmans et al. 2005), un conjunto de datos climáticos globales a una resolución espacial de 1 km². Los escenarios de cambio climático bajo diferentes escenarios de emisiones (EE) provienen del grupo CMIP3 (Coupled Model Intercomparison Project phase 3) del Programa de Investigación Mundial sobre el Clima (WCRP), usados en el reporte AR4 del IPCC publicado en el año 2007. Los escenarios de CC bajo diferentes EE fueron reducidos de escala a una resolución de 2,5 minutos, (aproximadamente 5 km²) por The Nature Conservancy (TNC) en tres grupos de forzamiento radiactivo (IPCC-SRES), B1, A1B y A2 con 48, 52 y 36 EE respectivamente para el período 2070-2100, para un total de 136 simulaciones de clima futuro (Cuadro 1). Una breve descripción de estos escenarios de emisiones se encuentra en el Anexo 2.

En todas las rutinas de análisis posibles se utilizaron los EE B1 y A2 para ilustrar el rango de tendencias de exposición e impacto potencial de los diferentes procesos del cambio climático. La modelación de nicho potencial de las especies se realizó bajo el EE SRES-A1B (intermedio), bajo el periodo 2010-2039 (2020s) con 22 modelos de circulación general (Lee & Jarvis 1995, Ramírez-Villegas & Jarvis 2010).

La selección de los períodos de análisis y modelos de clima utilizados fue determinada por los horizontes temporales utilizados en estudios previos, en tanto que para la simulación de cambios en los nichos ecológicos potenciales de las especies se utilizó un horizonte temporal a corto plazo debido a disponibilidad de datos de las variables bioclimáticas y con la idea de evaluar el efecto de forzamientos menores de los gases de efecto invernadero en el clima, ya que probablemente los cambios en los rangos de distribución tengan una velocidad menor que la de los cambios en el clima.

Cuadro 1. Simulaciones de modelos de circulación global (AOGCM) utilizadas

Modelo IPCC	Siglo 20	Bajas emisiones (B1)	Emisiones moderadas (A1B)	Altas emisiones (A2)
BCC-CM1	1	1	0	0
BCCR-BCM2.0	1	1	1	1
CCSM3	8	8	7	4
CGCM3.1(T47)	5	5	5	5
CGCM3.1(T63)	1	1	1	0
CNRM-CM3	1	1	1	1
CSIRO-Mk3.0	1	1	1	1
ECHAM5/MPI-OM	4	3	4	3
ECHO-G	3	3	3	3
FGOALS-g1.0	3	3	3	0
GFDL-CM2.0	1	1	1	1
GFDL-CM2.1	1	1	1	1
GISS-AOM	2	2	2	0
GISS-EH	3	0	3	0
GISS-ER	5	1	2	1
INM-CM3.0	1	1	1	1
IPSL-CM4	1	1	1	1
MIROC3.2(hires)	1	1	1	0
MIROC3.2(medres)	3	3	3	3
MRI-CGCM2.3.2	5	5	5	5
PCM	4	3	4	4
UKMO-HadCM3	2	1	1	1
UKMO-HadGEM1	1	1	1	0
Total	58	48	52	36

La temperatura del agua es una variable física importante de ríos y lagunas. Influye, por ejemplo, en la concentración del oxígeno disuelto y en la tasa de crecimiento y distribución de organismos dulceacuícolas (Mohseni et al. 2003). Dada esta fuerte correlación entre la temperatura del aire con la temperatura del agua (van Vliet et al. 2011), la primera suele ser un componente importante para predecir los cambios en el flujo de temperatura en la superficie del agua (Webb et al. 2008).

Para determinar la exposición de los ecosistemas de agua ante el aumento de la temperatura del aire y los cambios de precipitación, se utilizó el modelo de van Vliet et al. (2011), que predice que por cada aumento de +2 °C, + 4 °C y +6 °C de temperatura del aire, la temperatura del agua aumenta en +1.3 °C, +2.6 °C y + 3.8 °C respectivamente y por una disminución en el caudal de 20% y 40%, la temperatura del agua aumenta +0.3 °C y + 0.8 °C respectivamente. Para ello se utilizaron los escenarios desarrollados por Imbach et al. (2012); la información de cambio de caudales bajo escenarios futuros se generó de los datos de escorrentía obtenidos de MAPSS (Imbach et al. 2010).

Escala de exposición

La escala de probabilidad de cambio en los parámetros del clima (medias anuales de temperatura ambiental y precipitación) empleada en este documento usa la terminología

recomendada por el IPCC (2005) y en este caso está relacionada con cuantas veces (en porcentaje) las simulaciones bajo cada escenario coinciden, siendo la escala: muy baja (0-33%), baja (33-50%), media (50-66%), alta (66-90%) y muy alta (90-100%).

Evaluación del impacto potencial del cambio climático

En este documento se utiliza el concepto de “filtro grueso” como los tipos de ecosistemas y los servicios que proveen, y “filtro fino” como especies, principalmente las que no ocurren siempre de una manera predecible dentro de los ecosistemas.

Ecosistemas terrestres y de agua dulce ("filtro grueso")

Los cambios en la vegetación arbórea fueron simulados empleando el Modelo MAPSS (Mapped Atmosphere-Plant-Soil System), un modelo biogeográfico que simula el saldo promedio de agua a largo plazo, los tipos de vegetación potencial, y parámetros biofísicos como el índice de área foliar, en base a la escasez de agua y energía (Neilson 1995). El modelo se ha aplicado para modelar patrones de escurrimiento y la vegetación de los Estados Unidos, y para evaluar los impactos del cambio climático en América del Norte (Neilson 1995, Scott et al. 2002) y en Mesoamérica (Imbach et al. 2010). Para este análisis se utilizaron los datos y la metodología propuesta en Imbach et al (2010).

La Figura 2 menciona las variables y resultados que se obtienen al correr el modelo, que asume los indicadores de exposición (cambios en temperatura y precipitación) como entrada y los cambios estructurales en el ecosistema (cuantificados mediante cambios en el índice de área foliar de las diferentes formas de vida, pastos, arbustos y árboles) y del balance hídrico (agua disponible) como salida. En resumen, el modelo simula la vegetación potencial que estará en equilibrio con el clima futuro, dados los cambios en la disponibilidad de agua y energía. Se asume que estos cambios son indicadores "proxy" de la magnitud del cambio en los componentes biológicos del ecosistema en todas sus escalas (genes, especies, poblaciones y comunidades).

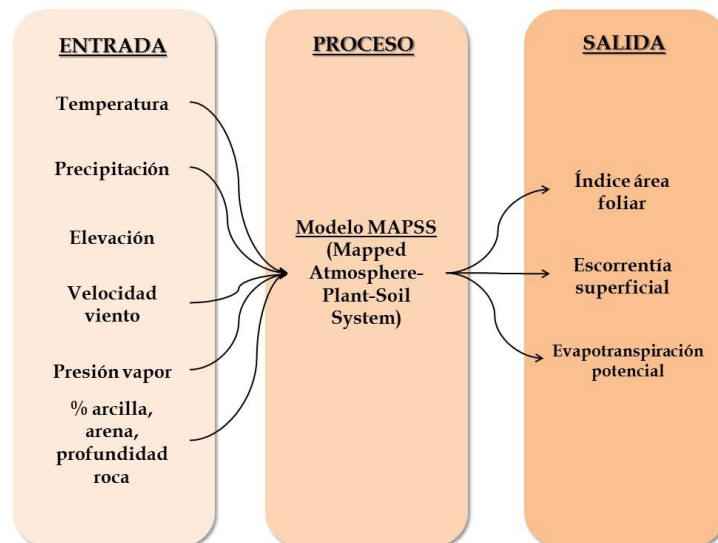


Figura 2. Variables de entrada y productos de salida del modelo MAPSS

No fue posible estimar el cálculo del impacto potencial del cambio climático en ecosistemas de agua dulce debido a que el modelo existente (SINAC 2009) de distribución de estos ecosistemas de agua dulce se basa en una clasificación discreta de los ecosistemas según variables climáticas. Esto imposibilita distinguir un gradiente de impactos del cambio climático sin asumir relaciones lineales entre las anomalías climáticas futuras y los impactos en los ecosistemas.

Distribución de especies de flora y fauna ("filtro fino")

La modelación de la distribución potencial actual y futura de las especies ante el cambio climático, fue realizada con el programa Maxent versión 3.3.3k (Phillips et al. 2006), el cual predice el hábitat o nicho ecológico potencial (actual y futuro) más probable a través de un algoritmo matemático, que se aproxime a su máxima entropía, utilizando para ello variables ambientales y puntos de presencia de las especies (Phillips & Dudík 2008). En otras palabras, el modelo identifica aquellas regiones que presentan condiciones ambientales similares donde actualmente se encuentra la especie y predice donde podrá persistir la especie asociando esas condiciones futuras (Pearson & Dawson 2003).

Se seleccionaron 70 especies de flora y 348 de fauna (Anexo 3) con estos criterios:

1. *Vulnerabilidad*, referida a las especies globalmente amenazadas (especies vulnerables, en peligro y en peligro crítico), de acuerdo a la Lista Roja de especies amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN 2012).
2. *Irremplazabilidad*, representada por especies endémicas y focales (en este caso géneros de macroinvertebrados, los cuales fueron seleccionados bajo el criterio de expertos).
3. *Jurisdiccionalidad*, especies de importancia nacional (amenazadas y en peligro de extinción), de acuerdo al Decreto N° 32405-MINAE del 23 de mayo de 2005, al Decreto N° 25700-MINAE y al Reglamento N° 32633 de la Ley de Conservación de la Vida Silvestre N°7317.
4. *Información disponible*, se escogieron a las especies y/o géneros que poseían como mínimo 30 datos de presencia (Wisniewski et al. 2008) con sus respectivas coordenadas geográficas.

Para la modelación de especies terrestres se utilizaron 19 variables bioclimáticas, las cuales incluyen información de precipitación total mensual y temperatura mensual promedio, máxima y mínima (Hijmans et al. 2005) (Anexo 4), y de variables edáficas y fisiográficas que incluyen contenido de arcilla y arena y profundidad promedio del suelo (FAO 2003, Jarvis et al. 2008). Las variables utilizadas para la modelación de especies dulceacuícolas (peces y macroinvertebrados) fueron seleccionadas a partir de una revisión de estudios realizados en México y Estados Unidos (Domínguez-Domínguez et al. 2006, McNyset 2005, Endries 2001, Jarvis et al. 2008) (Anexo 5). Las 19 variables bioclimáticas y 25 variables biofísicas y ecológicas utilizadas corresponden a capas de formato "raster" (grid) con una resolución espacial de 1 km x 1 km (30 segundos).

La proyección futura utilizada para la medición de la incertidumbre en los cambios, fue obtenida a través del método Delta para el EE SRES-A1B (intermedio) bajo el periodo 2010-2039 (2020s) con 22 modelos de circulación general (Ramírez-Villegas & Jarvis 2010). Este periodo muestra claramente los diferentes efectos en la distribución de especies, mientras que periodos más lejanos muestran cambios negativos muy radicales. El periodo de referencia fue 1950 - 2000.

Los datos de ocurrencia de especies de flora fueron obtenidos de las bases de datos *Tropicos* del Jardín Botánico de Missouri (Missouri Botanical Garden 2013) y Atta del Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio 2001). Los puntos de ocurrencia de fauna provienen de la revisión de la colección del Museo de Zoología de la Universidad de Costa Rica (2013) y de la revisión de bases de datos del Global Information Facility (GBIF 2001) y de la Inter-American Biodiversity Information Network (IABIN 2010). Se modelaron todas las especies de flora (38) y de fauna (86, incluyendo anfibios, reptiles, aves, peces y macroinvertebrados) que cumplieron con el criterio de disponibilidad de información (30 datos de presencia como mínimo).

Provisión de servicios ecosistémicos: cambios en la oferta de agua e impacto en los usuarios del servicio

La demanda de agua para consumo humano se obtuvo a partir 1.839 tomas superficiales de agua contenidas en el Registro Nacional de Concesiones de Agua y Cauces (Dirección de Aguas - MINAET 2012). Esta base de datos provee la ubicación de la toma de agua y el caudal consumido que se utilizó como sustituto del número de beneficiarios del servicio (asumiendo un consumo promedio por persona).

Las microcuencas y redes de drenaje para cada toma fueron modeladas con base en un modelo digital de elevación (90 m). La priorización de áreas con respecto a la demanda de agua se estimó con base en el número de personas beneficiadas por hectárea en cada punto del mapa (píxel). El número de beneficiarios proviene del caudal consumido en cada toma de agua superficial y las hectáreas según la delimitación del área de recarga de cada toma de agua. Esta priorización toma en cuenta los casos en que las áreas de recarga se anidan, es decir que la prioridad de cada punto en el mapa toma en cuenta todas las tomas de agua cuenca abajo abastecidas por este punto.

La evaluación del cambio en la provisión de agua debido a efectos del cambio climático se estimó como el cambio de agua de escorrentía disponible (en porcentaje) entre un promedio de EE bajo emisiones intermedias (A1B) para el período de tiempo 2070-2099 (Ramírez-Villegas & Jarvis 2010) y el período de referencia 1950-2000. Los escenarios futuros de escorrentía se promediaron de 52 realizaciones provenientes de 23 modelos generales de circulación (Imbach et al. 2012).

Finalmente se estimó, para cada micro cuenca importante respecto a la provisión de agua potable, el valor del porcentaje de cambio en la disponibilidad de agua en el futuro de manera que se puede jerarquizar las zonas más importantes en la provisión del servicio y el impacto potencial del cambio climático sobre el servicio ecosistémico.

Provisión de servicios ecosistémicos: potencial de degradación de las existencias de carbono

El análisis se basó en el estudio de Cifuentes-Jara (2008), quien estimó el total de biomasa sobre el suelo (TAGB), carbono del suelo y el total de carbono por ecosistema (TEC) en 54 parcelas de bosque primario no intervenido en seis zonas de vida de Costa Rica, desde tierras bajas secas a bosques lluviosos premontanos. Las parcelas, de 1 ha, fueron medidas entre los años 2001 y 2004. Este estudio encontró una fuerte relación ($R^2=0.97$, $p<0.0001$) entre el carbono total sobre el suelo, la temperatura y la precipitación. La ecuación formulada por el estudio fue $Y = 134.3X^{-0.86}$ donde Y representa el total de carbono sobre el suelo y X es la relación entre la temperatura media anual sobre la precipitación media anual.

Para las proyecciones de cambio climático se utilizó el EE A1B que agrupa 52 escenarios futuros de datos de precipitación y temperatura proyectadas al periodo 2070-2099. La pérdida de las existencias de carbono se obtuvo restando del escenario actual a los 52 escenarios futuros. Al producto obtenido de las 52 capas de cambios en los contenidos de carbono se les extrajo los valores medios tomando en cuenta los límites de ASP y CB, generando una matriz a la cual se le aplicó un análisis multivariado de conglomerados que definió categorías de pérdida absoluta de carbono.

Evaluación de la capacidad adaptativa

Elementos de la capacidad adaptativa

La capacidad adaptativa se define como el potencial, las habilidades y recursos (principalmente humanos y sociales) de un sistema para hacer frente al cambio climático. Las adaptaciones son ajustes que surgen como respuesta a los estímulos climáticos o a sus efectos actuales o esperados (Smit et al. 1996). La restauración de ecosistemas, la redefinición de los límites de las ASP y los CB y los cambios en los usos y prácticas de manejo son ejemplos de adaptaciones sociales para apoyar el mantenimiento de los procesos ecológicos, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos relacionados.

Tomando como punto de partida la definición anterior, tres criterios definen la capacidad adaptativa del SINAC: la gestión de sus elementos (ASP y CB), la conectividad entre ASP y la capacidad adaptativa de las poblaciones aledañas, asumidas en este estudio como las características socioeconómicas de los distritos (la unidad administrativa más detallada para la que se dispone de información homogénea en todo el país) sobre los cuales están establecidos las ASP y CB.

En cuanto a su **gestión**, se consideran como elementos principales aquellos que permitan la adaptación planificada, incluyendo, entre otros, el conocimiento del personal, actores y poblaciones locales de los principales impactos del cambio climático relacionados al entorno y a las bases para su adaptación, la inclusión de estos temas en los planes de manejo, la investigación y el monitoreo, el manejo de ecosistemas mitigando las amenazas no climáticas y la revisión de límites y zonificación (Welch 2005).

En cuanto a su **conectividad**, se consideran el diseño de los CB que favorece la dispersión de la biota bajo condiciones cambiantes del clima. Tomando como base la simulación de la dispersión de plantas de diferentes tipos funcionales en los CB del país bajo diferentes condiciones de clima mediante un modelo dinámico espacial (Imbach et al. 2013), se seleccionaron las características de los corredores que contribuyen a la migración de especies: tamaño, rango altitudinal y el punto de mayor altitud.

La capacidad adaptativa de las **poblaciones locales** considera criterios propuestos por Wongbusarakum & Loper (2011) y Adger et al. (2004) (Cuadro 2) que incluyen la pobreza y la provisión de servicios básicos, aspectos de actividades productivas, acceso a información y capacidad organizativa, que son clave para la adaptación de las personas a las condiciones cambiantes del clima y que no son considerados en evaluaciones más tradicionales (PNUD & UCR 2011).

Cuadro 2. Criterios capacidad adaptativa (Wongbusarakum & Loper 2011)

Indicador	Preguntas
Grupos demográficamente vulnerables	¿Cuán predominantes son los grupos que necesitan más apoyo para la ACC?
Dependencia de los recursos vulnerables a los impactos del CC	¿Qué proporción de la población depende de los recursos más sensibles al CC para sostener sus medios de vida?
Acceso y uso de conocimientos relacionados con el clima	¿Qué información relacionada al clima está disponible?
Capacidad de la comunidad para organizarse	Cuál es la capacidad de organización de la comunidad frente a los impactos potenciales del CC?
Acceso equitativo a los recursos y servicios	¿Cuán distribuida está la capacidad de ACC en la comunidad?

Selección de criterios e indicadores

La evaluación de la capacidad adaptativa de ASP consideró inicialmente 23 indicadores de cinco ámbitos de la herramienta oficial de medición de efectividad de manejo aplicada por el SINAC (Figura 3) y 13 indicadores socioeconómicos (Figura 4), además de los tres indicadores de conectividad mencionados. Además de las consideraciones técnicas, se tomó en cuenta que todos los indicadores pudieran ser medidos consistentemente en todo el país a través de datos derivados del último censo de población y vivienda (INEC 2012) e inventarios de servicios y organizaciones locales provistos por organismos gubernamentales (DINADECO 2012, CNE 2012, CCSS 2011). Los datos fueron procesados según protocolos estándares (ver, por ejemplo, CEPAL 2007).

La selección y definición de los pesos relativos de los indicadores para cada criterio se realizó mediante una encuesta amplia al personal del SINAC, que incluyó personal de las áreas de la conservación, después de la presentación del primer avance de resultados del estudio (12 diciembre 2012, ver participantes en el Anexo 6) y una revisión con posterior por un grupo menor de dicha institución (11 marzo 2013, ver el mismo anexo). La encuesta incluyó la definición de la importancia relativa de los criterios mediante la comparación por pares y la definición de la importancia relativa de indicadores, mediante la asignación de valores entre 0 (ninguna importancia) y 100 (máxima importancia).

Se asumió como importancia relativa la media de los pesos asignada por cada persona encuestada según la metodología propuesta por Malczewski (1999). La consistencia de los datos se evaluó mediante el error estándar de la media observada de los valores asignados a cada indicador. Cuando el error estándar excedió los límites de confianza de la distribución normal (± 1.96) se consideró que los datos no eran consistentes, es decir, que no hubo acuerdo entre expertos. Después de depurar la estructura de criterios e indicadores se recalculó la importancia relativa entre ellos y se agregó a la estructura un indicador propuesto por el personal del SINAC: inmigración extranjera reciente al criterio grupo vulnerable. También por sugerencia del personal del SINAC se incluyó a los CB como unidades de análisis (la propuesta original los consideraba solo como elemento de conectividad).

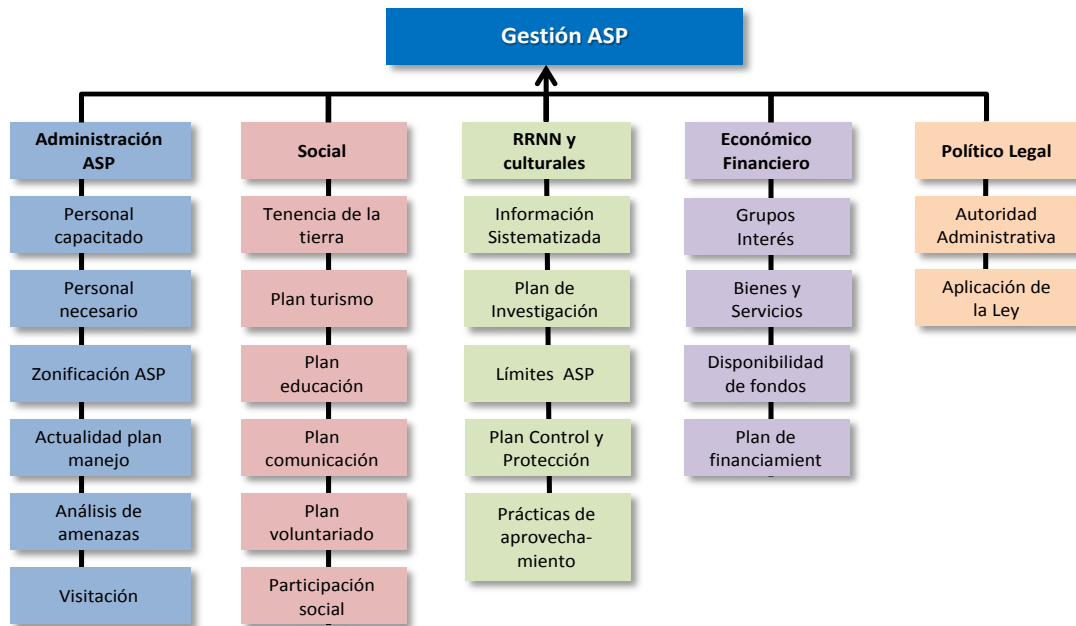


Figura 3. Propuesta preliminar de criterios e indicadores de capacidad adaptativa de P

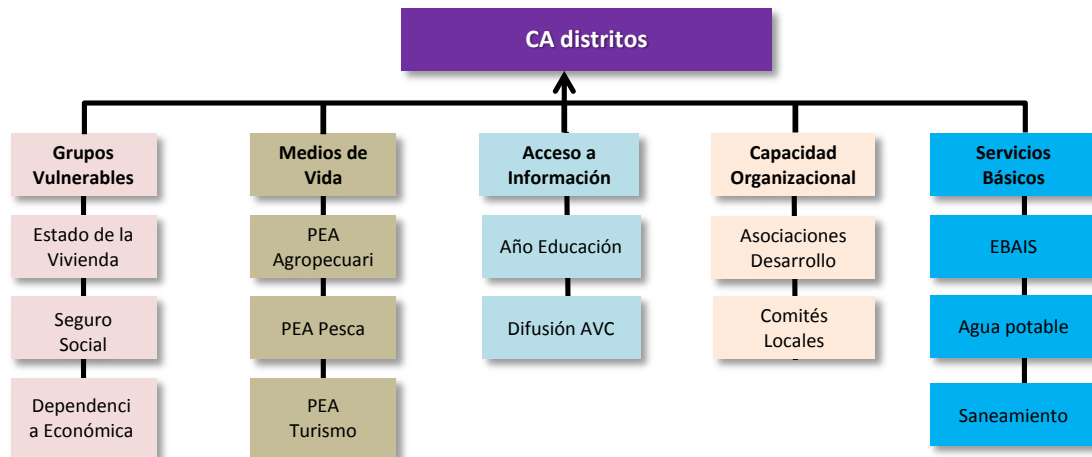


Figura 4. Propuesta preliminar de criterios e indicadores de capacidad adaptativa de los distritos que forman parte del territorio de las ASP y CB

La estructura resultante para evaluar la capacidad adaptativa de las ASP del SINAC considera dos criterios y seis indicadores relacionados al ámbito de la efectividad de manejo de las mismas y cinco criterios y doce indicadores relacionados a la capacidad adaptativa de las poblaciones locales (Figura 5). La estructura para evaluar la capacidad adaptativa de los CB consideró como único criterio disponible de gestión el índice de efectividad de manejo y las características biofísicas de los CB que favorecen la migración de especies mencionadas anteriormente, además de los parámetros para caracterizar a la población local (Figura 6). Los números entre paréntesis representan el peso relativo entre elementos en el mismo nivel jerárquico dentro de cada dimensión.

Los valores de los indicadores de la gestión de las ASP fueron tomados de las evaluaciones de la gestión de efectividad de manejo realizadas el año 2010 y proporcionada por el SINAC para este propósito (SINAC 2010a, b, c, d, e, f, g, h, i, j), los de gestión de los CB fueron tomados de Canet (2010). Los valores fueron normalizados y reclasificados en cinco categorías, donde 1 es muy alta capacidad adaptativa y 5 muy baja. En el caso de que algún ASP o CB no contara con evaluación en estos instrumentos, se le asignó la calificación mínima (5). Se realizó una comparación de las calificaciones de efectividad de manejo considerando todos los indicadores del instrumento y la calificación de capacidad adaptativa, considerando los seis indicadores seleccionados, encontrándose que no había diferencia en el 76% de los casos y que en los casos restantes, la diferencia fue de solo una categoría.

Para el cálculo de la CA de cada ASP y CB, se consideró el valor de gestión (según promedio ponderado en el caso de las ASP), el valor de conectividad en el caso de los CB y el valor de la CA de todos los distritos que forman parte de su territorio. Este valor fue calculado independientemente para cada distrito, y se consideró una ponderación en función a la proporción del territorio de cada ASP o CB que ocupaba dicho distrito. Las definiciones de cada variable relacionada a la capacidad adaptativa de los distritos, las fuentes de información utilizadas para su medición y el tratamiento de la información se describen en el Anexo 7.

Evaluación de la vulnerabilidad

La media del impacto potencial del cambio climático en cada elemento ecológico (ecosistemas y especies) o servicio ecosistémico, con la capacidad adaptativa de las ASP y CB (elementos del SINAC), define su vulnerabilidad al cambio climático en cada aspecto en particular. Por ejemplo, la combinación del mapa de los niveles del impacto potencial del cambio climático en el stock de carbono de un ASP en particular con la capacidad adaptativa de esta área, dará como resultado un mapa de los niveles de vulnerabilidad de esta área como provisora de este servicio ambiental. Si el ASP tiene niveles muy altos de impacto potencial en su stock de carbono, pero tiene una capacidad adaptativa muy alta, su vulnerabilidad será media.

En este análisis, se ha considerado la evaluación de la vulnerabilidad para las ASP y CB para cada elemento ecológico (vegetación arbórea, especies) y servicio ecosistémico (agua, carbono) por separado.

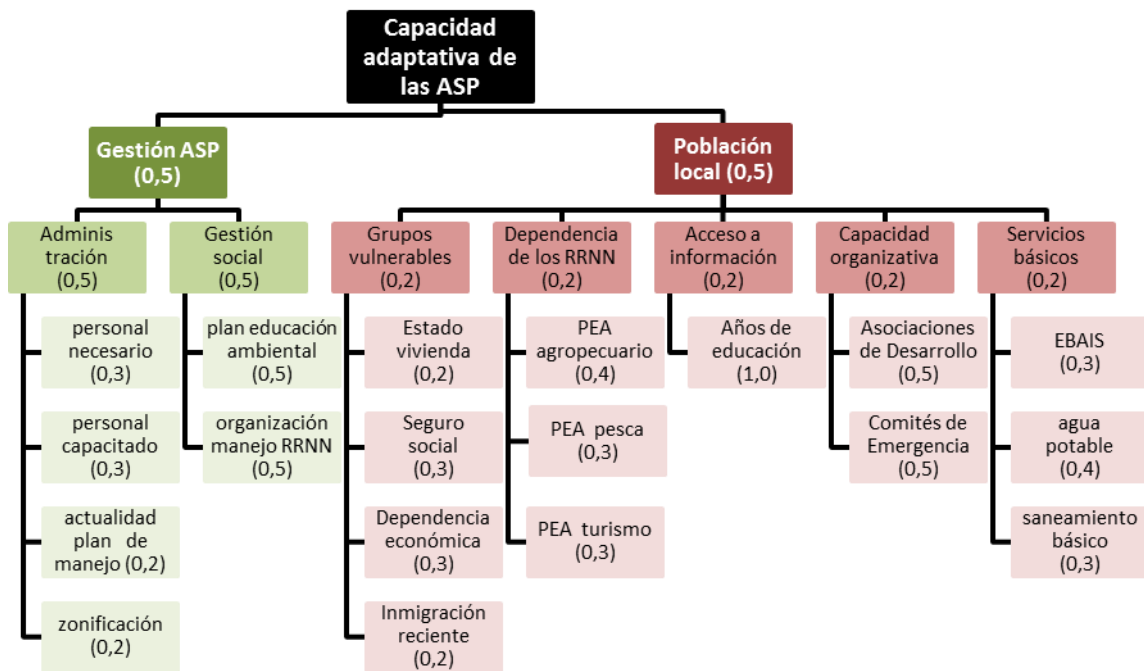


Figura 5. Criterios e indicadores utilizados para la estimación de la capacidad adaptativa de las ASP

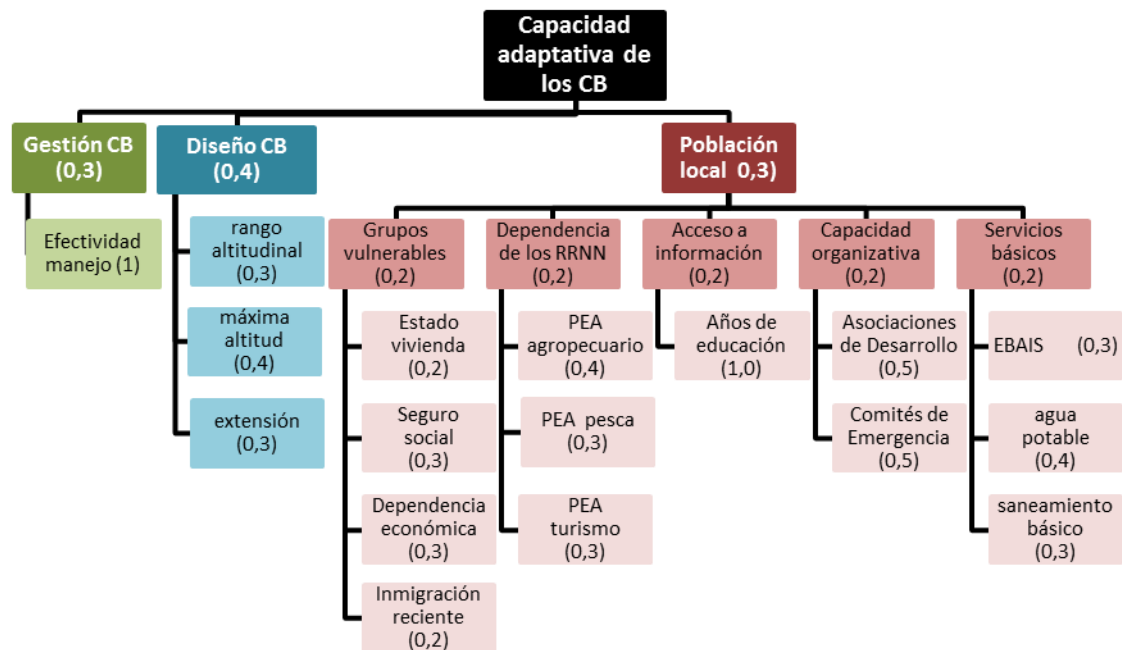


Figura 6. Criterios e indicadores utilizados para la estimación de la capacidad adaptativa de los CB

La valoración relativa de la vulnerabilidad de ASP y CB del país resulta de la agregación espacial de indicadores de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa; generándose mapas para cada indicador, agregándolos en criterios y luego agregando los criterios. Los mapas contienen valoraciones cuantitativas de elementos que representan conceptos diferentes (por ejemplo, cambios en el índice de área foliar e indicadores de gestión de las ASP y CB) y por lo tanto tienen unidades de medida no conmensurables.

Para realizar este proceso de agregación, se estandarizan las unidades de medida de todos los indicadores (se convierten a un mismo rango de unidades) y se asignan pesos relativos a cada criterio o indicador. La estandarización afecta la importancia relativa de cada valor dentro de un indicador, por ejemplo, cuán importante es una reducción de 100 a 50 mm de precipitación total anual respecto a una reducción de 3000 a 2950 mm. A pesar de que la magnitud del cambio es la misma (50 mm) la importancia del cambio es significativamente más importante en la zona más seca. Por lo general no se cuenta con criterios validados para estandarizar por lo que se recurre a supuestos de linealidad. La asignación de pesos afecta la importancia relativa de los indicadores o criterios respecto a un objetivo de evaluación, por ejemplo, cuán más importante es un criterio de gestión de las ASP respecto a otro. Este estudio sistematizó y evaluó estos pesos para el componente de capacidad adaptativa y por lo tanto refleja los objetivos del SINAC.

El índice de vulnerabilidad resultante, por lo tanto, no tiene unidades específicas sino que define la vulnerabilidad relativa entre los elementos espaciales estudiados; bajo los supuestos de estandarización, importancia relativa (pesos de indicadores y criterios) y estructura jerárquica de análisis diseñada y validada por el SINAC, siguiendo técnicas comunes en análisis multi-criterio con sistemas de información geográfica (Malczewski 1999).

Exposición al cambio climático

El análisis de exposición al cambio climático utiliza como climatología base el período 1961 - 1990, estándar utilizado en el AR4 del IPCC para caracterizar el clima actual de una región y compararlo con otros periodos. Para la climatología futura utiliza los EE B1 y A2, empleados en las últimas simulaciones de cambio climático a nivel global realizadas por el IPCC, que representan niveles de emisiones bajos y altos respectivamente, para ilustrar la incertidumbre de las estimaciones y el rango de necesidades de adaptación.

Se eligieron umbrales de probabilidad de cambio para ilustrar claramente las diferencias entre los modelos. En el caso de la temperatura media anual fue de 3°C (es decir, la probabilidad de que la temperatura media anual de un lugar determinado aumente 3°C o más) y en el caso de la precipitación media anual fue de 10% (la probabilidad de que la precipitación media anual en un lugar determinado disminuya 10% o más).

Si bien la mayoría de las proyecciones son consistentes en el aumento de la temperatura media anual para Mesoamérica, Costa Rica está en una zona de incertidumbre en los escenarios futuros de precipitación; algunos muestran un aumento de esta variable, otros una disminución. Sin embargo, este estudio considera solo los escenarios que muestran reducción de precipitación, tomando en cuenta que son la mayoría (24 de 36 escenarios) y que de los que muestran aumento, solo tres muestran un aumento mayor al 10%.

El estudio sigue la metodología del IPCC sobre probabilidad de cambio, la cual considera la cantidad de simulaciones por escenario que superan un umbral establecido. Es decir, cuando menos del 33% de las simulaciones supera el umbral determinado, se considera que la exposición es muy baja, cuando varía entre 33 a 50% se considera que la exposición es baja, de 50 a 66% exposición media, de 66 a 90% exposición alta y de 90 a 100% se considera que la exposición es muy alta.

Exposición del territorio al aumento de la temperatura media anual del aire

El rango de la temperatura promedio anual del aire en el país durante el periodo de línea de base (1961-1990) fue de 4.7 a 27.2 °C (Figura 7). Considerando EE bajas (B1) la probabilidad de que haya aumentado 3 °C o más en el periodo 2070-2099 es muy baja en todo el país (Cuadro 3 y Figura 8 arriba); esta probabilidad es baja en general para EE A2 y media en el ACOSA y el sur del ACLA-P (Cuadro 3 y Figura 8, abajo).

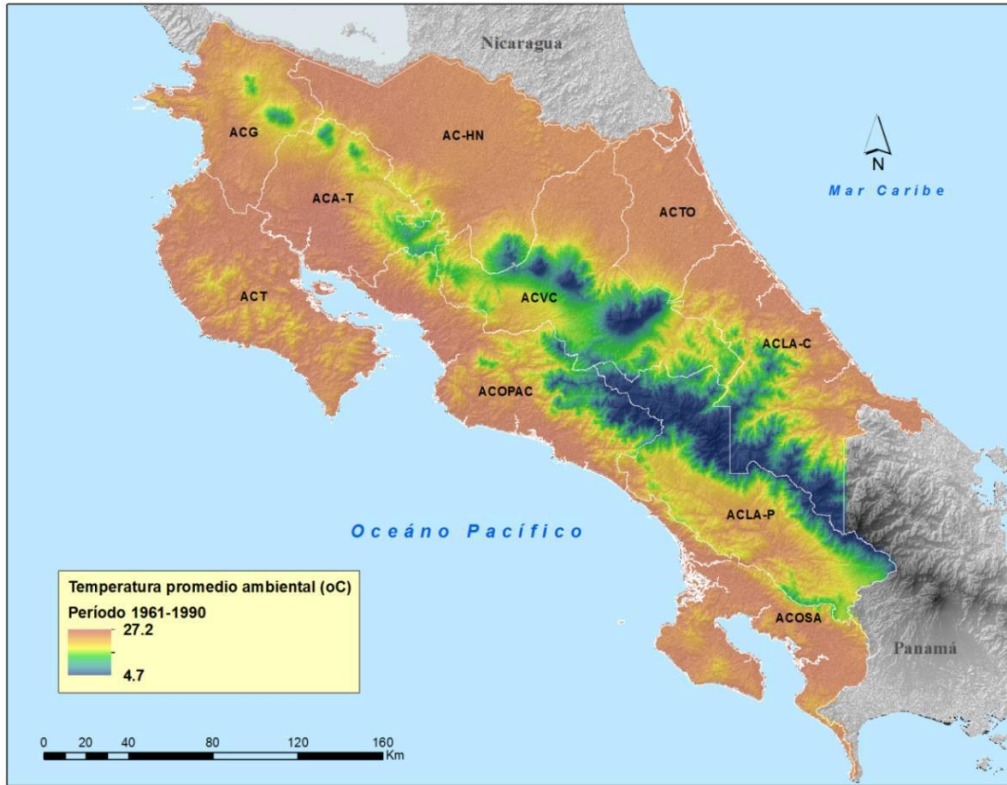


Figura 7. Temperatura promedio del aire en Costa Rica, periodo 1961 – 1990, según datos de WorldClim (Hijmans et al. 2005)

Cuadro 3. Niveles de exposición de las AC al aumento de 3 °C o más de la temperatura del aire, período 2070-2099, EE B1 y A2

Área Conservación	Extensión evaluada (ha)	Porcentaje de la extensión del AC en cada nivel de exposición									
		EE B1					EE A2				
		Mb	B	M	A	Ma	Mb	B	M	A	Ma
ACA-HN	671,298	100					100				
ACA-T	391,463	100					100				
ACTo	301,974	100					100				
ACCVC	651,534	100					100				
ACT	497,409	100					100				
ACLA-C	612,854	100					98		2		
ACLA-P	610,309	100					58		42		
ACG	338,024	100					99		1		
ACOPAC	546,182	100					100				
ACOSA	404,526	100					28		72		

Nota: Mb (muy baja), B (baja), M (media), A (alta), Ma (muy alta)



Figura 8. Niveles de exposición de las AC al aumento de 3 °C o más de la temperatura del aire, período 2070-2099, EE B1 (arriba) y A2 (abajo)

Exposición del territorio a la disminución de la precipitación media anual

La precipitación promedio anual en el país durante el periodo de línea de base (1961-1990) fue de 1.365 a 6.303 mm (Figura 9). Considerando EE B1, la probabilidad de que las lluvias hayan disminuido 50% o más en el periodo 2070-2099 es alta, siendo media en el ACOSA y la parte sur del ACLA-P. Para EE A2, la probabilidad es alta en todo el país (Cuadro 4 y Figura 10).

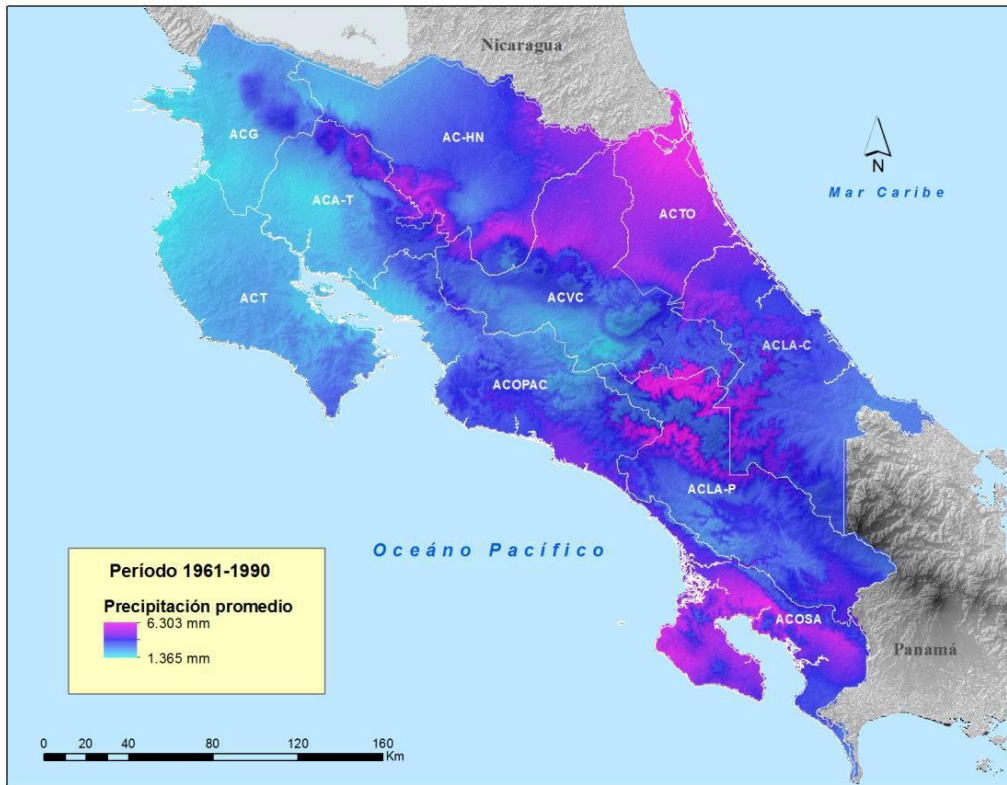


Figura 9. Precipitación media anual en Costa Rica, periodo 1961 – 1990, según datos de WorldClim (Hijmans et al. 2005)

Cuadro 4. Niveles de exposición a la disminución de la precipitación mayor a 50% para EE B1 y A2

Área Conservación	Extensión evaluada (ha)	% de la extensión del AC en cada nivel de exposición												
		EE B1					EE A2							
		Mb	B	M	A	Ma	Mb	B	M	A	Ma			
ACA-HN	671,298				100									
ACA-T	391,463				100									
ACTo	301,974				100									
ACCVC	651,534				100									
ACT	497,409				100									
ACLA-C	612,854				100									
ACLA-P	610,309			14	86									
ACG	338,024				100									
ACOPAC	546,182				100									
ACOSA	404,526			76	24				11		89			

Nota: Mb (muy baja), B (baja), M (media), A (alta), Ma (muy alta)

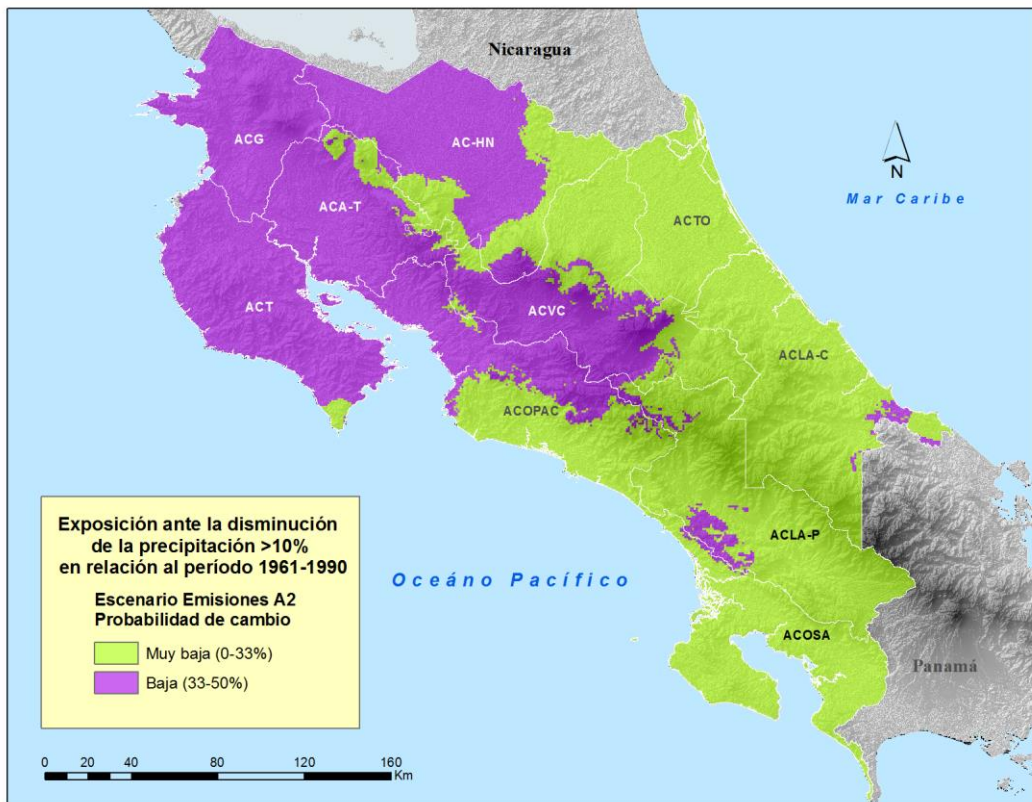
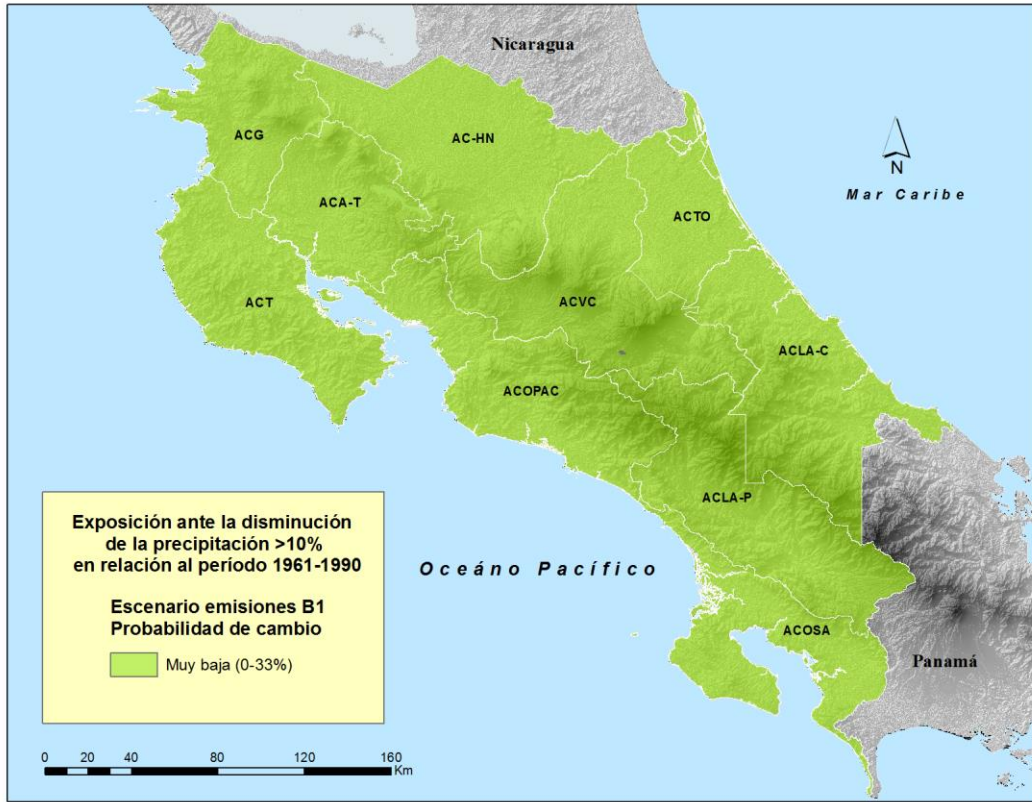


Figura 10. Niveles de exposición de las AC a la disminución de 10% o más de la precipitación, periodo 2070 - 2099, EE B1 (arriba) y A2 (abajo)

Exposición de los sistemas de agua dulce al aumento de la temperatura del aire y la disminución de la precipitación

En más del 66% de los territorios del ACA-HN, ACTo, ACT y ACG, AC donde hay importantes complejos de humedales, se espera que la temperatura superficial del agua de los cuerpos de agua dulce aumente entre 2.3 y 2.8 °C (exposición alta y muy alta), como resultado de la combinación del aumento de la temperatura del aire y de la disminución de la precipitación y, por ende de los caudales. ACLA-P, ACOPAC y ACOSA tienen la mayor parte de su territorio con niveles de exposición a este proceso muy bajos o bajos (Cuadro 5, figuras 11 y 12).

Cuadro 5. Niveles de exposición (% superficie) de los sistemas de agua dulce al aumento de temperatura por AC

Área Conserv.	Extensión evaluada (ha)	% de la extensión del AC en cada nivel de exposición				
		Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
ACA-HN	671,507	1	13	4	62	20
ACA-T	390,664	4	34	12	48	2
ACTo	292,475		1	4	94	1
ACCV	652,073		52	4	41	3
ACT	484,448	1			98	1
ACLA-C	604,113		37	7	49	7
ACLA-P	609,342	1	97	2		
ACG	336,096	1	9	10	50	30
ACOPAC	543,081		73	1	26	
ACOSA	386,253	12	86	2		

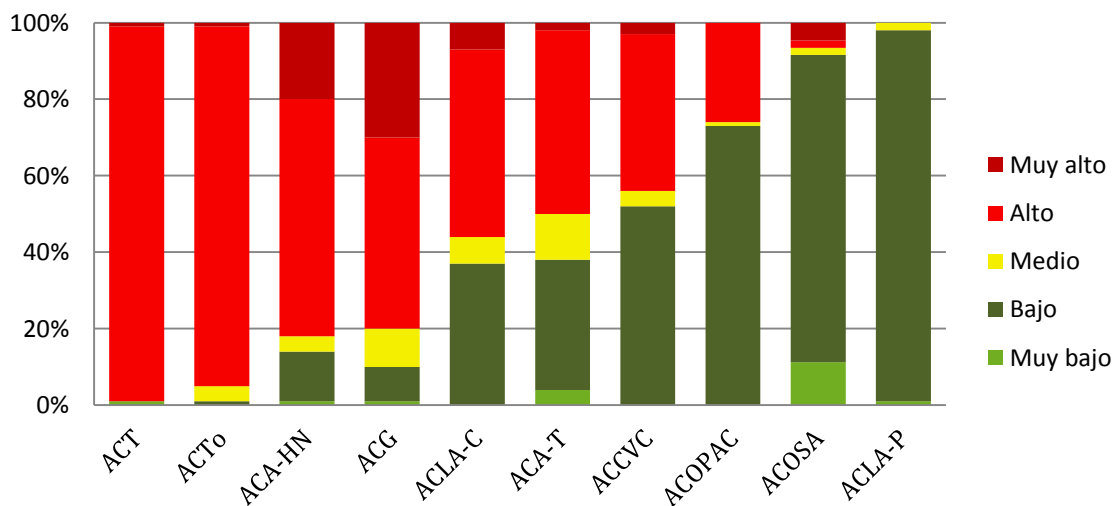


Figura 11. Niveles de exposición de los sistemas de agua dulce, por AC, al aumento de temperatura, período 2070-2099, EE A1B

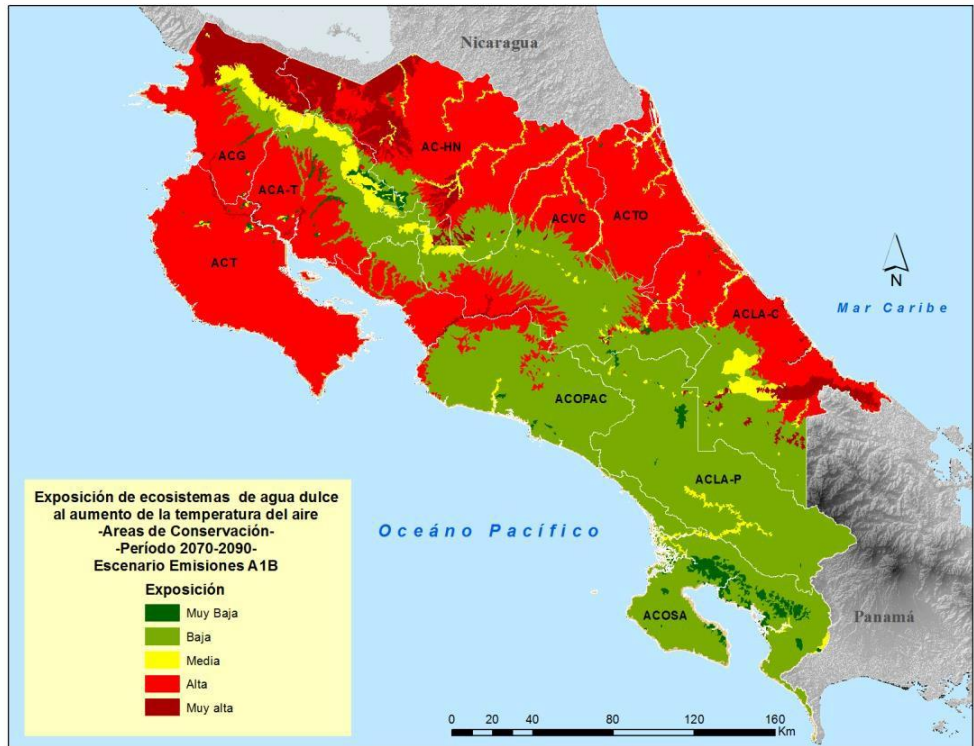


Figura 12. Niveles de exposición de los sistemas de agua dulce, por AC, al aumento de temperatura, período 2070-2099, EE A1B

Solo la tercera parte de la superficie del territorio del conjunto de ASP (y por ende, de los sistemas de agua dulce que contiene) tiene una exposición alta o muy alta al aumento de la temperatura y reducción de la precipitación, la mayor parte de la superficie (60%) presenta valores de exposición bajos o muy bajos (Figura 13).

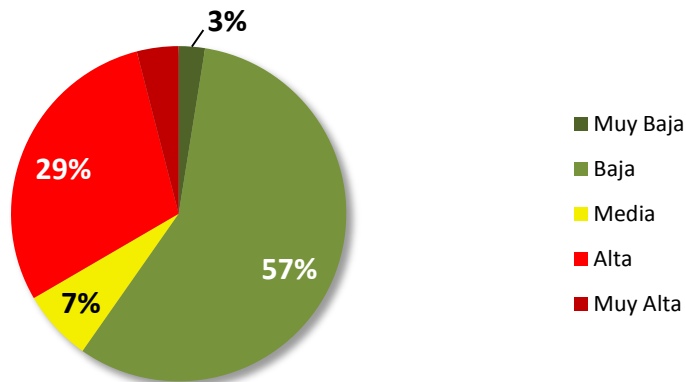


Figura 13. Proporción de la superficie de las ASP del país, según su nivel de exposición al aumento de la temperatura del aire y disminución de la precipitación, período 2070-2099, EE A1B

La Figura 14 muestra la exposición de ecosistemas de agua dulce al aumento de la temperatura por AC considerando solamente la superficie relativa a las ASP. Cuatro AC

(ACT, ACTo, ACA- HN y ACG) presentan valores importantes de exposición más si consideramos que son ASP con el objetivo de proteger sistemas de humedales. Otras áreas con alguna importancia de exposición (media a alta) son ACT, ACCVC, ACLA-C y ACOPAP, ACLA-P y ACOSA presenta valores de exposición de bajas a muy bajas. La Figura 15 muestra un mapa con la distribución de exposición según el ASP y el Anexo 8 presenta la exposición para cada una de las ASP de manera individual.

Catorce corredores presenta niveles de exposición alto (>80%), cinco corredores presentan valores entre el 38% y 60% y el resto muestra valores de exposición en escalas de bajo a muy bajo (Figura 15).

Los resultados de acuerdo a la ubicación en las AC guardan resultados similares a los obtenidos por AC donde los corredores que conectan ASP en ACT, ACTo, ACA-HN y ACG son los más afectados. El Anexo 9 presenta la exposición de manera individual para cada CB.

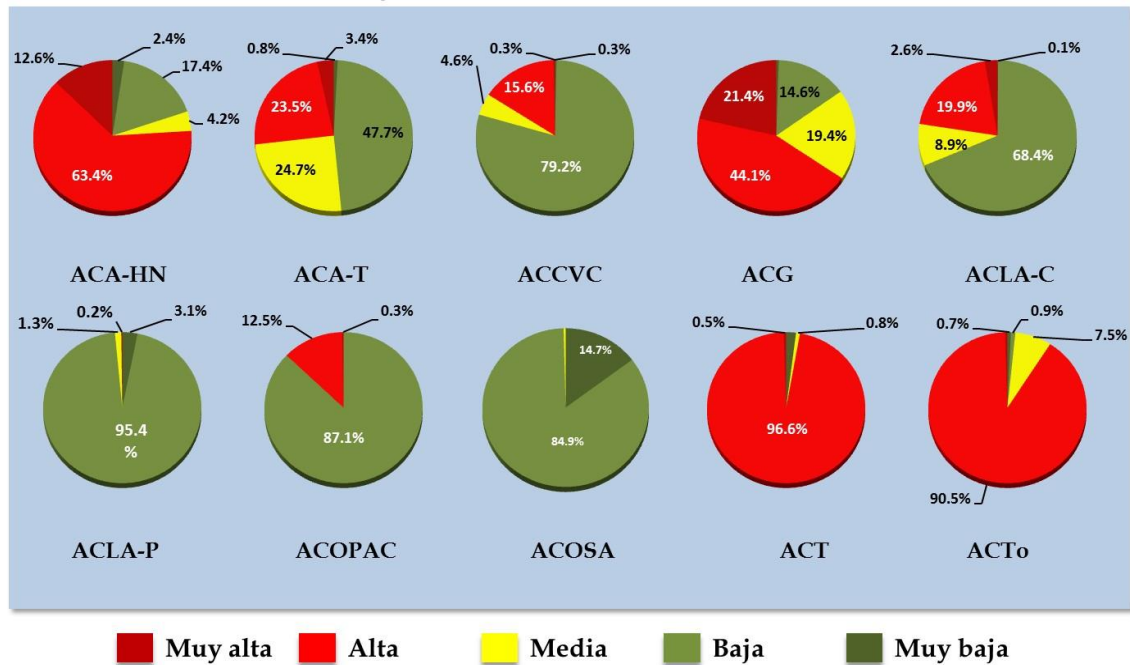


Figura 14. Niveles de exposición de los sistemas de agua dulce en las ASP, por AC, según su nivel de exposición al aumento de la temperatura, período 2070-2099, EE A1B

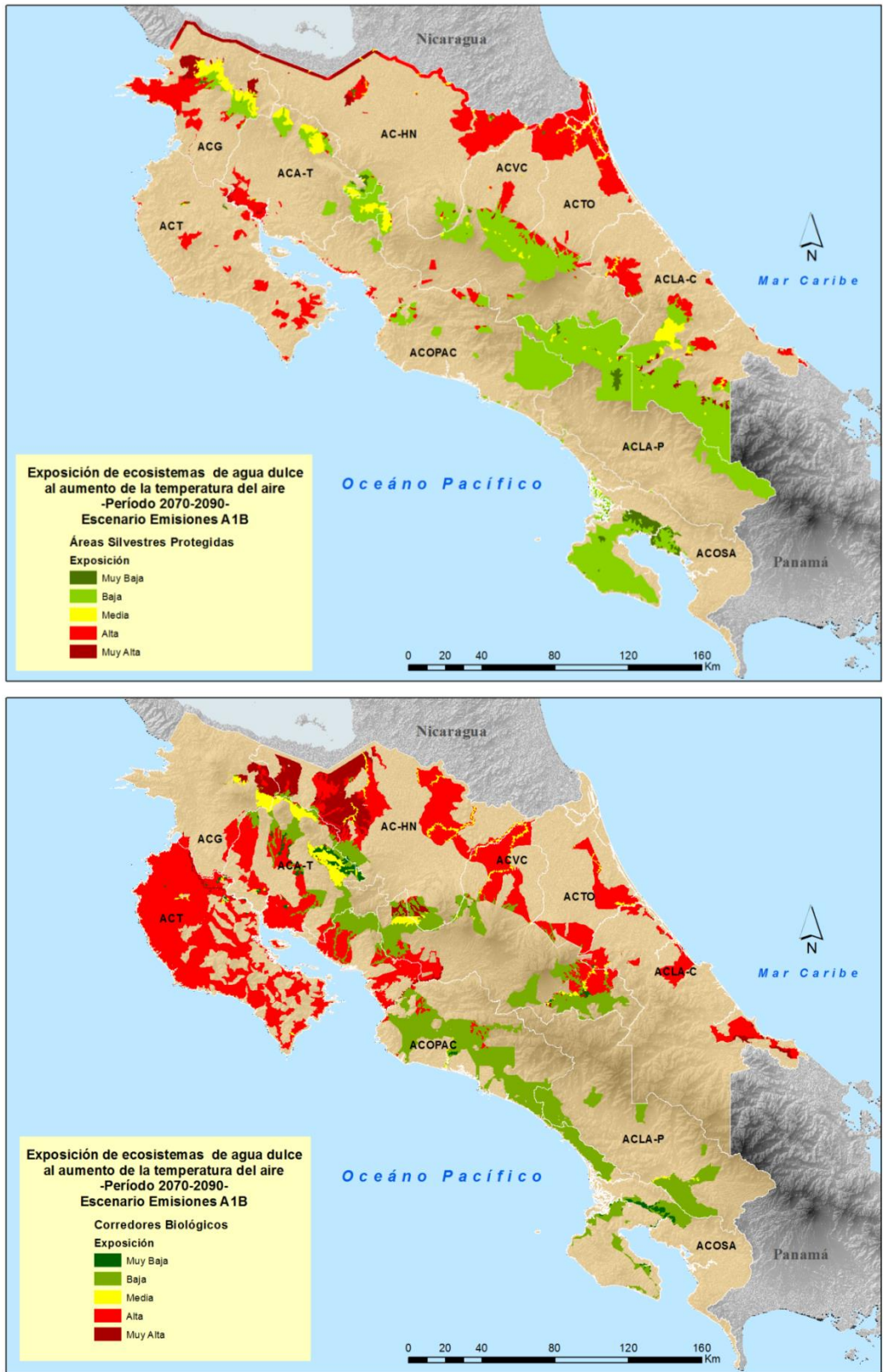


Figura 15. Niveles de exposición de los sistemas de agua dulce en las ASP (arriba) y los CB (abajo) al aumento de la temperatura, período 2070-2099, escenario de emisiones A1B

Impacto potencial del cambio climático en la vegetación arbórea

Los cambios en la vegetación arbórea fueron simulados empleando el Modelo *Mapped Atmosphere-Plant-Soil System* (MAPPS). Este modelo simula el saldo promedio de agua a largo plazo, los tipos de vegetación potencial, y los parámetros biofísicos como el índice de área foliar, en base a los cambios de disponibilidad de agua y energía (Neilson 1995). Este análisis de impacto potencial del cambio climático en la vegetación arbórea se hizo identificando aquellas áreas donde el índice de área foliar se reduce más del 20% en relación al período de referencia (1961-1990). El modelo parte de la distribución de cuatro tipos de vegetación forestal modelada para el periodo de referencia (Figura 16).



Figura 16. Distribución de tipos de vegetación potencial arbórea de Costa Rica modelados para el periodo 1961-1990

Al considerar el impacto potencial de los cambios de precipitación y temperatura sobre la vegetación arbórea del país, bajo una probabilidad mayor al 66%, se estima que para el periodo 2070-2099 del 40 al 52% de la extensión de la vegetación forestal habría cambiado de un tipo a otro, según se considere el EE B1 o el EE A2 (Figura 17 y Figura 18). Es decir, se estima que la mayor parte de la vegetación arbórea del país tendrá cambios en su densidad y estructura o habrá transitado a un tipo de vegetación con mayor predominancia de arbustos y pastos. La vertiente del Pacífico, principalmente el Pacífico Norte y las zonas bajas, tiene los mayores niveles de impacto potencial en la vegetación arbórea a nivel nacional.

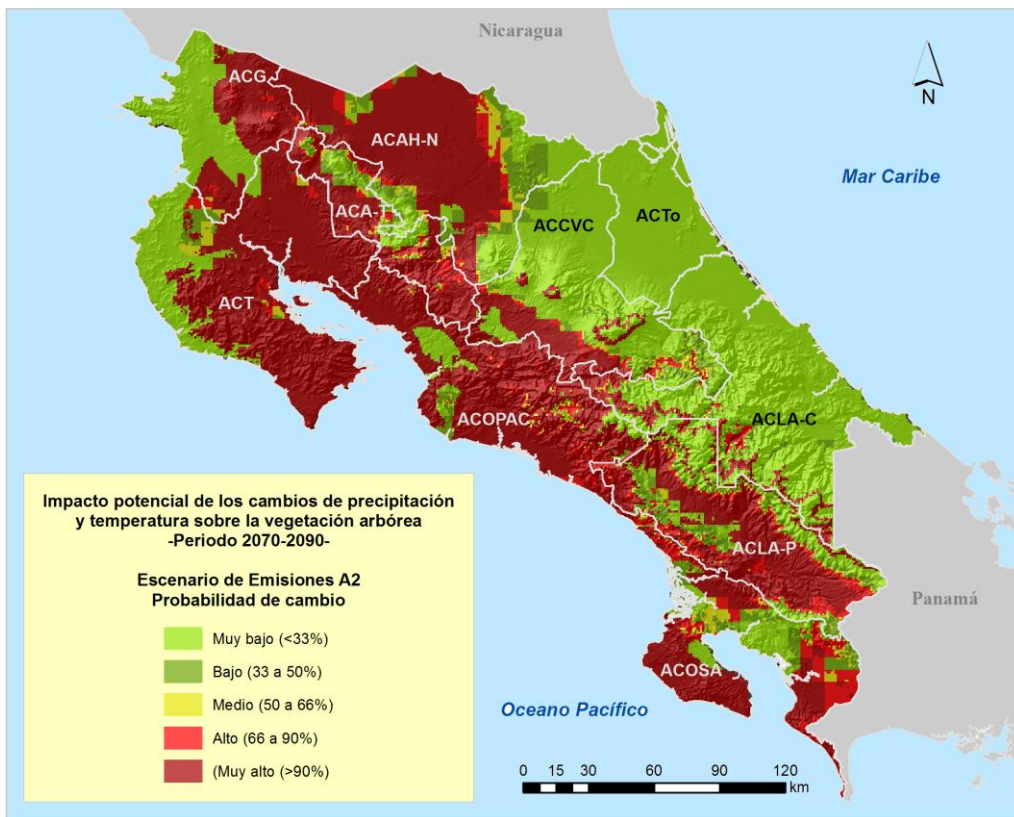
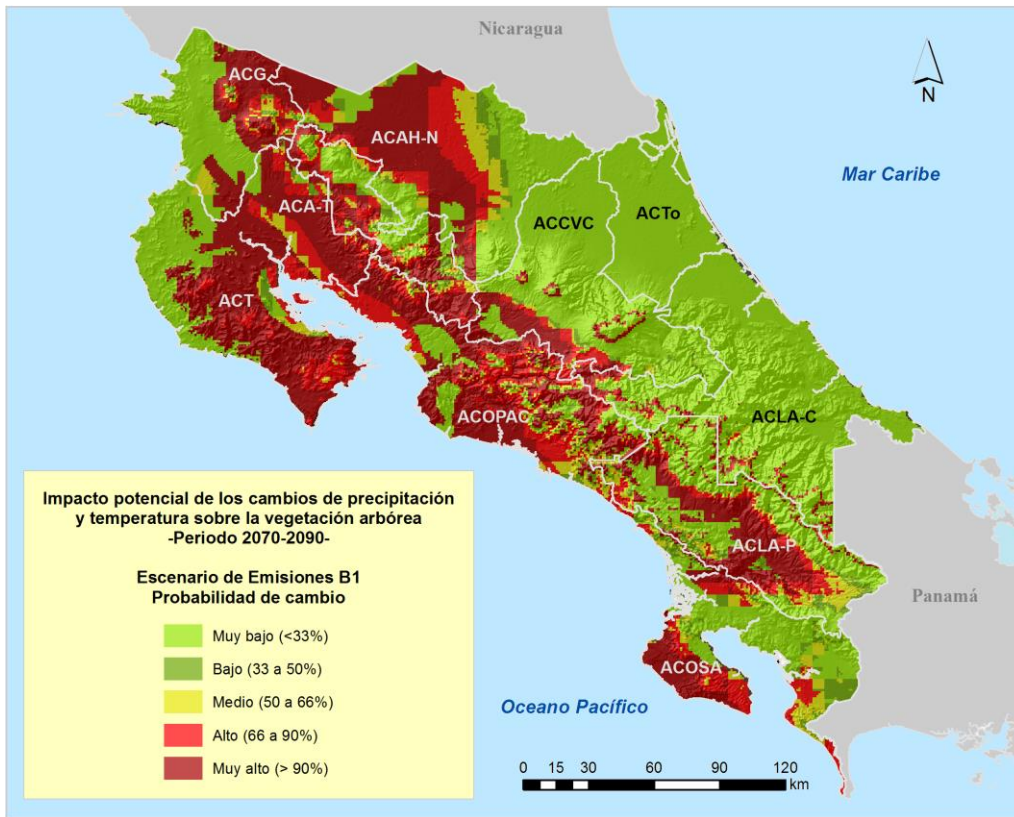


Figura 17. Impacto potencial de los cambios de precipitación y temperatura en la vegetación arbórea de Costa Rica, periodo 2070-2099 (arriba EE B1; abajo EE A2)

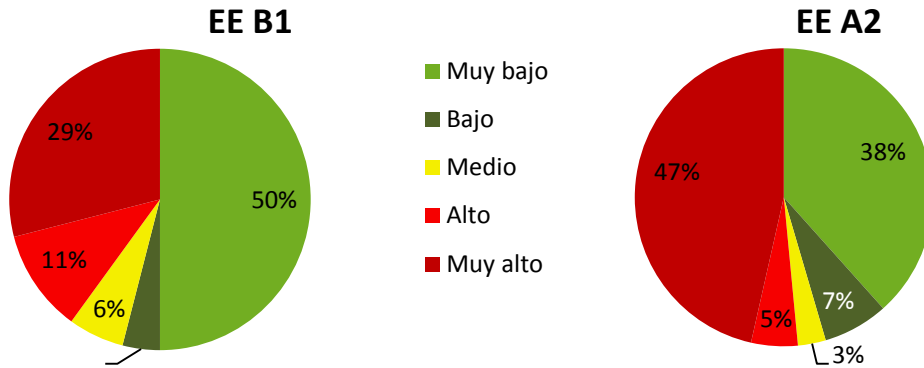


Figura 18. Impacto potencial de los cambios de precipitación y temperatura en la vegetación arbórea de todo el país, periodo 2070-2099, EEB1 (izquierda) y EE B2 (derecha)

Tres áreas de conservación de la vertiente del Pacífico tienen proporcionalmente las mayores extensiones de vegetación arbórea con probabilidad alta o muy alta de cambio en ambos escenarios de emisiones. ACOPAC tiene la mayor extensión de la vegetación arbórea con probabilidad alta o muy alta de cambio en ambos EE (73 o 83% en los EE B1 y A2 respectivamente). En EE A2, son tres las AC (sumándose ACT y ACA-T) que tienen 70% o más de la extensión de su vegetación arbórea con una probabilidad alta o muy alta de cambio (Figura 19).

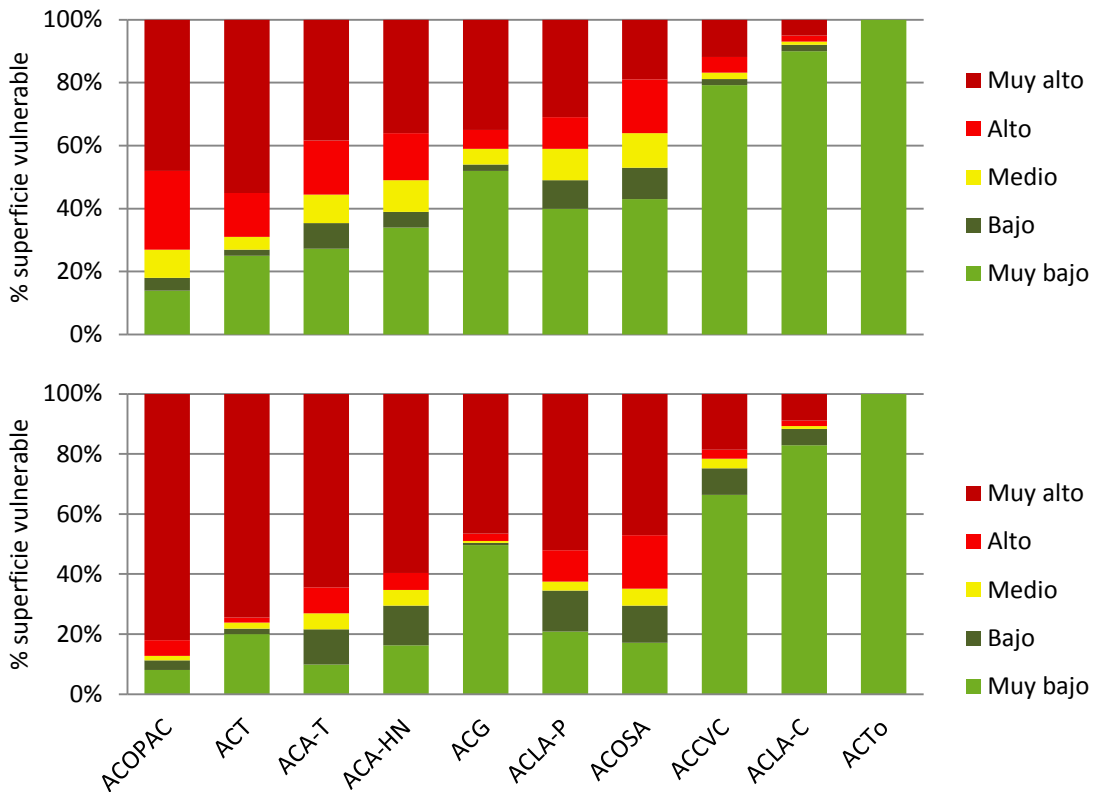


Figura 19. Impacto potencial de los cambios de precipitación y temperatura en la vegetación arbórea de todo el país por AC, periodo 2070-2099, EE B1 (arriba) y EE A2 (abajo)

Si se considera solo la extensión de vegetación arbórea dentro del conjunto de las ASP del país, la proporción bajo niveles altos o muy altos de impacto potencial varía entre 25 y 34% para EE B1 y EE A2 respectivamente (Figura 20); probablemente porque las ASP de mayor tamaño están en las zonas altas. ACT tiene la mayor proporción de extensión de su vegetación arbórea susceptible al cambio dentro de sus ASP (86% y 93%, para los escenarios EE B1 y EE A2 respectivamente) (Figura 21).

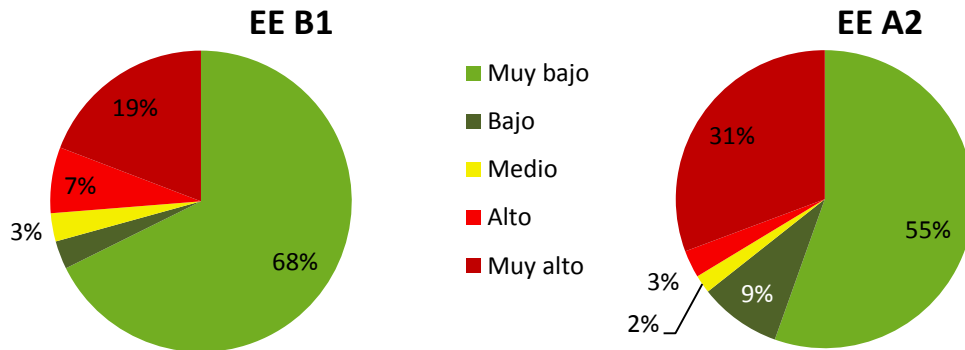


Figura 20. Proporción de superficie del conjunto de ASP bajo diferentes niveles de impacto potencial de los cambios en la temperatura y precipitación en la vegetación arbórea, período 2070-2099, EE B1 y EE A2

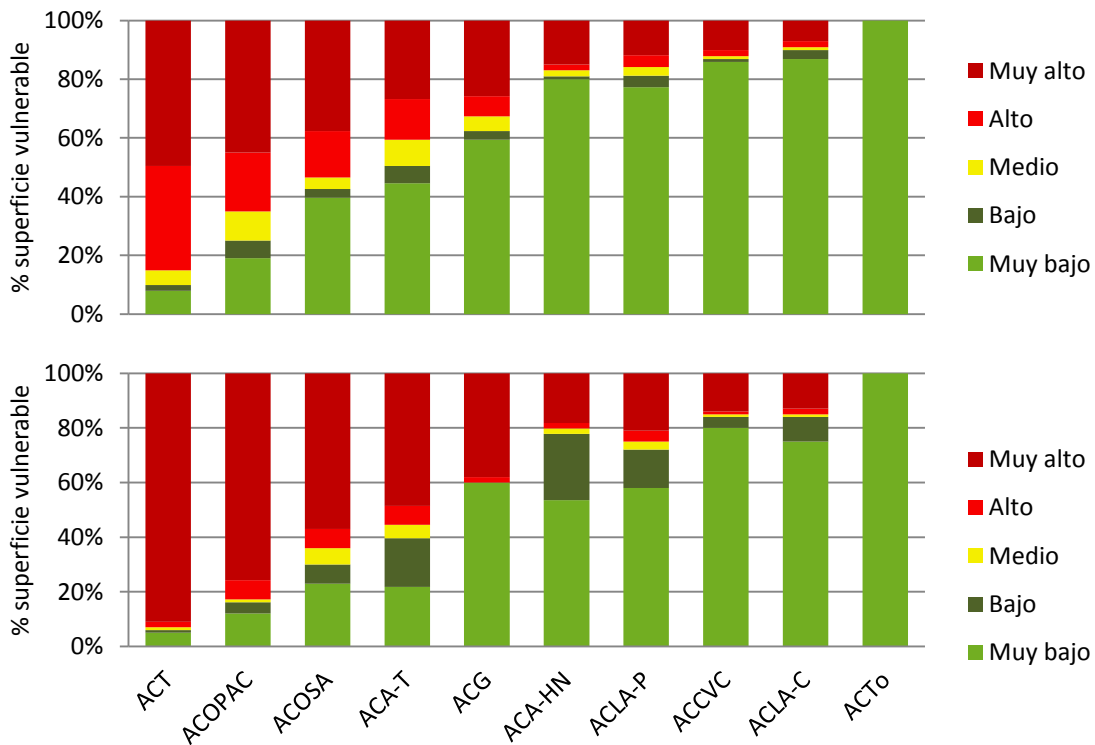


Figura 21. Impacto potencial de cambios de precipitación y temperatura en la vegetación arbórea en las ASP, agrupadas por AC, período 2070-2099, EE B1 (arriba) y EE A2 (abajo)

La Figura 22 muestra el mapa de las ASP con sus valores de impacto potencial El Anexo 10 muestra los valores de impacto potencial por cada ASP de manera individual.

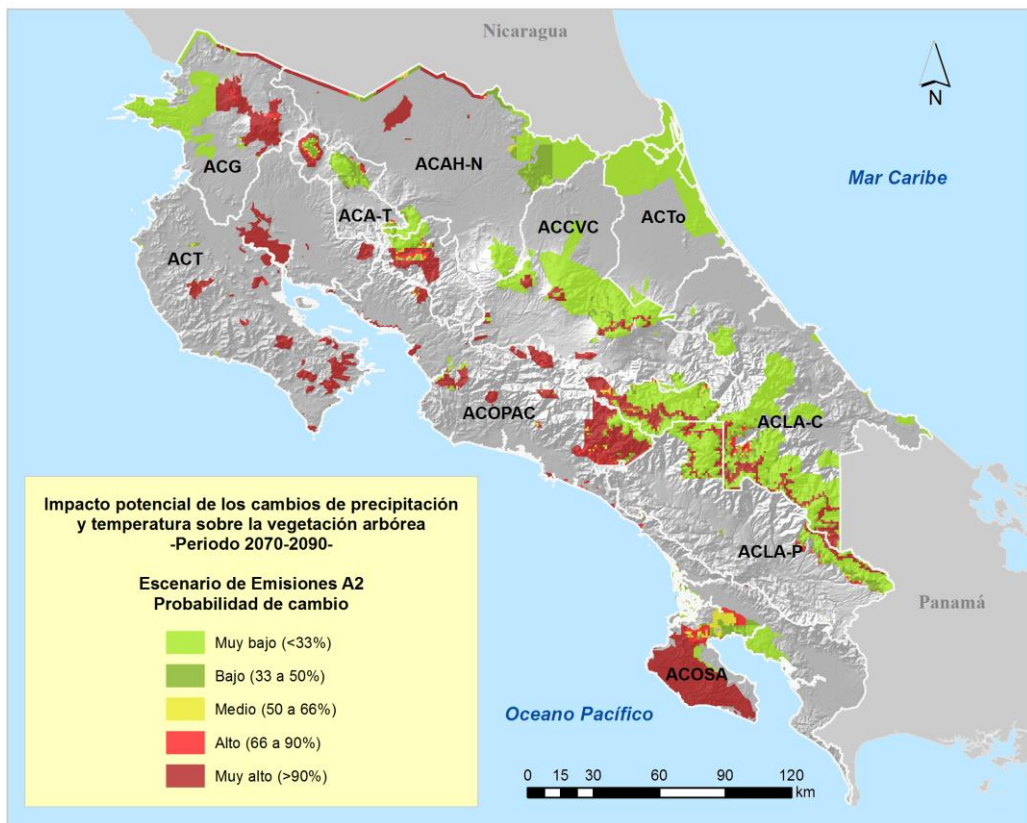
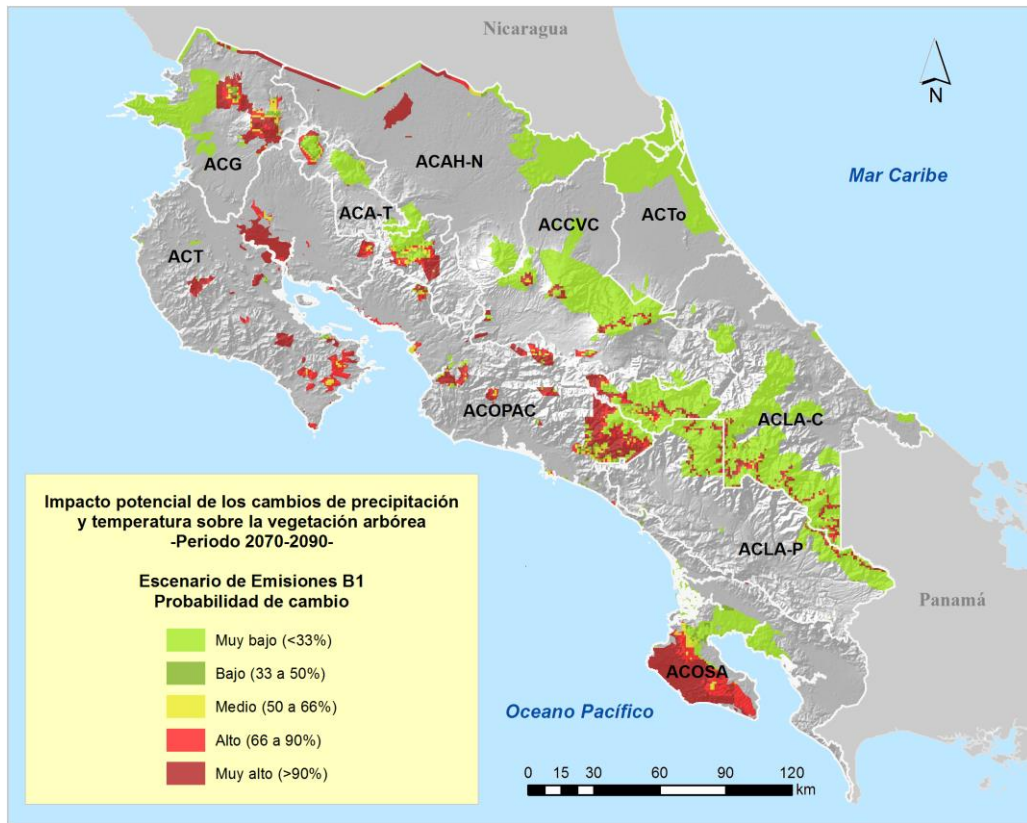


Figura 22. Niveles de impacto potencial de los cambios de precipitación y temperatura en la vegetación arbórea de las ASP periodo 2070-2099, (arriba EE B1; abajo EE A2)

Considerando los impactos potenciales en los niveles alto y muy alto, entre el 48 y 59% de la extensión de la vegetación arbórea de los CB tiene probabilidad de cambio, para EE B1 y A2 respectivamente.

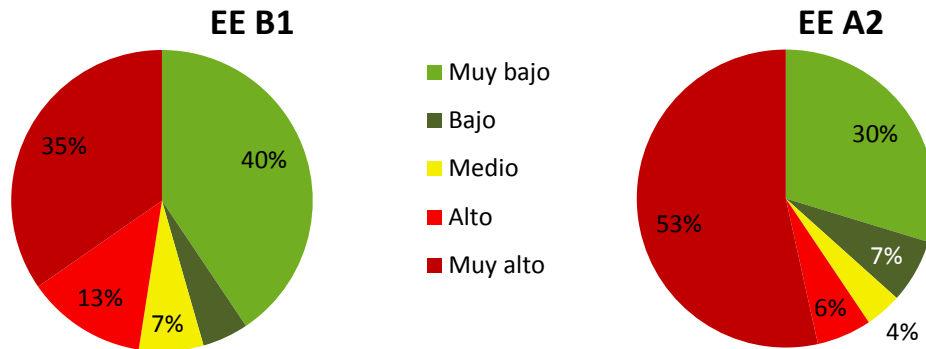


Figura 23. Proporción de superficie del conjunto de CB bajo diferentes niveles de impacto potencial de los cambios en la temperatura y precipitación en la vegetación arbórea, período 2070-2099, EE B1 y EE A2

Los CB que presentan valores de impacto de alto a muy alto están principalmente en la vertiente del Pacífico, aunque se incluyen algunos que representan gradientes altitudinales importantes como los localizados en la Cordillera Volcánica Central o en el Pacífico sur (Figura 25).

El Anexo 11 muestra los valores de impacto potencial por cada CB de manera individual para EE B1 y EE A2.

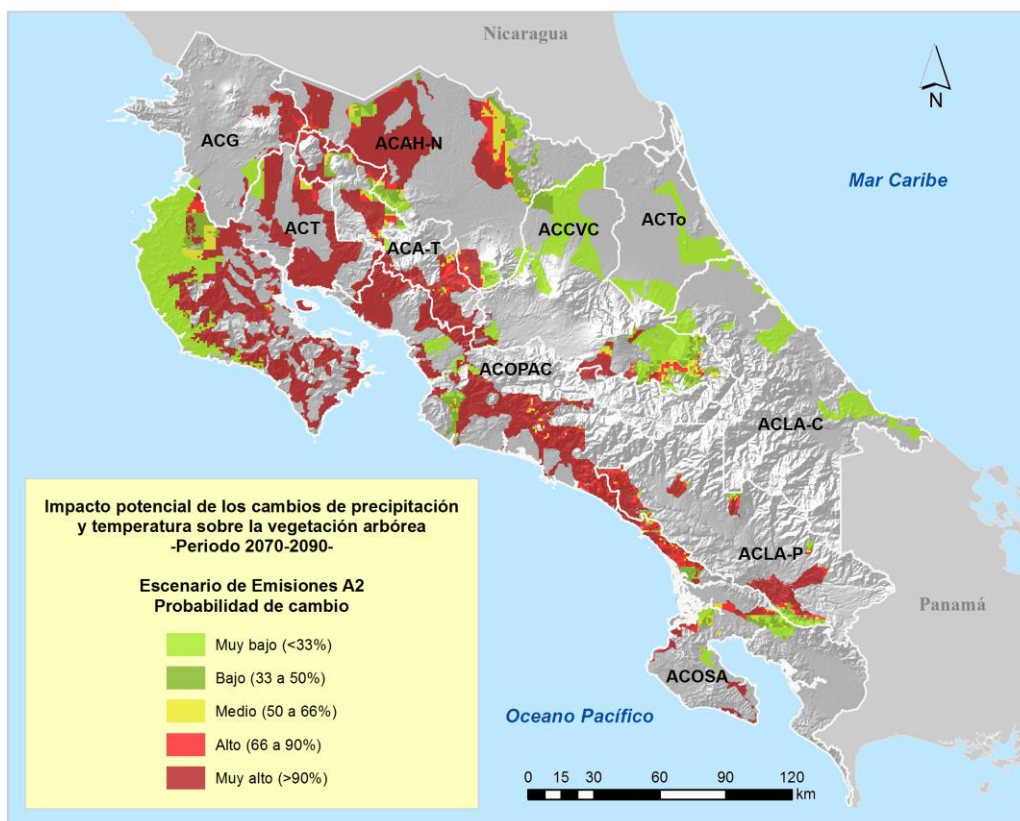
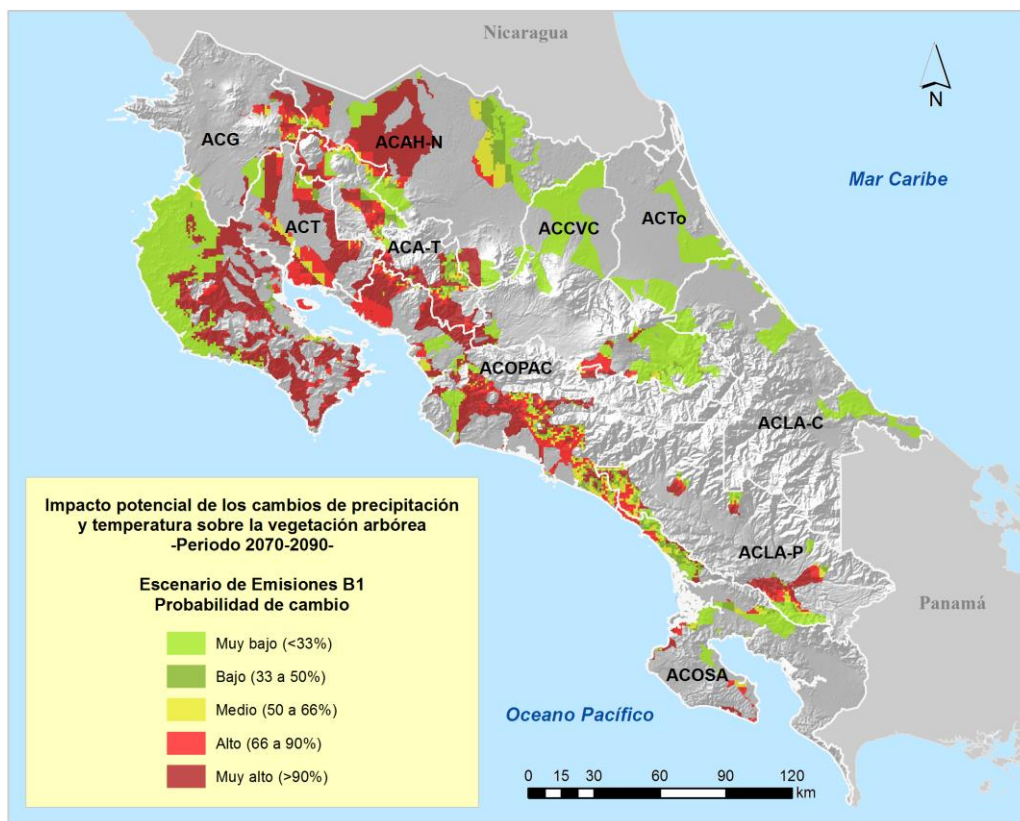


Figura 24. Impacto potencial de los cambios de precipitación y temperatura en la vegetación arbórea en los CB (arriba EE B1; abajo EE A2)

Impacto potencial del cambio climático en la distribución de especies de flora y fauna

Especies terrestres

La mayoría de las especies terrestres seleccionadas tendrán cambios en su distribución potencial futura, estos cambios consisten sobre todo en la reducción de su hábitat. Pocas especies tendrían un aumento de área de hábitat futuro, pero aún en estos casos, tendrían pérdida de hábitat en ciertas zonas de distribución.

Lo mismo ocurre al observar a las especies bajo los distintos criterios de conservación. En general, los resultados del análisis señalan que en el futuro habrá una reducción en el porcentaje de área de ASP y CB que protegen el hábitat de las especies seleccionadas para este análisis.

Un ejemplo claro lo provee el análisis de la distribución del hábitat futuro de las **especies endémicas de fauna**, esperándose una reducción significativa de las áreas que concentran hábitat para el 80 - 100% de estas especies (Figura 26, cuadros 6 y 7). Entre 1950-2000 (periodo de referencia), quince ASP y cuatro CB tenían zonas que protegían hábitats del 80 a 100% de las especies de fauna endémica evaluadas (zonas de categoría 1). Según el análisis realizado para el periodo 2010 - 2030, solo un ASP (el RVS Jaguarundi) estaría ganando zonas de categoría 1, todo el resto de las ASP y todos los CB tendrían una reducción de ese tipo de zonas. El ejemplo más crítico es el Parque Nacional La Amistad, que perdería todas sus zonas de alta concentración de especies endémicas de fauna.

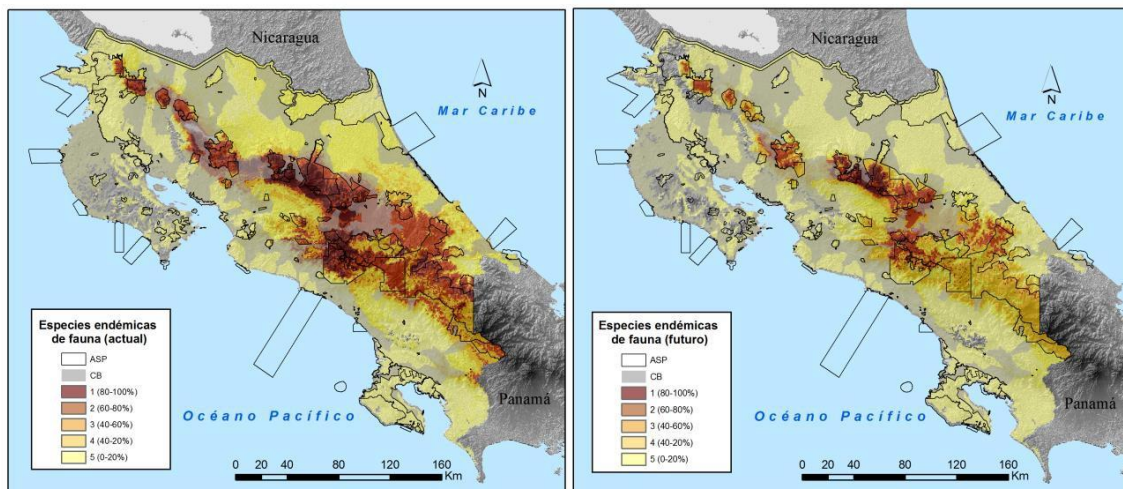


Figura 25. Cambio en el número de especies (porcentaje) endémicas de fauna encontradas dentro y fuera de ASP y CB en el periodo de referencia (1950 - 2000) y en el futuro (2010 - 2039), EE A1B

Cuadro 6. Impacto potencial del cambio climático en las áreas de alta concentración de hábitat de especies (80-100%) de fauna endémica en ASP

Área de Conserv.	Área Silvestre Protegida	Hábitat categoría 1 (ha)		% área futuro	Impacto potencial
		actual	futuro		
ACA-HN	PN Juan Castro Blanco	10.816	5.070	50	3
ACA-T	ZP Arenal - Monteverde	8.028	761	10	5
ACCVC	PN Braulio Carillo	32.195	14.788	46	3
	PN Volcán Poás	6.338	4.901	77	2
	RF Cordillera Volcánica Central	29.913	9.126	31	4
	RF Grecia	2.197	1.352	62	2
	RVS Jaguarundi (privado)	85	169	200	1
	ZP El Chayote	592	254	43	3
	ZP Río Toro	3.549	1.859	52	3
ACG	PN Rincón de la Vieja	4.648	85	2	5
ACLA-C	PN Internacional La Amistad	21.463	85	0	5
	RF Río Macho	3.634	254	7	5
ACLA-P	PN Tapantí-M. Cerro la Muerte	18.844	2.704	14	5
	ZP Río Navarro-Río Sombrero	4.732	1.606	34	4
ACOPAC	RF Los Santos	22.562	1.183	5	5

Cuadro 7. Impacto potencial del cambio climático en las áreas de alta concentración de hábitat de especies (80-100%) de fauna endémica en CB

Área de Conserv.	Corredor Biológico	Hábitat categoría 1 (ha)		% área futuro	Impacto potencial
		actual	futuro		
ACCVC	Cobri Surac	4.479	85	2	5
	Paso de las Nubes	21.041	2.197	10	5
	San Juan La Selva	8.112	6.253	77	2
	Volcánica Central Talamanca	9.295	592	6	5

En relación a las **especies de fauna de importancia nacional**, se observa un alto porcentaje de hábitat de especies (categoría 1) en varias AC en el país, pero en el futuro se observa una reducción del hábitat de la mayoría de las especies y un cambio en los sitios de mayor concentración de biodiversidad (Figura 27). El ACCVC tiene la mayor representación de sitios de categoría 1 para las especies de fauna de importancia nacional dentro de ASP (Cuadro 8); las ASP más críticas son la Zona Protectora de la Cuenca del Río Abangares y el Refugio de Vida Silvestre Barra del Colorado, donde se reduce más del 10% de su hábitat actual. Por otro lado, la Zona Protectora Tenorio y los Refugios de Vida Silvestre Bosque Alegre y Nogal son ASP donde estarían ganando zonas de alta biodiversidad en el futuro. Por otro lado, en todos los CB que conservan zonas de categoría 1 para especies de fauna de importancia nacional hay una reducción de área de hábitat en el futuro (Cuadro 9).

Cuadro 8. Impacto potencial del cambio climático en las áreas de alta concentración de hábitat de especies (80-100%) de fauna de importancia nacional en ASP

Área de Conservación	Área Silvestre Protegida	Hábitat cat. 1 (ha)		% área futuro	Impacto potencial
		actual	futuro		
ACA-HN	PN Arenal	11.999	11.830	99	1
	PN Juan Castro Blanco	9.380	2.620	28	4
	RF Zona Emerg Volcán Arenal	338	254	75	2
	RVS Maquenque (mixto)	21.970	10.056	46	3
ACA-T	PN Volcán Tenorio	13.351	10.985	82	1
	ZP Arenal-Monteverde	28.477	20.449	72	2
	ZP Cuenca del Río Abangares	2.873	254	9	5
	ZP Miravalles	11.661	10.394	89	1
ACCVC	ZP Tenorio	5.577	5.746	103	1
	Monumento Nal. Guayabo	338	169	50	3
	PN Braulio Carrillo	19.604	6.422	33	4
	RB Alberto Manuel Brenes	6.929	1.775	26	4
	RF Cordillera Volcánica Central	23998	14.112	59	3
	RVS Bosque Alegre (mixto)	676	845	125	1
	RVS La Marta (privado)	1.268	254	20	5
	RVS La Tirimbina (privado)	338	85	25	4
	RVS Nogal (privado)	169	169	100	1
	ZP Cuenca del Río Tuis	2.958	1.944	66	2
ACG	ZP La Selva	1.690	1.437	85	1
	Áreas anexas a ASP	5.662	2.113	37	4
ACLA-C	PN Guanacaste	7.521	3.042	40	3
	PN Rincón de la Vieja	13.351	12.506	94	1
ACLA-C	PN Barbilla	11.492	7.605	66	2
	ZP Cuenca del Río Siquirres	423	85	20	5
	ZP Cuenca del Río Banano	9.042	5.070	56	3
ACLA-P	PN Internacional La Amistad	45.292	6.507	14	5
	RF Río Macho	11.323	2.282	20	4
ACTo	PN Tapantí-M. Cerro la Muerte	7.774	2.451	32	4
	ZP Acuíferos Guácimo y Pococí	4.225	3.211	76	2
	RVS Barra del Colorado (mixto)	27.040	1.690	6	5

Cuadro 9. Impacto potencial del cambio climático en las áreas de alta concentración de hábitat de especies (80-100%) de fauna de importancia nacional en CB

Área de Conservación	Corredor Biológico	Hábitat cat. 1 (ha)		% área futuro	Impacto potencial
		actual	futuro		
ACA-HN	Las Camelias	2.366	845	36	4
ACA-T	Arenal-Tenorio	31.265	17.745	57	3
	Miravalles-Rincón de la Vieja	4.225	1.437	34	4
	Miravalles-Santa Rosa	1.437	85	6	5
	Tenorio-Miravalles	10.816	5.070	47	3
ACG	Rincón Rain Forest	6.084	761	13	5
ACLA-C	Cordillera a Cordillera	1.099	85	8	5
ACOPAC	Osreo	1.690	85	5	5
ACTo	Guácimo	24.928	8.112	33	4
ACOPAC (ACA-T)	Pájaro Campana	24.336	2.873	12	5
ACCVC (ACA-HN)	Paso de Las Nubes	29.829	10.563	35	4
ACA-HN (ACA-T)	Ruta Los Malecu Medio Queso	55.263	13.943	25	4
ACA-HN (ACCVC)	San Juan La Selva	134.778	66.586	49	3
(ACLA-C)	Volcánica Central Talamanca	75.628	32.786	43	3
(ACCVC)					

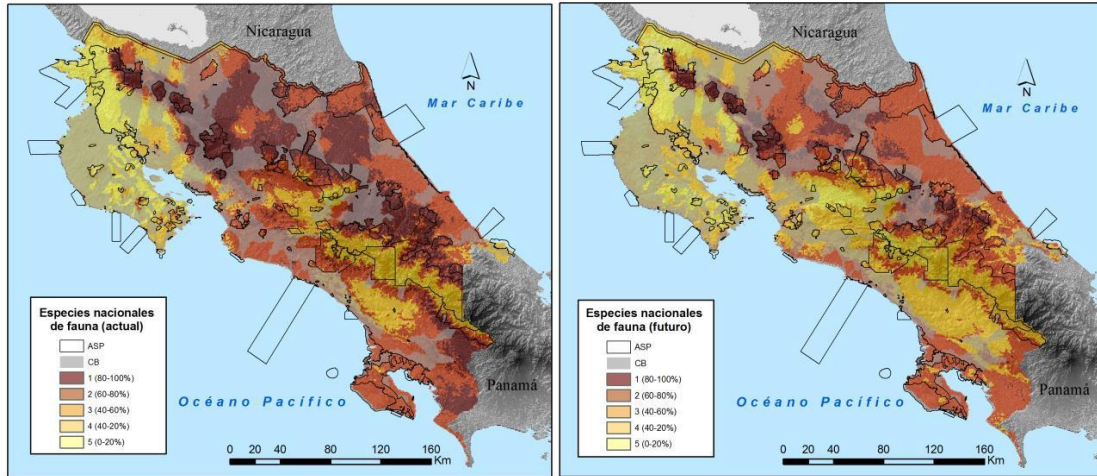


Figura 26. Cambio de número de especies (porcentaje) de fauna de importancia nacional dentro y fuera de ASP y CB en el periodo de referencia (1950 - 2000) y en el futuro (2010 - 2039), EE A1B

Los resultados respecto a las especies de flora de importancia nacional son contrastantes. (Figura 28). El análisis estima que en el futuro las ASP que actualmente cuentan con alta concentración de hábitat de **especies de flora de importancia nacional**, que están principalmente en ACOSA, conservarán esa concentración y en algunos casos la aumentarán (Cuadro 10). Asimismo, en tres de seis corredores aumentará la proporción de áreas con alta concentración de hábitat para estas especies, dos en ACOSA y uno en ACLA-P (Cuadro 11).

Cuadro 10. Impacto potencial del cambio climático en las áreas de alta concentración de hábitat de especies (80-100%) de flora de importancia nacional en ASP

Área de Conservación	Área Silvestre Protegida	Hábitat cat. 1 (ha)		% área futuro	Impacto potencial
		actual	futuro		
ACOPAC	RF Los Santos	592	507	86	1
ACOSA	PN Corcovado	11.915	25.773	216	1
	PN Piedras Blancas	4.986	10.056	202	1
	RF Golfo Dulce	22.308	50.447	226	1
	RVS Golfito (mixto)	1.099	1.183	108	1
	RVS Hacienda Copano (priv.)	85	254	300	1
	RVS Osa (mixto)	930	845	91	1

Cuadro 11. Impacto potencial del cambio climático en las áreas de alta concentración de hábitat de especies (80-100%) de flora de importancia nacional en CB

Área de Conservación	Corredor Biológico	Hábitat cat. 1 (ha)		% área futuro	Impacto potencial
		Actual	Futuro		
ACLA-P	Fila Langusiana	1.606	6.760	421	1
ACOPAC	Aguirre	1.352	254	19	5
	Paso de las Lapas	423	85	20	4
	Santos	761	169	22	4
ACOSA	Osa	15.295	22.900	150	1
ACOSA (ACLA-P) (ACOPAC)	Paso de la Danta	3.465	4.141	120	1

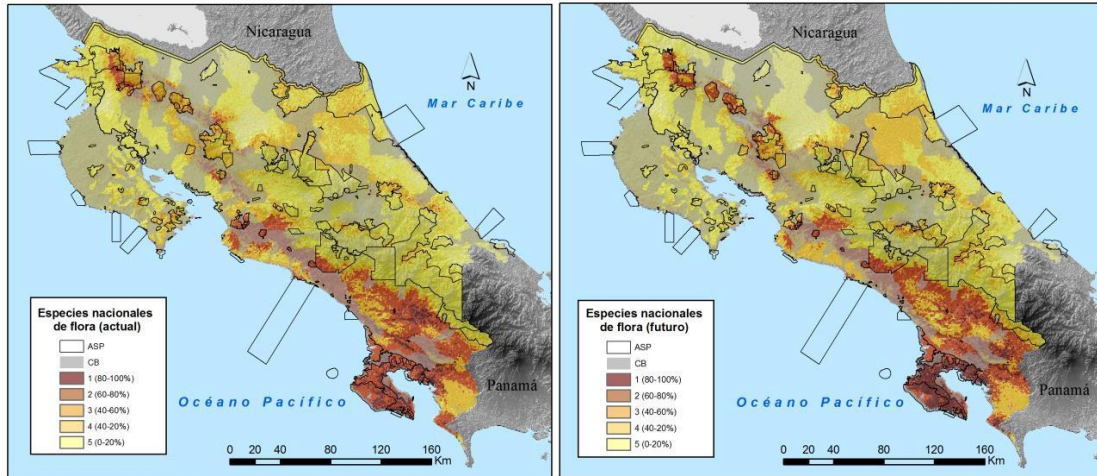


Figura 27. Cambio de número de especies (porcentaje) de flora de importancia nacional dentro y fuera de ASP y CB en el periodo de referencia (1950 - 2000) y en el futuro (2010 - 2039), EE A1B

En la actualidad hay muy pocas áreas con altas concentraciones de hábitat de **especies globalmente amenazadas de fauna** (80 - 100% de especies, categoría 1), se observan más sitios que protegen del 60 al 80% de las especies (categoría 2, Figura 29). En el futuro, se reducen las zonas con categoría 2, no obstante, el AC más importante para este criterio corresponde también al ACCVC con tres ASP (Grecia, Jardines de la Catarata y Volcán Poás) y dos CB (Paso de las Nubes y San Juan La Selva), así como también ACAHN con dos CB de importancia.

Las categorías de hábitat de las **especies globalmente amenazadas de flora** (Figura 30) son bajas (categorías 3 y 4), en el futuro estas categorías se reducen aún más, y las áreas de distribución de las especies que se mantienen en el futuro se encuentran principalmente fuera del sistema de ASP y CB.

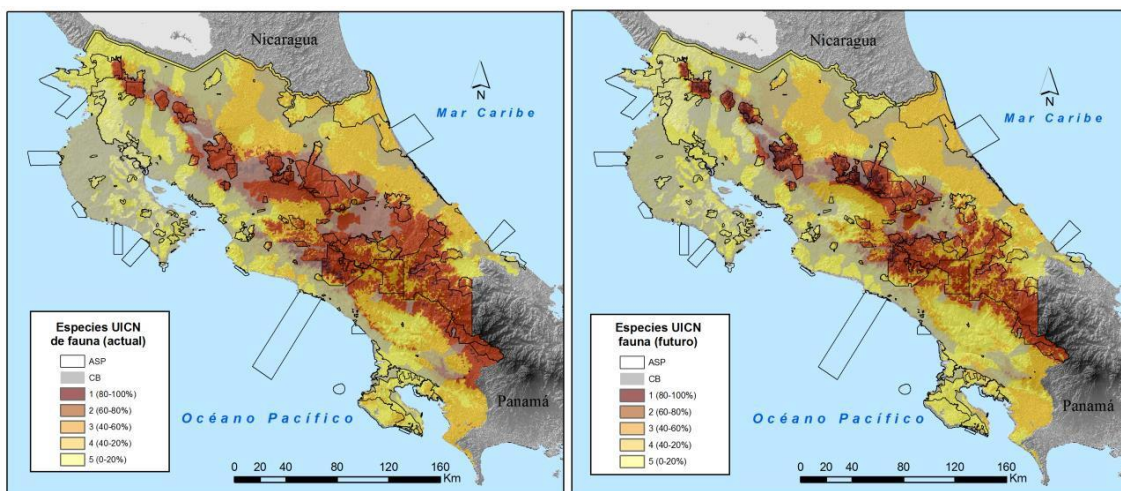


Figura 28. Cambio de número de especies (porcentaje) de fauna globalmente amenazada dentro y fuera de ASP y CB en el periodo de referencia (1950 - 2000) y en el futuro (2010 - 2039), EE A1B

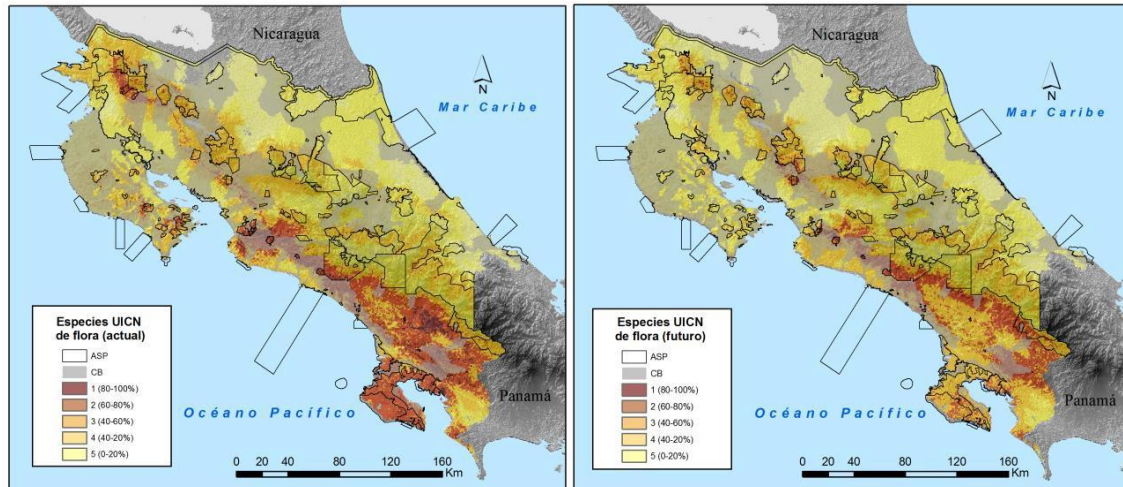


Figura 29. Cambio de número de especies (porcentaje) de flora globalmente amenazada dentro y fuera de ASP y CB en el periodo de referencia (1950 - 2000) y en el futuro (2010 - 2039), EE A1B

Especies dulceacuícolas

Este estudio mostró un escenario pesimista para la sobrevivencia de los organismos dulceacuícolas modelados, observándose una gran pérdida de sus hábitats. Varios autores (Sala et al. 2000, Xenopoulos et al. 2005, Döll & Zhang 2010) predicen que la distribución de los organismos que habitan ecosistemas acuáticos serán fuertemente afectados por el cambio climático por el aumento de temperatura y cambios en los patrones de precipitación, dando como resultado inundaciones y sequías más frecuentes.

Con el objetivo de entender el efecto del cambio climático sobre especies dulceacuícolas (peces y macroinvertebrados), es necesario conocer más a fondo la ecología de estos organismos; desde su capacidad de dispersión (Kappes & Haase 2012) hasta la respuesta que tienen ante situaciones de estrés, ya sean humanas y/o naturales (Ormerod et al. 2010).

Los resultados permiten concluir que hay zonas específicas dentro de las ASP y CB que albergan el mayor porcentaje de hábitat potencial de las especies analizadas. No obstante, en el futuro estas áreas disminuirán y serán modificadas y en algunos casos, reemplazadas por otros sitios. Como consecuencia, será necesario identificar las áreas prioritarias de alta diversidad de especies y extender el sistema de ASP y CB que permitan mantener una gran proporción y representatividad de la biodiversidad en el futuro.

Los cambios potenciales de la distribución de las especies seleccionadas en este estudio, señalando las zonas de pérdida y ganancia de hábitat, se muestran en diferentes anexos: de flora (Anexo 12), anfibios (Anexo 13), reptiles (Anexo 14), aves (Anexo 15) y peces y macroinvertebrados (Anexo 16).

Los resultados concuerdan con la literatura (Schneider & Root 2002, Thomas et al. 2004, Lovejoy & Hannah 2005, Parmesan 2006) que señala que los distintos componentes del cambio climático afectarán de forma diversa a todas las escalas de la biodiversidad. No obstante desde el nivel más básico de la biodiversidad, el cambio climático tendrá efectos directos en la disminución de la diversidad genética de poblaciones debido a pérdidas de especies o cambios en las distribuciones de las mismas, afectando la resiliencia y el funcionamiento de los ecosistemas (Botkin et al. 2007, Meyers & Bull 2002).

Impacto potencial del cambio climático en la oferta de agua para consumo humano

La provisión de agua fue evaluada según su actual consumo para uso humano, considerando solo las ASP y CB que contienen zonas de recarga de tomas de agua superficiales documentadas por el Registro Nacional de Concesiones de Agua y Cauces (Dirección de Aguas - MINAET 2012). La Figura 30 muestra la oferta de agua proveniente de ASP y CB documentada, por lo que el análisis debe ser considerado parcial en relación a la extensión total del conjunto de ASP y CB del país.

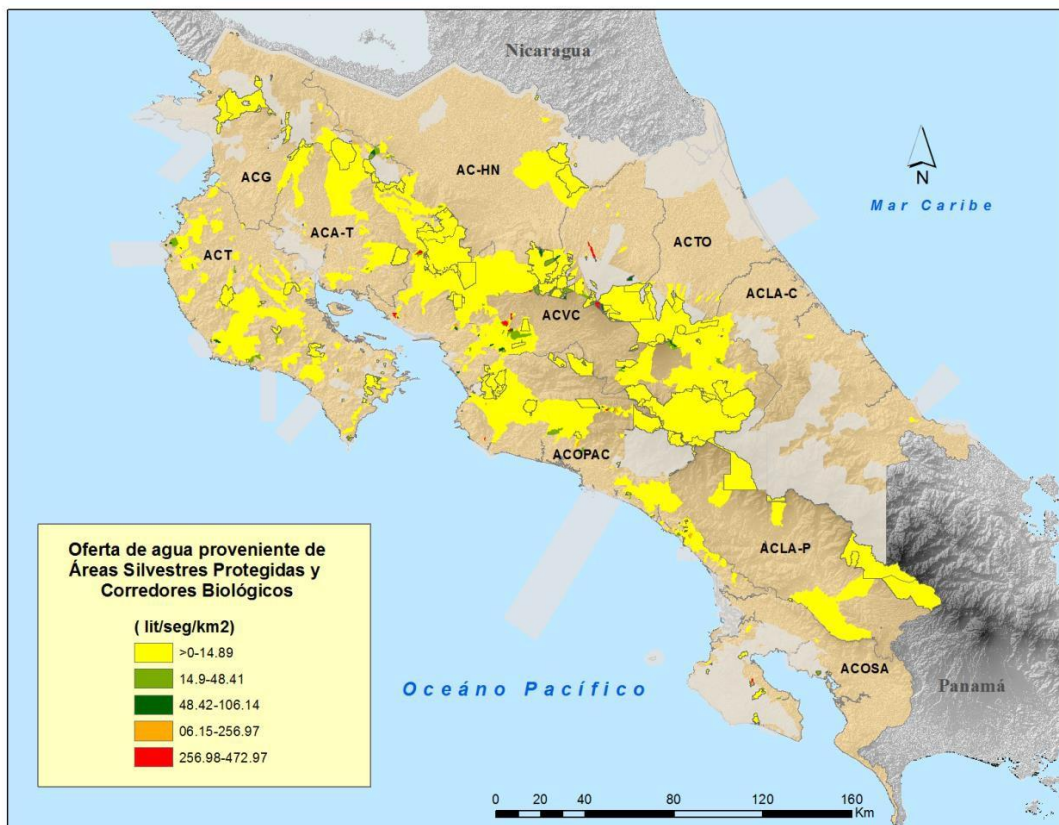


Figura 30. Oferta de agua proveniente de las ASP y CB (según modelo de balance hídrico), considerando las zonas de recarga de las tomas superficiales de agua para consumo humano (según inventario de la Dirección de Aguas del MINAET (2012)).

El impacto potencial del cambio climático bajo un EE A1B implica una reducción entre 10 y 85% de la oferta de agua para consumo humano proveniente de las ASP y CB incluidos en el análisis.

La mayor parte del territorio (65%) de las ASP del ACG y ACT tienen un impacto potencial alto o muy alto (es decir, con reducción de 49 a 85% en la oferta de agua para consumo humano); mientras que ninguna de las ASP de ACOSA tienen territorio en estas condiciones (Cuadro 12 y Figura 31). Considerando toda la extensión de las ASP en el país, 14% está en estas condiciones (Figura 32). Este gradiente de los cambios en la

disponibilidad del recurso hídrico en las diferentes áreas de conservación resulta de complejas interacciones entre las condiciones biofísicas de cada sitio (pixel con sus características de suelo y clima) con la vegetación bajo condiciones climáticas cambiantes. El modelo MAPSS permite evaluar estas interacciones y encontrar relaciones no lineales entre los cambios en el clima y sus efectos en el balance hídrico.

Cuadro 12. Niveles de impacto potencial de los cambios en la oferta de agua para consumo humano proveniente de las ASP por AC, período 2070-2099, EE A1B

Área Conservación	Extensión (ha)	% de la extensión del AC en cada nivel de impacto potencial				
		Muy bajo (10-28%)	Bajo (28-38%)	Medio (38-49%)	Alto (49-63%)	Muy alto (63-85%)
ACG	25.359	32	1	2	39	26
ACT	14.725			35	64	1
ACTo	2.351			56	44	
ACOPAC	36.757	25	19	32	22	2
ACCVC	98.825	2	19	66	12	1
ACLA-P	138.996	27	52	15	2	4
ACA-T	49.025	3	61	31	5	
ACLA-C	3.387	19	54	27		
ACA-HN	43.428		77	23		
ACOSA	4.031	35	60	5		

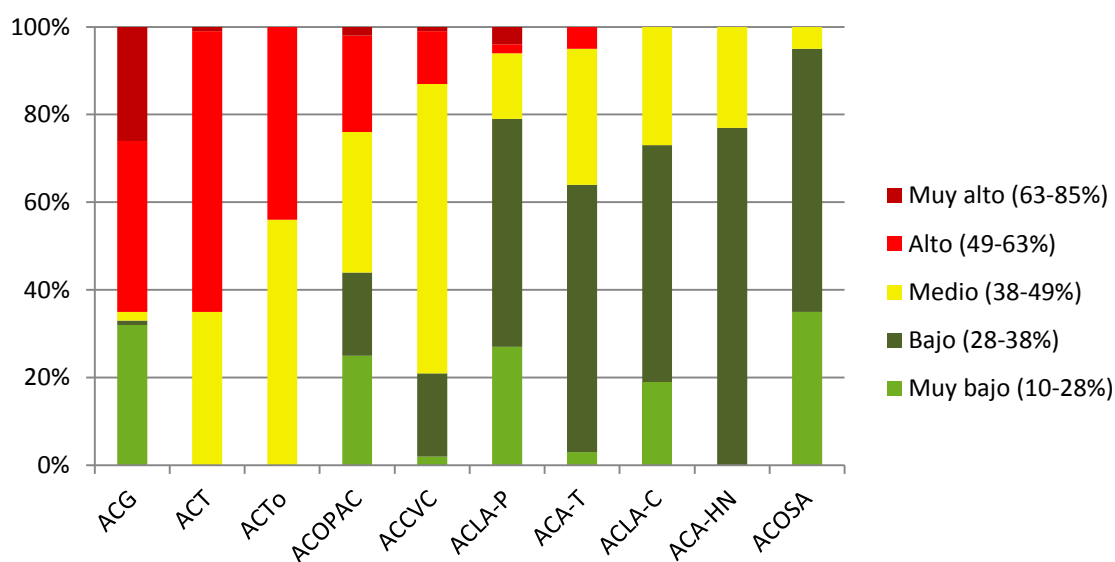


Figura 31. Proporción de superficie de las ASP, agrupadas por AC, bajo diferentes niveles de impacto potencial de los cambios en la temperatura y precipitación en la oferta de agua para consumo humano, período 2070-2099, EE A1B

Las ASP que presentan valores de impacto de alto a muy alto se ubican principalmente en la vertiente del Pacífico Norte, aunque se incluyen algunas en la Cordillera Volcánica Central. Se esperaría que las ASP que presentan menores valores de impacto potencial se ubiquen en la vertiente del Caribe, lo cual no ha sido posible evaluar debido a la escasez de registros de tomas de agua en esa región (Figura 34). El Anexo 17 muestra los valores de impacto potencial por cada ASP de manera individual para el EE A1B.

Bajo el EE A1B, el 34% de la extensión de los CB está bajo impacto potencial alto y muy alto (reducción entre 49 y 85% de la oferta de agua potable, Figura 33, derecha).

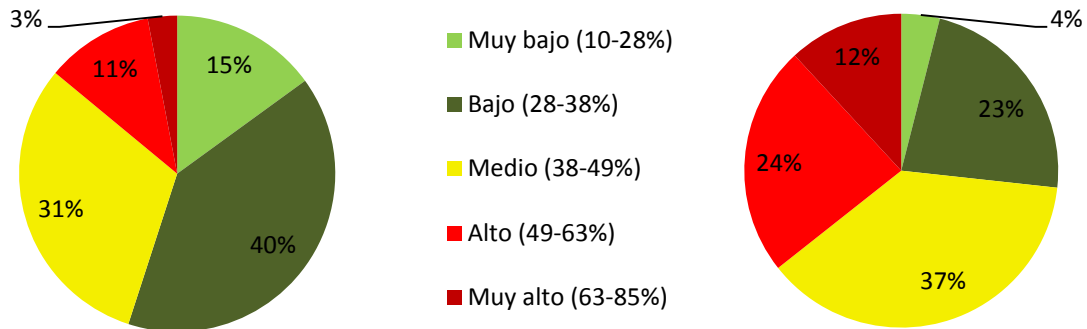


Figura 32. Proporción de superficie del conjunto de ASP (izquierda) y CB (derecha) bajo diferentes niveles de impacto potencial de los cambios en la temperatura y precipitación en la oferta de agua para consumo humano, período 2070-2099, EE A1B

Sin embargo, este impacto se distribuye de manera diferente en el territorio nacional. Al igual que las ASP evaluadas, los CB que presentan valores de impacto potencial alto y muy alto están principalmente en la vertiente del Pacífico Norte y en la Cordillera Volcánica Central (Figura 34).

De los 34 corredores evaluados, en siete se espera que toda o casi toda su oferta de agua para consumo humano se reduzca entre 50 y 85%, es decir que casi todo su territorio tiene un impacto alto o muy alto en la provisión de este servicio ecosistémico (Cordillera a Cordillera 100%, Fila Nambiral 10%, Las Camelias 100%, Miravalles-Rincón de La Vieja 95%, Miravalles - Santa Rosa 89%, Rincón Cacao 100% y Rincón Rain Forest 100%).

El Anexo 18 muestra los valores de impacto potencial por cada CB de manera individual para EE considerado.

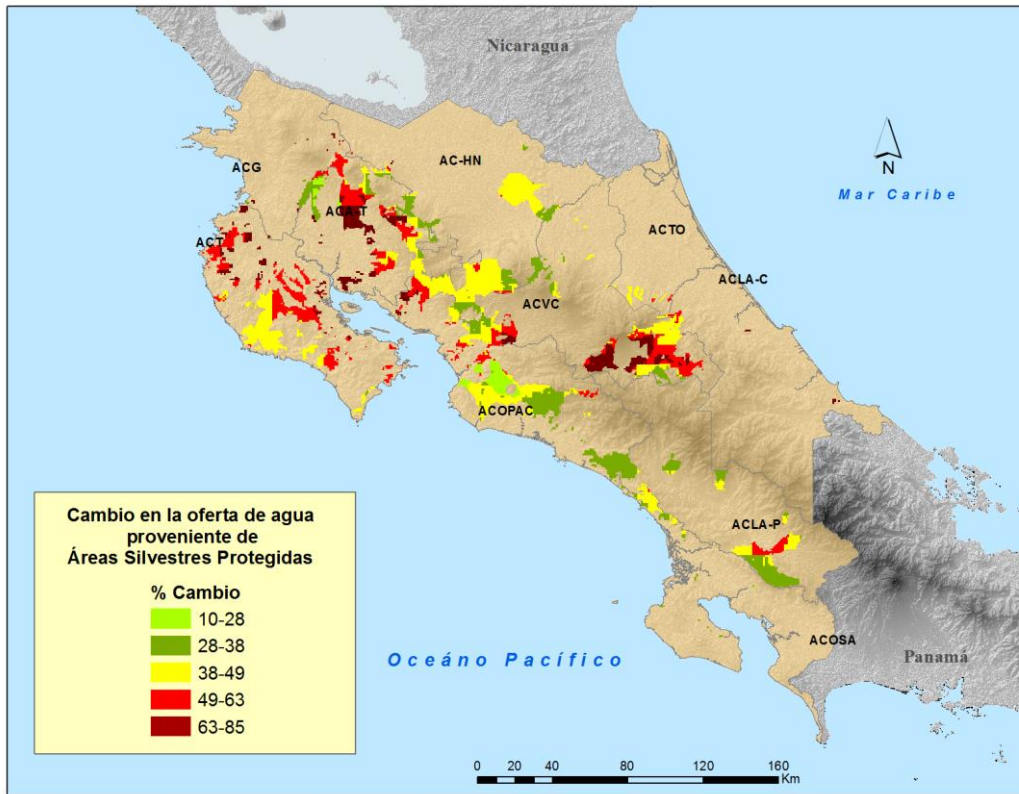
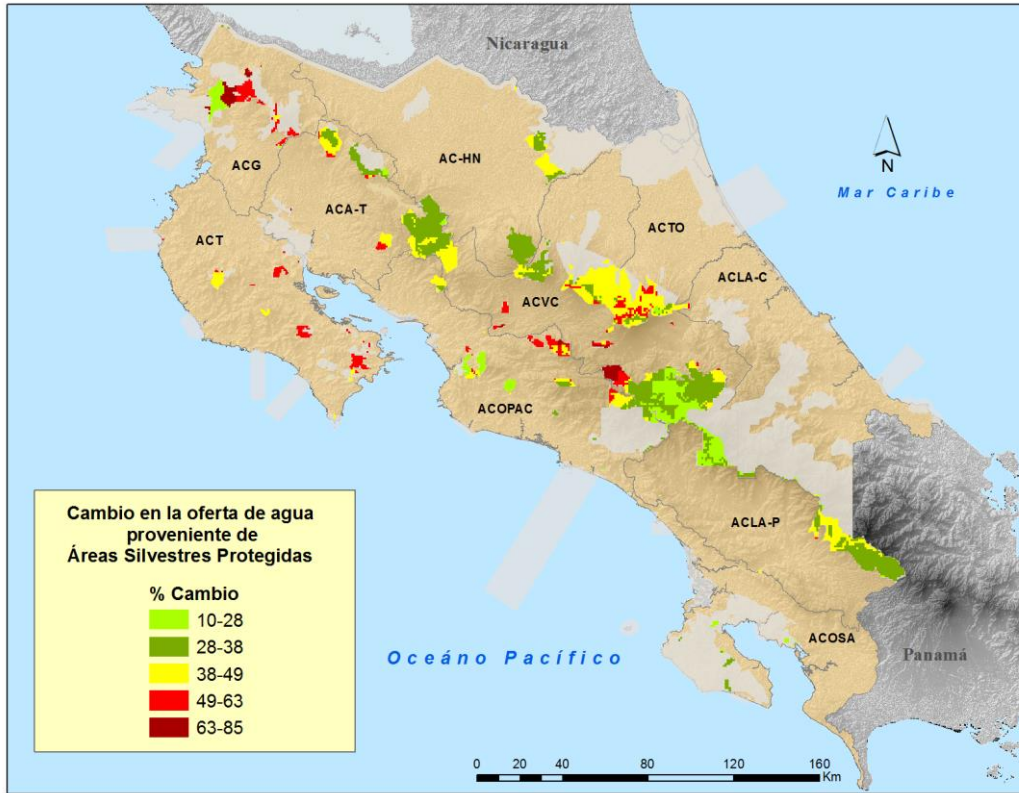


Figura 33. Niveles de impacto potencial (reducción) de los cambios de precipitación y temperatura en la oferta de agua para consumo humano proveniente de ASP y CB, periodo 2070-2099, EE A1B

Impacto potencial en las existencias potenciales de carbono sobre el suelo

El impacto futuro del cambio climático en la salud, crecimiento, distribución y composición de los bosques aún es incierto debido a lo impredecible de las interacciones entre los factores bióticos y abióticos (Van Zonneveld et al. 2009); sin embargo, ciertos modelos de predicción del cambio climático registran el impacto de este fenómeno en los bosques (Allen 2009). Así también, cambios en la temperatura, disponibilidad de agua y el régimen de perturbaciones conducirían a situaciones de estrés y probablemente a modificaciones en la productividad de los ecosistemas forestales (Maroschek et al. 2009, Rebetz & Dobbertin 2004), lo cual afecta la provisión de servicios ecosistémicos, principalmente el secuestro y almacenamiento de carbono (Franquis & Infante 2003).

Las AC con mayores pérdidas de carbono son ACLA-P, ACOPAC, ACLA-C Y ACCVC (Cuadro 13 y Figura 35) probablemente por ser áreas que presentan un gradiente altitudinal importante de acuerdo a la ubicación de las ASP y a que los mayores cambios en las existencias se dan en los bosques de las partes altas (Figura 37).

Cuadro 13. Porcentaje de cambio en las existencias de carbono almacenado en las ASP, agrupadas por AC, como respuesta a los cambios en la precipitación y temperatura, EE A1B

Área Conservación	Superficie evaluada	% de la extensión del AC en cada nivel de impacto potencial				
		Muy bajo (9 – 12%)	Bajo (12 – 15%)	Medio (15 – 18%)	Alto (18 – 23%)	Muy alto (23 – 34%)
ACLA-P	175.471		34	34	24	8
ACOPAC	89.594	13	44	27	14	2
ACLA-C	214.023	8	56	26	10	
ACCVC	140.361	18	50	24	7	1
ACG	107.914		90	10		
ACT	27.685	4	95	1		
ACA-T	76.533	8	90	2		
ACA-HN	112.312	64	33	3		
ACOSA	113.354	100				
ACTo	107.921	100				

La evaluación del potencial de degradación de las existencias de carbono muestra que los bosques actualmente protegidos dentro de las ASP probablemente estarán sometidos a cambios en las existencias de carbono que oscilan entre 9 y 34% dependiendo de su ubicación en el país. La Figura 36 muestra el porcentaje de cambio en la extensión de todas las ASP de donde se observa que la mayoría (75%) presenta cambios en el orden de 9 a 15% y que solamente un 9% de la extensión presentara valores de pérdida que oscila entre 18 y 34%.

En los CB los valores de cambio son menores ya que oscilan entre 0 y 24%. Otro aspecto a resaltar es que el 53% de la extensión de los corredores presentan valores de cambio en las existencias de carbono entre 12 y 24% que corresponden a los rangos superiores de cambio posible (Figura 37). La Figura 36 y el Anexo 19 muestran el porcentaje de cambio (extensión) en las existencias de carbono por ASP.

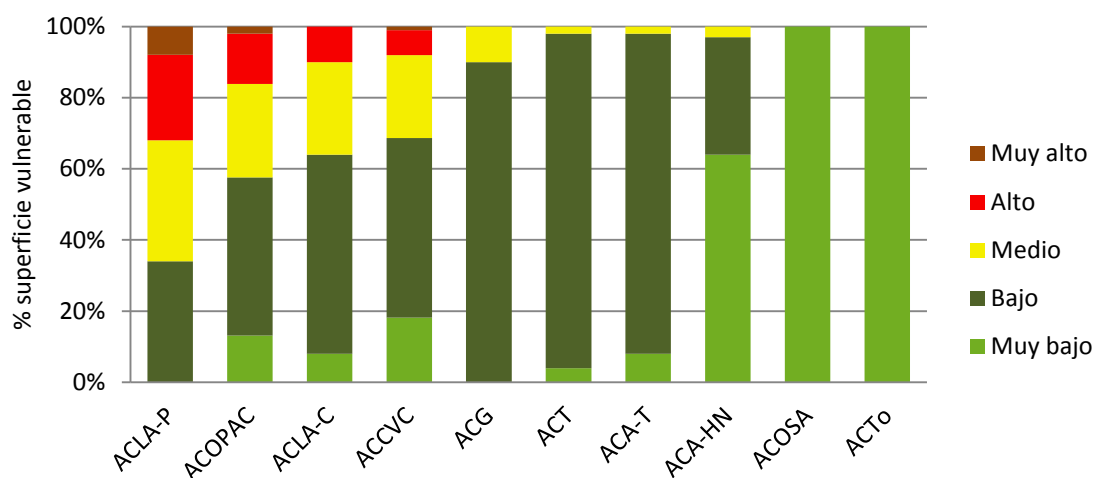


Figura 34. Proporción de superficie de las ASP, agrupadas por AC, bajo diferentes niveles de impacto potencial de los cambios en la precipitación y temperatura en las existencias potenciales de carbono almacenado sobre el suelo, EE A1B

La Figura 37 y el Anexo 20 muestran el porcentaje de cambio (extensión) en las existencias de carbono por CB. Se observa que los mayores cambios ocurren en aquellos localizados en el triángulo que forman las AC ACG (Rincón Cacao, Morochas), ACT (Chorotega) y ACA-T (Miravalles-Santa Rosa), no obstante, el corredor con mayor extensión de cambio en las existencias de carbono es el Cobri-Surac (ACCVC).

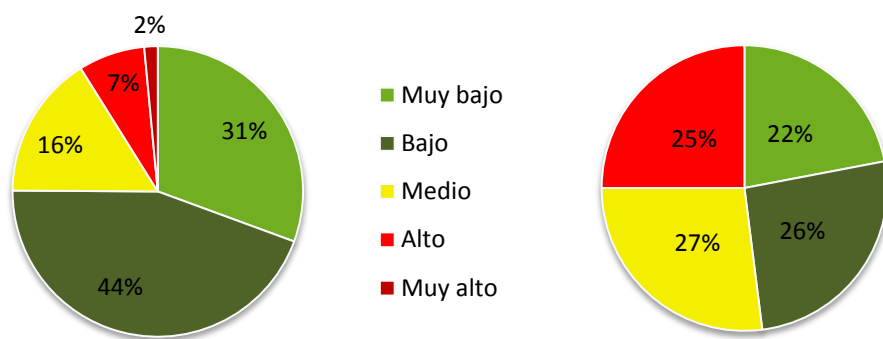


Figura 35. Proporción de superficie del conjunto de ASP (izquierda) y CB (derecha) bajo diferentes niveles de impacto potencial de los cambios en la precipitación y temperatura en las existencias potenciales de carbono almacenado sobre el suelo, EE A1B

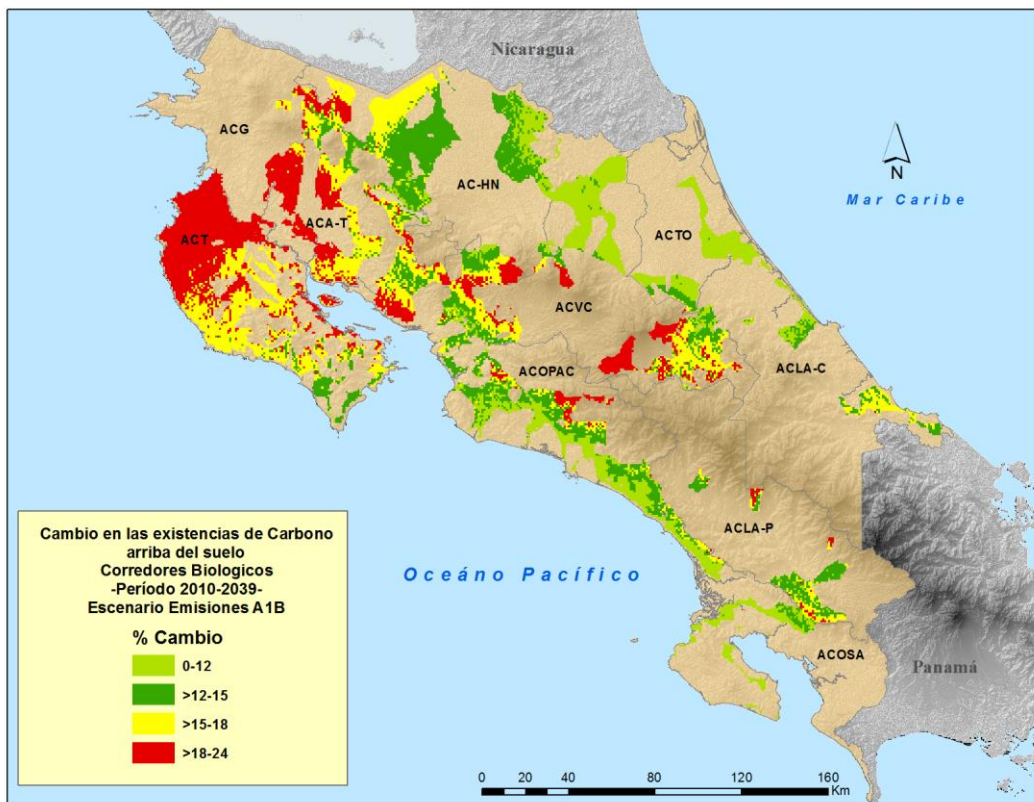
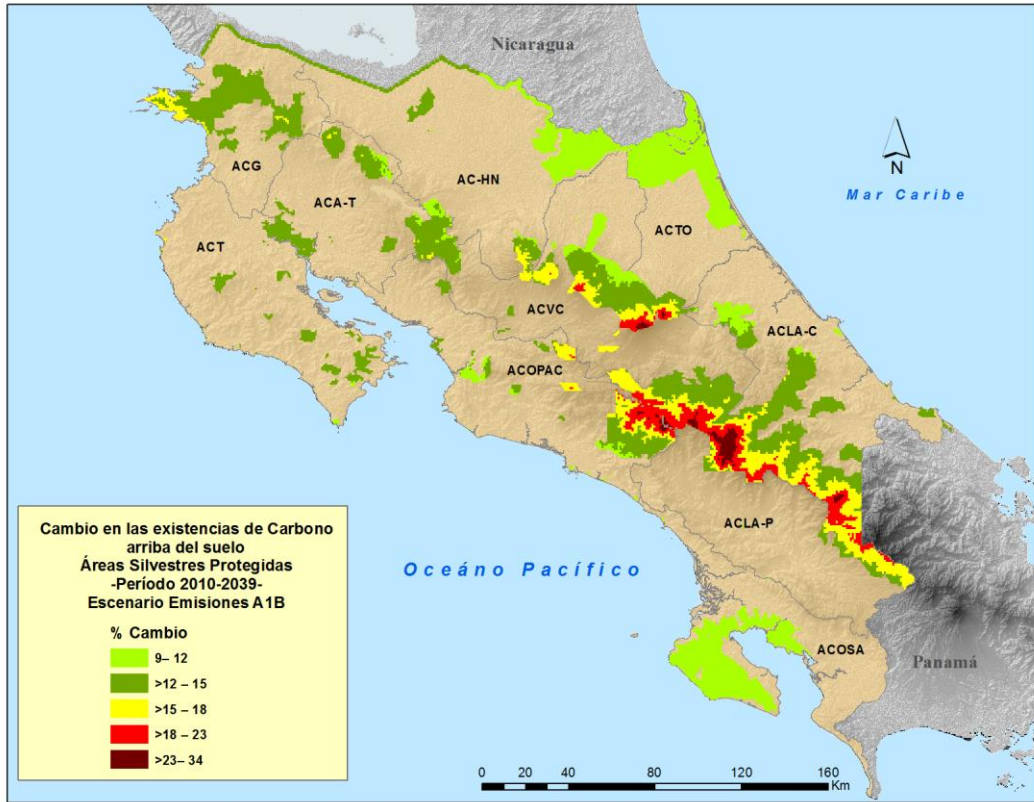


Figura 36. Niveles de impacto potencial de los cambios en la precipitación y temperatura en las existencias potenciales de carbono almacenado sobre el suelo en ASP y CB

Capacidad adaptativa

Las secciones anteriores de este estudio se han enfocado en cuantificar y describir el impacto potencial del cambio climático en diferentes aspectos de la biodiversidad y en la provisión de servicios ecosistémicos. Esta sección presenta una aproximación a la capacidad adaptativa de las ASP y CB del SINAC; esto es, su capacidad para continuar cumpliendo con sus objetivos considerando los impactos potenciales del cambio climático, haciendo, por ejemplo ajustes en su diseño y sus mecanismos de gestión.

Para efectos de este análisis, la estimación de la capacidad adaptativa de ASP y CB se basa en tres aspectos: su gestión, las características socioeconómicas de los distritos que forman parte de su territorio y la conectividad que proveen los CB para la migración de especies. Los dos primeros están relacionados principalmente con la reducción de procesos no climáticos que aumentan la sensibilidad de los ecosistemas a los procesos climáticos (por ejemplo, la reducción de contaminación o de extracción no sostenible de recursos) y el tercero con la planificación de la conservación de la biodiversidad.

No hay un patrón definido en la distribución de los valores de capacidad adaptativa en las ASP y CB del país, probablemente en parte por el sesgo que introduce la cantidad de calificaciones bajas en la gestión simplemente porque no se han realizado. En todo caso, hay una tendencia de menores valores de capacidad adaptativa en los distritos donde los servicios del estado son menores (por ejemplo zonas de frontera) (Figura 38).

La ponderación de los valores de capacidad adaptativa por AC con la extensión de las ASP y CB disminuye este sesgo, porque la mayoría de áreas no calificadas a las que se les asignó un valor muy bajo de capacidad adaptativa son refugios de vida silvestre privados y otras áreas relativamente pequeñas.

Según esta consideración, ACTo tendría el 75% de la extensión de sus ASP en categorías de capacidad adaptativa baja y muy baja. El valor de capacidad adaptativa asignado la RVS Barra del Colorado (muy bajo) tiene un gran peso porque representa más del 40% de las ASP de esta AC. De manera contrastante, ACOSA tendría solo el 1% de la extensión de sus ASP en esa situación, lo cual se explica por el peso de la calificación media que tienen el PN Corcovado, el HH Manglar Terraba Sierpe y la RF Golfo Dulce, que representan en conjunto el 86% de las ASP de esta AC. Los anexos 21 y 22 muestran los valores de los diferentes indicadores considerados y la CA estimada para cada ASP y CB y explican las proporciones de territorio bajo cada nivel de CA (Cuadro 14 y Figuras 38, 39 y 40).

Respecto a los corredores en particular, se puede apreciar que aquellos que tienen mayor tamaño y cubren un amplio rango altitudinal, en general obtienen mejores calificaciones de capacidad adaptativa, ya que estos son criterios que favorecerían la adaptación al cambio climático en cuanto a migración de especies se refiere.

Cuadro 14. Proporción de la superficie de las ASP por AC, bajo cada nivel de capacidad adaptativa

Área Conservación	Superficie evaluada	% del área del AC en cada nivel de capacidad adaptativa, considerando ASP			
		Alta	Media	Baja	Muy baja
ACA-HN	126,693		11	10	79
ACOPAC	103,518	2	20	73	5
ACTo	126,858		25	3	71
ACLA-P	181,961		45	44	11
ACCVC	147,460	7	38	53	1
ACG	122,314		50	40	10
ACT	19,797	7	50	36	7
ACA-T	86,824		70	23	7
ACLA-C	228,769		78	18	4
ACOSA	149,987	11	87	1	0

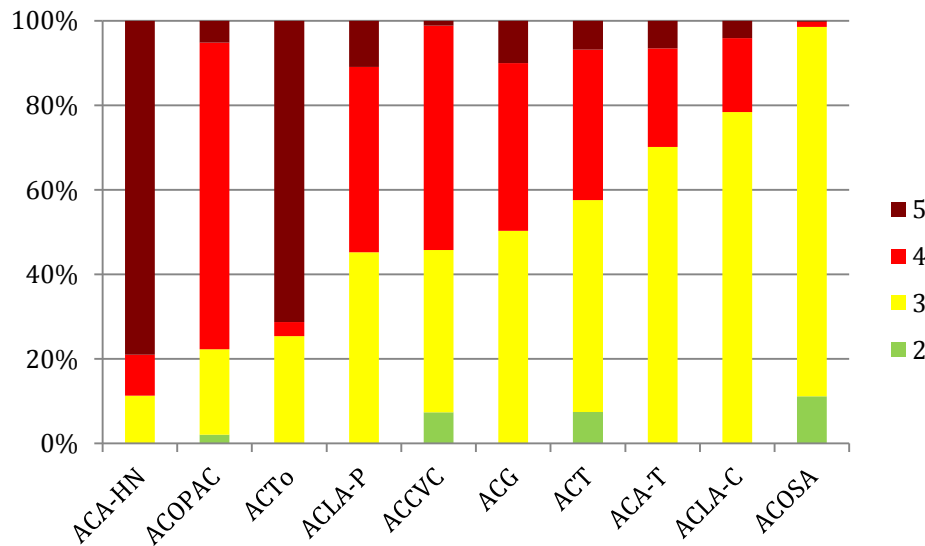


Figura 37. Proporción del territorio de las ASP, por AC, bajo cada nivel de capacidad adaptativa

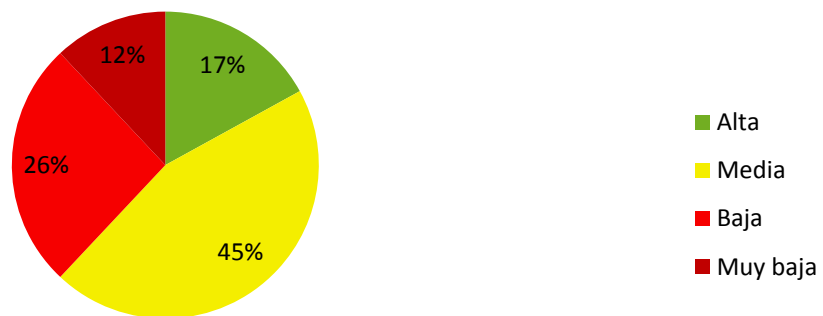


Figura 38. Proporción de territorio de los CB bajo cada nivel de capacidad adaptativa

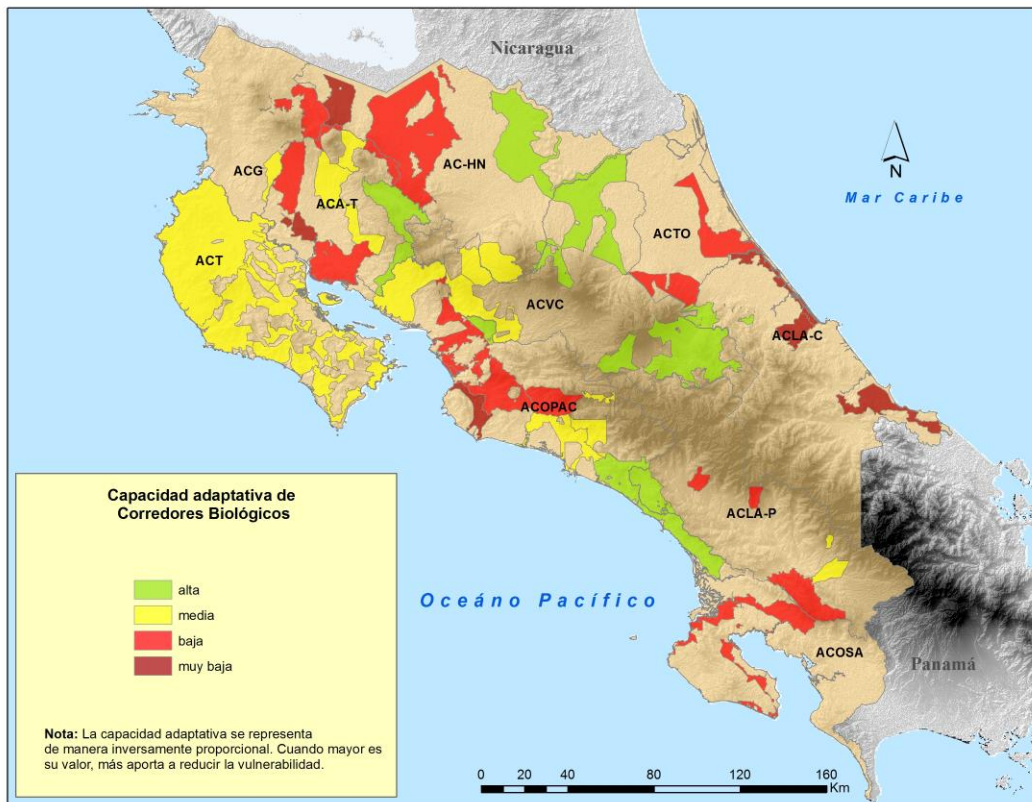
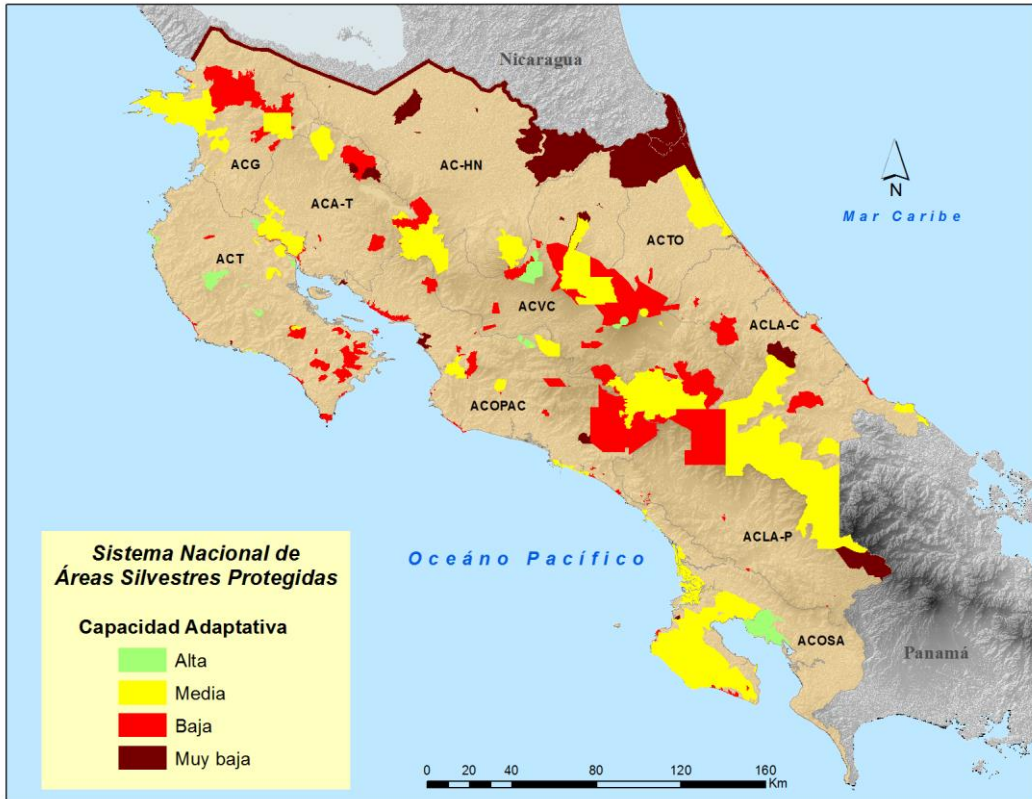


Figura 39. Capacidad adaptativa ASP y CB de Costa Rica

La comparación entre AC, utilizando las medias de los valores de los indicadores de CA de los tres aspectos de la capacidad adaptativa (diferenciando la gestión de ASP y de CB, por los diferentes actores y objetivos que implican) muestra que las condiciones de las poblaciones locales (distritos) en general son bajas para la adaptación. Generalmente los distritos que forman parte del territorio de las ASP y CB tienden a tener mayor proporción de población en situación de pobreza y menor acceso a los servicios (Holland 2009).

Esta evaluación de capacidad adaptativa sirve principalmente para establecer diferencias relativas entre las diferentes AC, y entre los elementos (ASP y CB) dentro de ellas, así como para explorar cuáles aspectos de la capacidad adaptativa habría que fortalecer en cada AC. También es importante considerar que es una evaluación hecha con información secundaria disponible en el plazo de este estudio, y que en el futuro podría incorporar indicadores de capacidad adaptativa a través de herramientas de monitoreo.

Vulnerabilidad de diferentes elementos al cambio climático

Vulnerabilidad al cambio de la vegetación arbórea

Para el EE B1 el 28% de la extensión de las ASP presentan vulnerabilidad alta y muy alta al cambio de su vegetación arbórea, para EEA2 esta proporción aumenta al 38% (Figura 41).

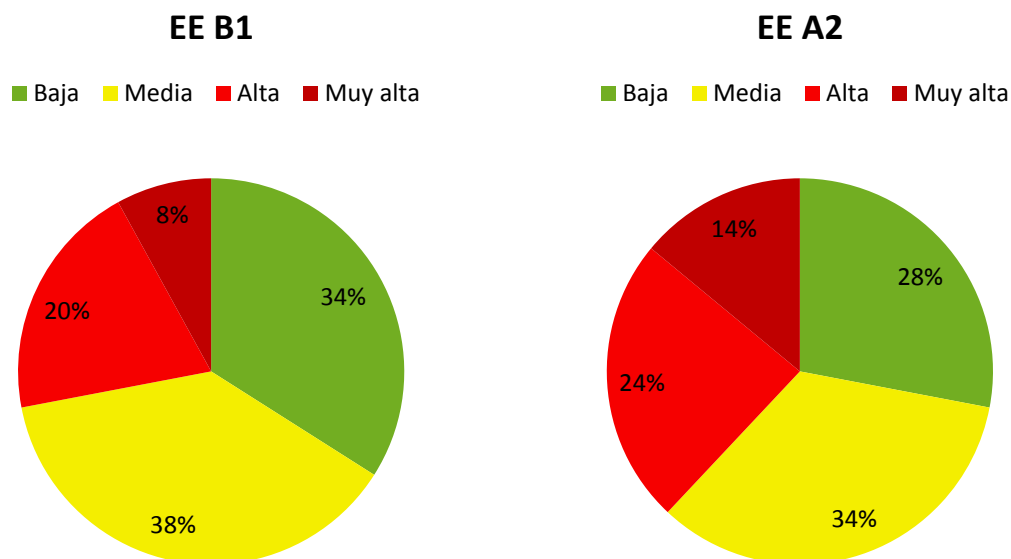


Figura 40. Proporción de la superficie del conjunto de las ASP bajo diferentes niveles de vulnerabilidad al cambio de la vegetación arbórea, periodo 2070-2099, EE B1 y A2

El Cuadro 15 y la Figura 41 (arriba) muestran el porcentaje de vulnerabilidad según la extensión de esta vegetación dentro de las ASP a nivel de cada AC para EE B1. El ACT es el área de conservación con mayor extensión de alta y muy alta vulnerabilidad (89%), seguida de ACOPAC (74%) y ACOSA (59%) (ver también Figura 42). En el EE A2 aumenta la proporción de la extensión bajo niveles de vulnerabilidad altos. El ACT presenta la mayor extensión de cambio (94%), seguido de ACOPAC (84%) y ACOSA (72%). (Cuadro 15 y Figura 42, abajo y Figura 43).

Cuadro 15. Proporción de la superficie de las ASP, agrupadas por AC, bajo diferentes niveles de vulnerabilidad a cambios en la vegetación arbórea, período 2070-2090, EE B1 y EE A2

Área de Conserv.	Extensión eval. (ha)	Vulnerabilidad (% ext) EEB1				Vulnerabilidad (% ext) EEA2			
		Baja	Media	Alta	M Alta	Baja	Media	Alta	M Alta
ACT	34.090	4	7	39	50	3	3	36	58
ACOPAC	95.060	5	21	34	40	4	12	25	59
ACOSA	127.579	11	30	20	39	22	13	64	1
ACA-T	79.583	24	34	39	3	12	29	53	6
ACG	103.803	24	43	29	4	37	23	15	25
ACA-HN	73.895	12	69	3	16	12	45	24	19
ACLA-P	179.680	33	51	10	6	26	44	20	10
ACCVC	135.465	38	49	8	5	36	49	8	7
ACLA-C	210.036	70	21	9		59	26	15	
ACTo	107.959	24	76			24	76		

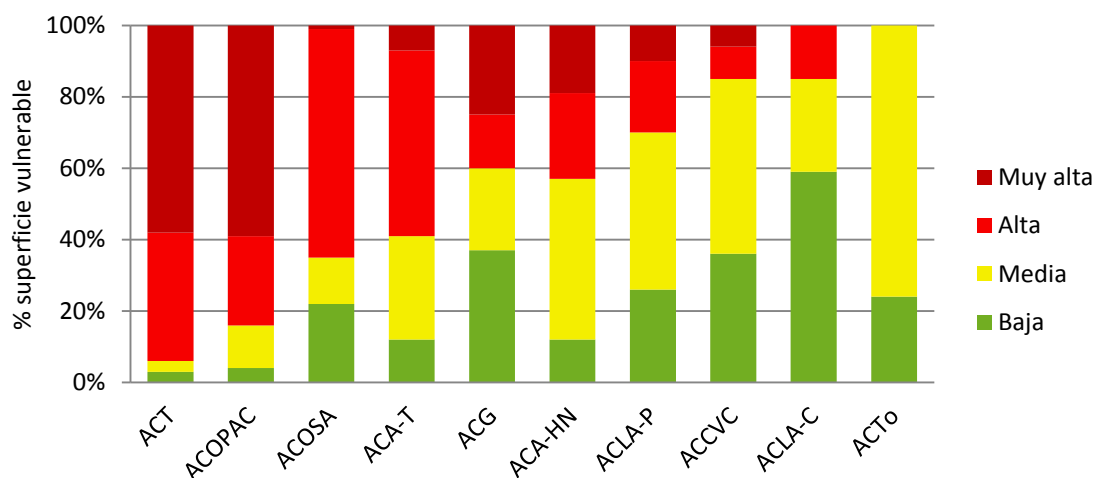
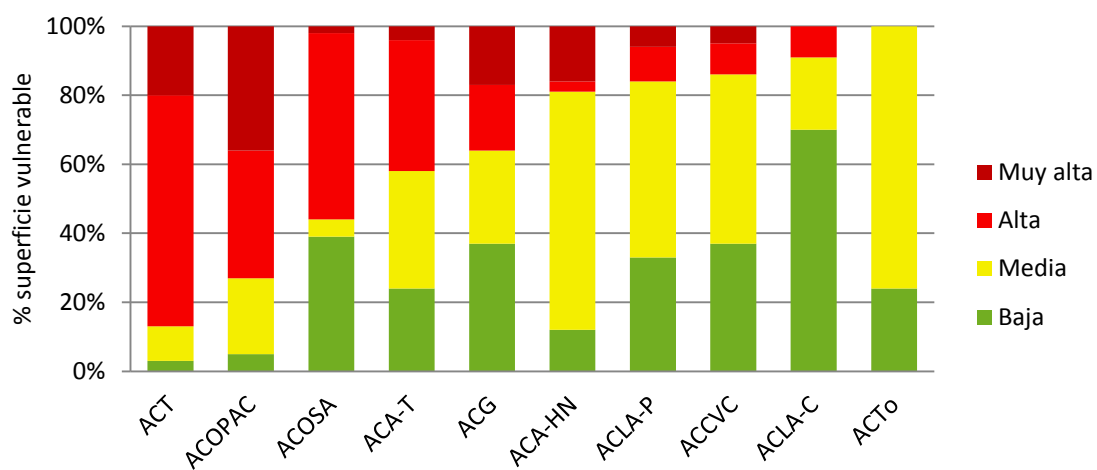


Figura 41. Proporción de la superficie de las ASP, agrupadas por AC, bajo diferentes niveles de vulnerabilidad a cambios en la vegetación arbórea, período 2070-2099, EE B1 (arriba) y EE A2 (abajo)

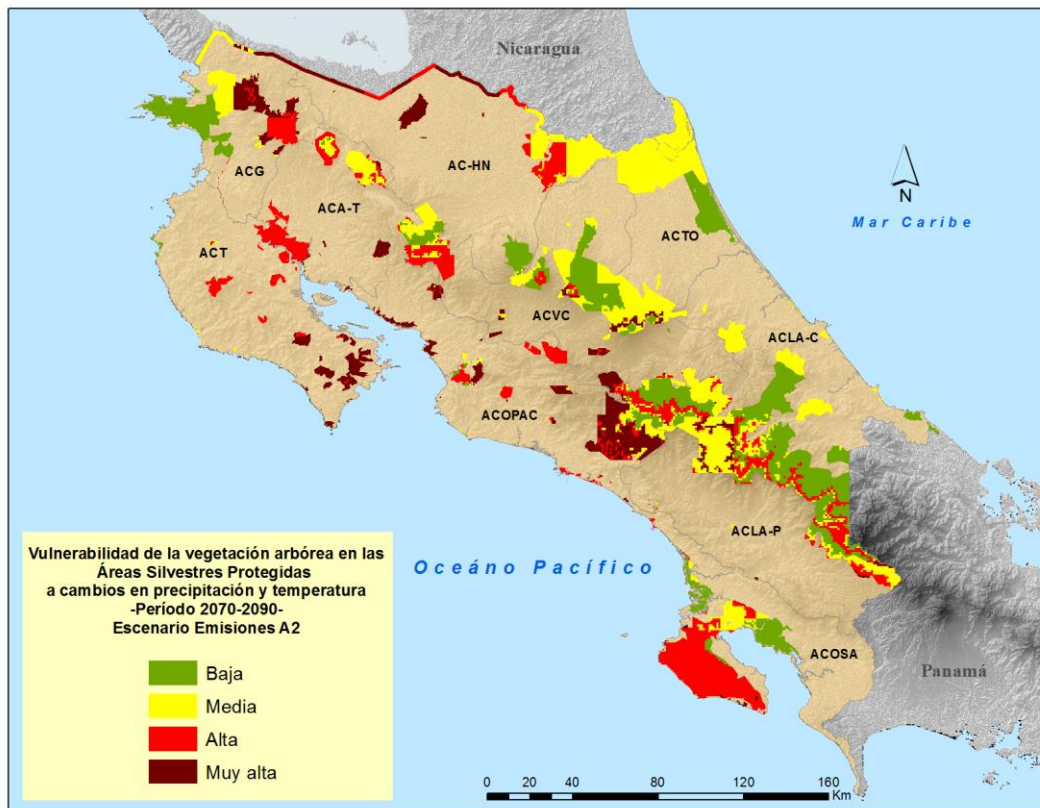
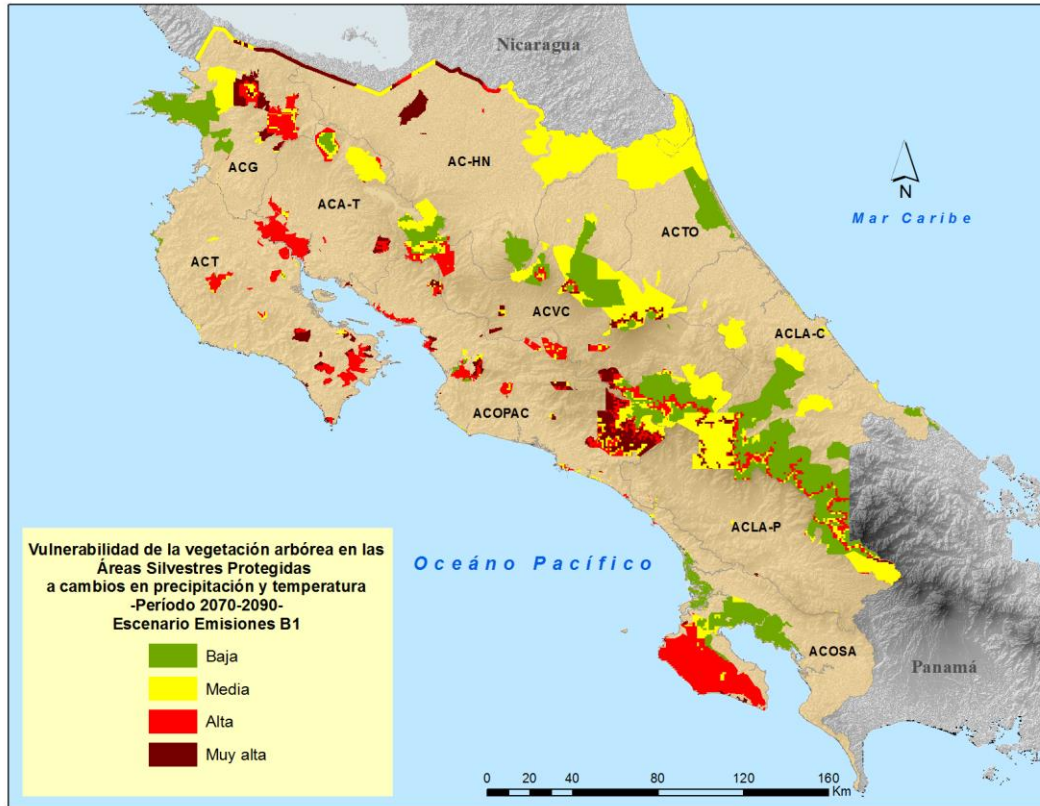


Figura 42. Vulnerabilidad a los cambios de precipitación y temperatura de la vegetación arbórea en las ASP (arriba EE B1; abajo EE A2)

Al considerar la vulnerabilidad a los cambios de precipitación y temperatura sobre la vegetación arbórea de los CB del país bajo EE B1 el 47% de la extensión de los corredores presentan vulnerabilidad alta a muy alta, si se consideran EE A2 esta proporción aumenta al 59%, disminuyendo principalmente las extensiones de los corredores que presentan una vulnerabilidad baja (Figura 44).

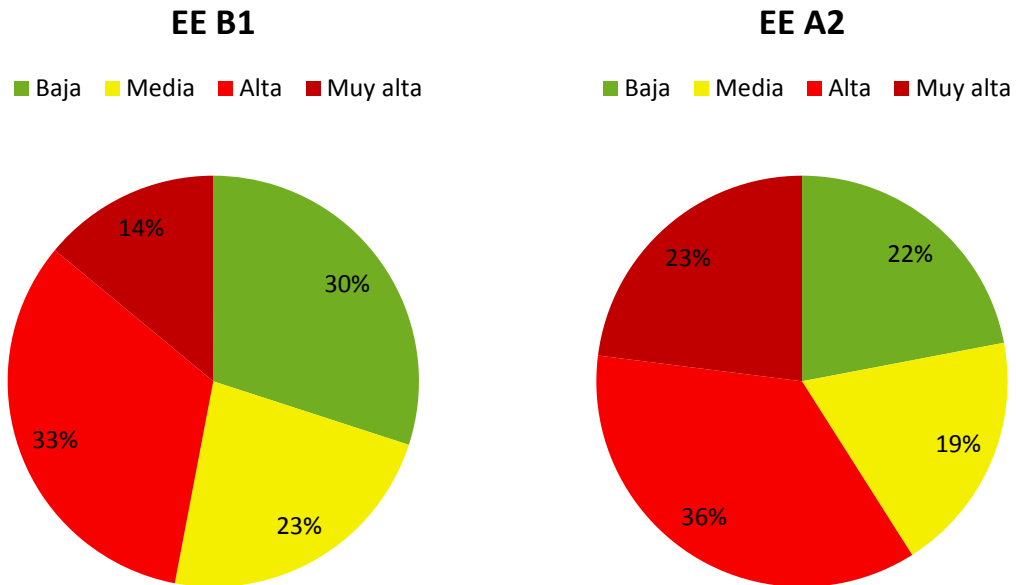


Figura 43. Proporción de la superficie del conjunto de los CB bajo diferentes niveles de vulnerabilidad al cambio de la vegetación arbórea, periodo 2070-2099, EE B1 y A2

Es importante observar que para EE B1, 24 de los 46 corredores evaluados presentan vulnerabilidad alta y muy altas en un área mayor al 50% de la extensión de los mismos mientras que para el EE A2 esta cifra sube a 33 corredores. Esto significa que el 60% de los corredores actualmente propuestos estarían sometidos a vulnerabilidad alta y muy alta.

Los anexos 23 y 24 muestran los niveles de vulnerabilidad de la vegetación arbórea en cada ASP y CB respectivamente.

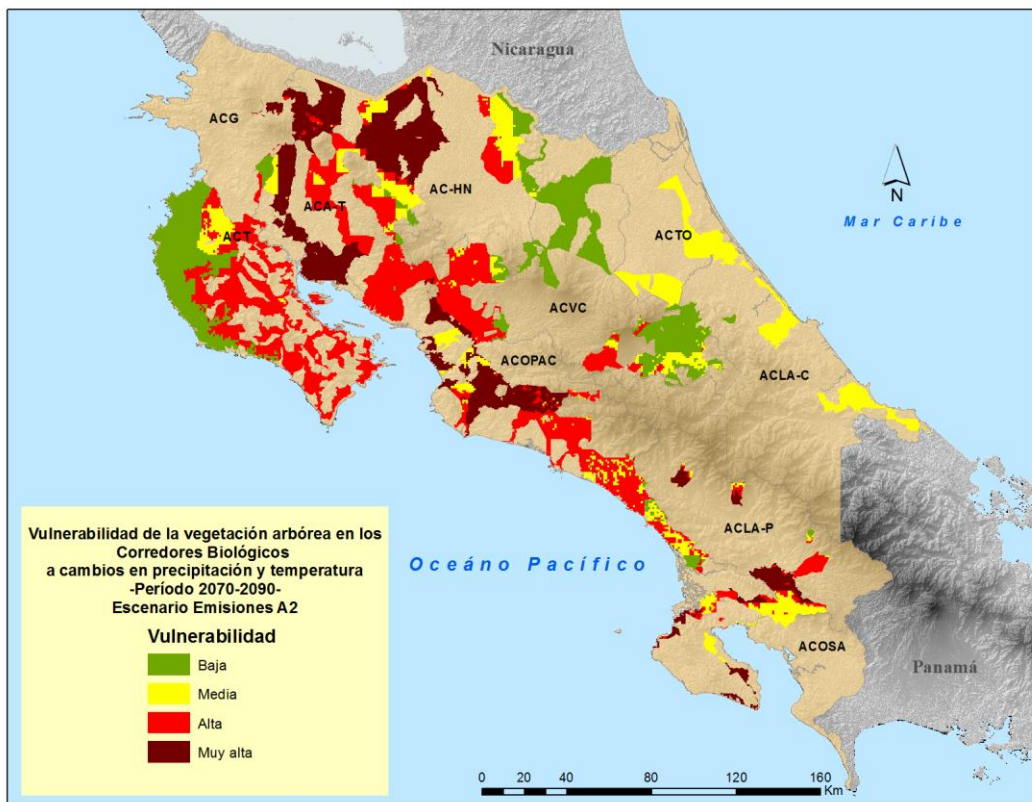
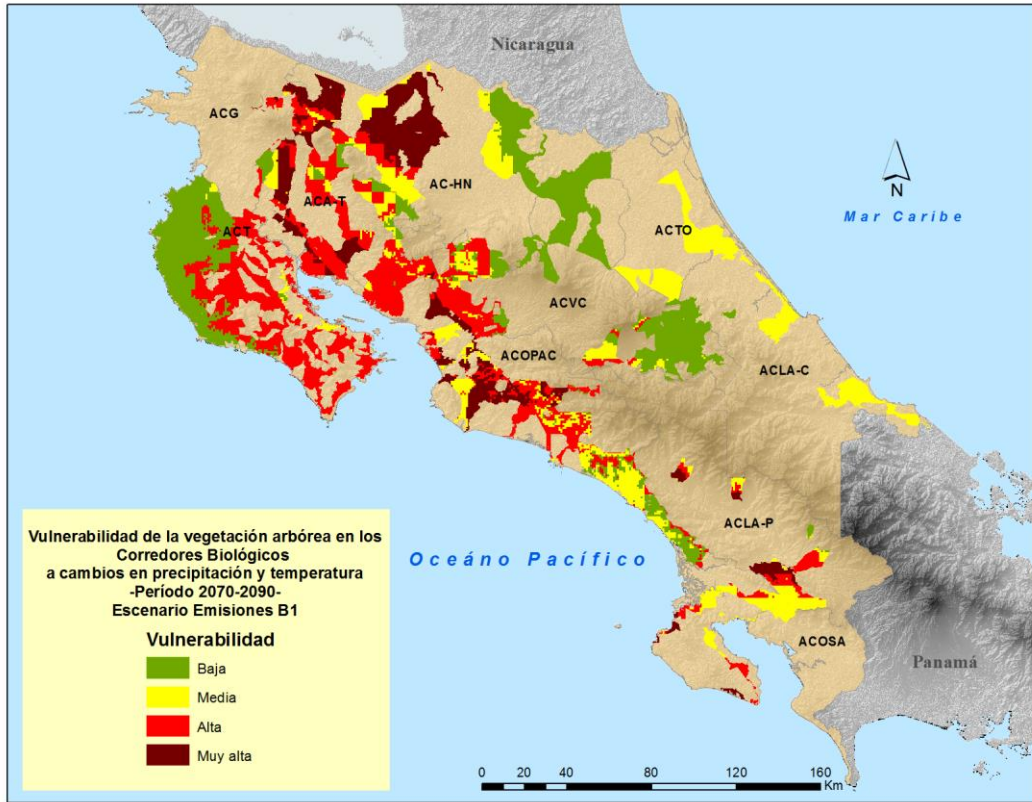


Figura 44. Vulnerabilidad a los cambios de precipitación y temperatura de la vegetación arbórea en los CB (Arriba EE B1; Abajo EE A2)

Vulnerabilidad al cambio en la distribución de especies

El Cuadro 16 muestra las ASP más importantes (únicamente con impacto potencial de categoría 1), que conservarían hábitats para especies prioritarias. Se aprecia que en el futuro el ACCVC corresponde al AC más importante para las especies endémicas de fauna analizadas en el estudio, en donde seis de sus ASP presentarán un impacto potencial muy bajo, no obstante, dependiendo del ASP, presentan una CA baja y muy baja (4 y 5 respectivamente) y por lo tanto vulnerabilidades de categorías 2 y 3.

Con respecto a las especies nacionales de fauna, el ACCVC y ACA-T corresponden a las AC con mayor representación de ASP que presentarán una baja vulnerabilidad en el futuro (categoría 2 y 3). Por otro lado, únicamente en el AC de ACOSA, se presentaron ASP con impactos potenciales muy bajos para las especies nacionales de flora.

En el futuro, ningún CB protegerá extensiones importantes de hábitat que contienen zonas de bajo impacto potencial.

Cuadro 16. ASP más importantes con impacto potencial muy bajo (categoría 1) para la protección de la biodiversidad en el futuro y su respectiva vulnerabilidad

Criterio de conservación	Área		Vulnerabilidad		
	Conservación	Área Protegida			
Endémicas Fauna	ACCVC	Cerro Dantas (privado)	3		
		El Chayote	3		
		Grecia	2		
		Jaguarundi (privado)	3		
		Jardines de la Catarata (privado)	2		
		Río Toro	3		
		Volcán Poás	2		
		Nacionales fauna	ACA-HN	Arenal	3
				Zona Emergencia Volcán Arenal	3
			ACA-T	Arenal-Monteverde	2
Curi Cancha	3				
Miravalles	2				
Tenorio	3				
ACCVC	Volcán Tenorio		2		
	Alberto Manuel Brenes		2		
	Bosque Alegre (mixto)		3		
	La Marta (privado)		2		
	La Selva	3			
	La Tirimbina (privado)	3			
Nacionales flora	ACG	Monumento Nacional Guayabo	2		
		Nogal (privado)	3		
	ACLA-C	Rincón de la Vieja	2		
		Barbilla	3		
	ACTo	Cuenca del Río Banano	3		
		Acuíferos Guácimo y Pococí	2		
	ACOSA	Corcovado	2		
		Golfito (mixto)	2		
		Golfo Dulce	2		
		Hacienda Copano (privado)	3		
Osa (mixto)		2			
Piedras Blancas	2				

Vulnerabilidad a la reducción de la oferta de agua para consumo humano

ACTo tiene todo el territorio de sus ASP bajo vulnerabilidad alta en relación a los cambios en la oferta de agua para consumo humano. Esto resulta de la combinación del impacto potencial medio a alto de la extensión evaluada (situada en las zonas altas de esta área de conservación), con la capacidad adaptativa muy baja de las ASP ahí ubicadas. En una situación similar están las ASP del ACT y ACG. El ACLA-C no tienen ASP con esos niveles de vulnerabilidad respecto a la oferta de agua (Cuadro 17 y Figura 45), pero este resultado debe tomarse con precaución; considerando que las zonas hidrológicas evaluadas en esta área de conservación incluyen solo un área relativamente pequeña (3,386 ha) en el PN Internacional La Amistad, que tiene una capacidad adaptativa alta.

Cuadro 17. Proporción de la superficie de las ASP, agrupadas por AC, bajo diferentes niveles de vulnerabilidad a cambios en la oferta de agua para consumo humano, período 2070-2090, EE A1B

Área Conservación	Superficie evaluada	% del área del AC en cada nivel de capacidad adaptativa, considerando ASP			
		Alta	Media	Baja	Muy baja
ACTo	2.351			100	
ACT	14.723		31	69	
ACG	25.360	18	16	42	24
ACCVC	98.796	8	45	46	1
ACOPAC	36.757	12	44	44	
ACA-HN	39.413		63	37	
ACLA-P	138.465	17	61	18	4
ACA-T	49.024	1	82	17	
ACOSA	4.017	35	60	5	
ACLA-C	3.386	19	81		

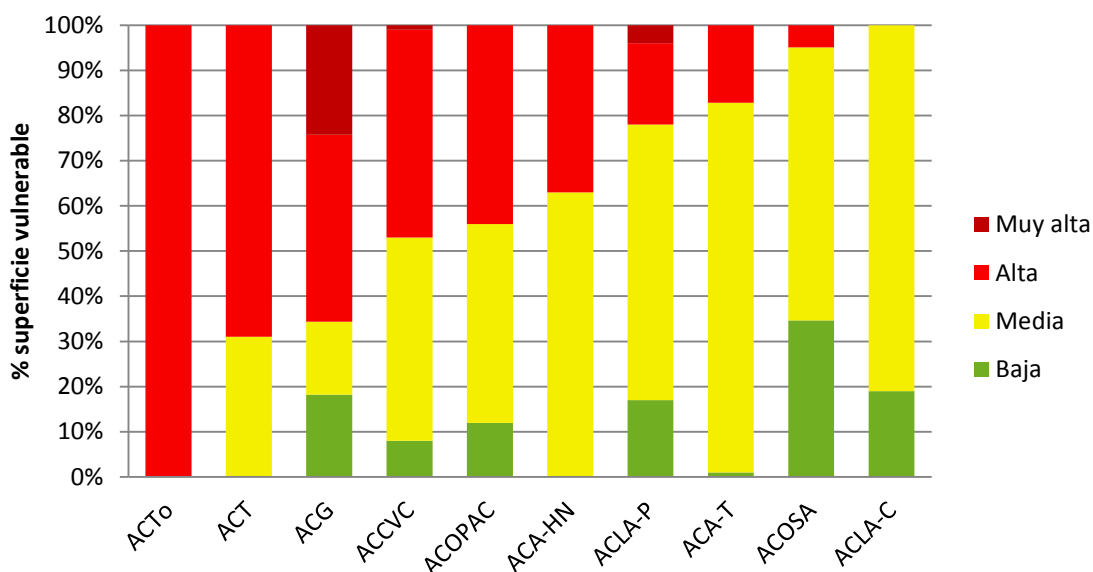


Figura 45. Proporción de superficie de las ASP, agrupadas por AC, bajo diferentes niveles de vulnerabilidad a los cambios en la oferta de agua para consumo humano

El 71% de la extensión de los CB en su conjunto presenta vulnerabilidad baja seguida de un 28% de vulnerabilidad media (Figura 46).

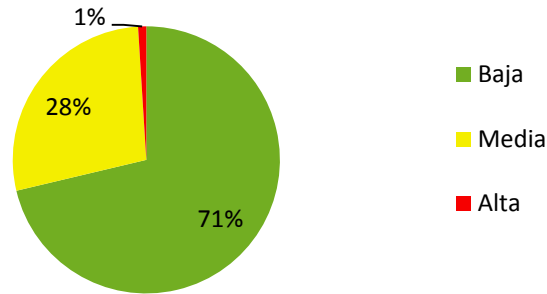


Figura 46. Proporción de superficie del conjunto de CB bajo diferentes niveles de vulnerabilidad a la reducción de oferta de agua para consumo humano

Los anexos 25 y 26 detallan los valores de vulnerabilidad a la reducción de la provisión de agua para consumo humano para cada ASP y CB respectivamente.

Es importante recordar que en esta evaluación solamente se tuvo acceso una porción de las tomas de agua que están presentes en todo el país, por lo que es de esperar que estos valores varíen una vez que se pueda tener acceso a toda la información sobre disponibilidad de agua y su relación con de servicio con un número determinado de usuarios.

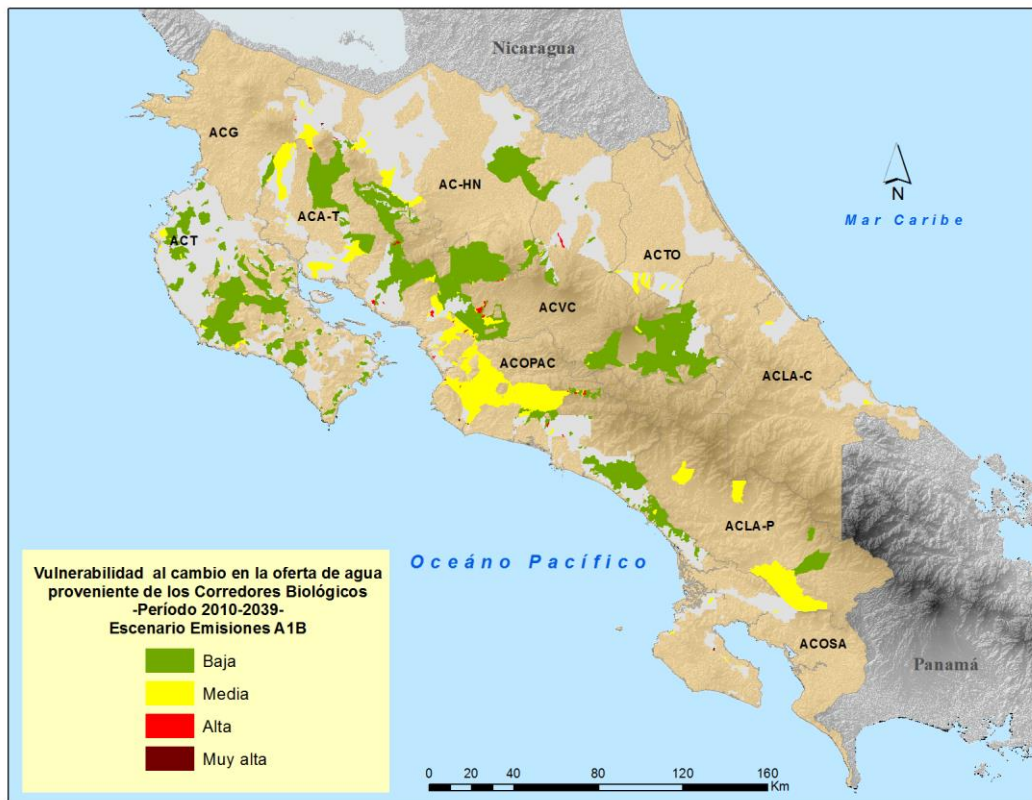
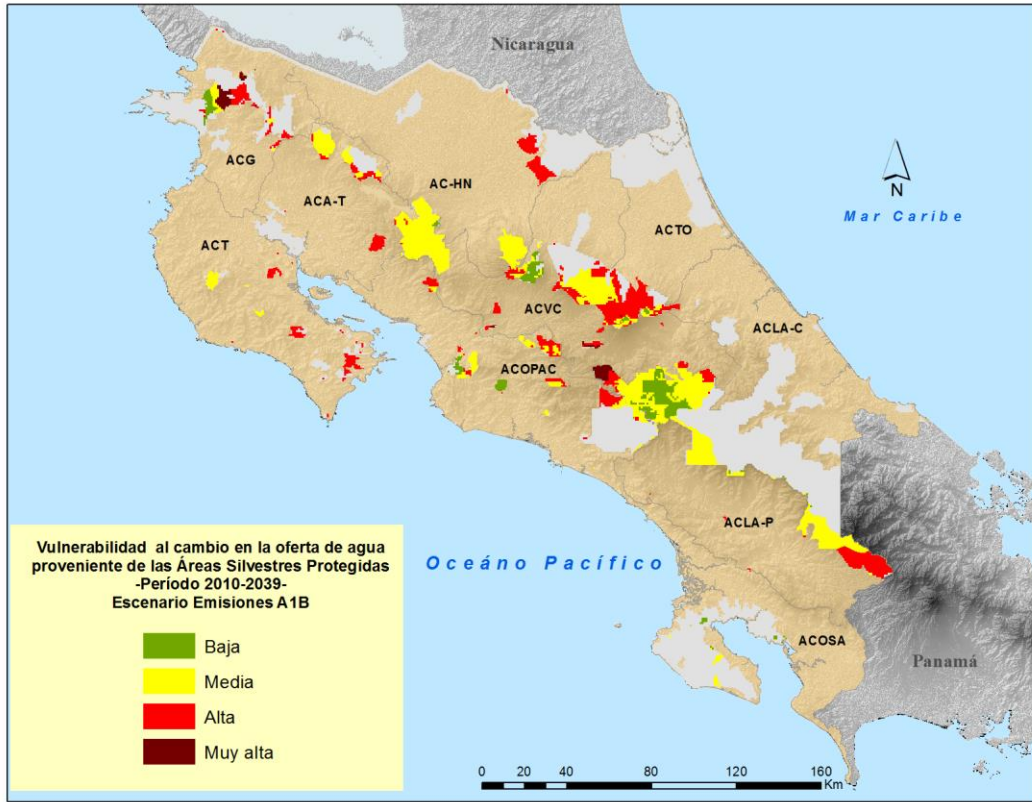


Figura 47. Niveles de vulnerabilidad de ASP y CB a la reducción en la oferta de agua para consumo humano

Vulnerabilidad a la reducción de las existencias potenciales de carbono sobre del suelo

Las ASP con alto o muy alto impacto potencial del clima en sus existencias potenciales de carbono, en general tienen también una vulnerabilidad alta y muy alta en este sentido, principalmente en las áreas de conservación ACLA-P, ACOPAC y ACCVC; a este conjunto se agregan algunas áreas de la ACA-HN por su baja capacidad adaptativa relativa. Las ASP de ACOSA tienen una baja vulnerabilidad porque tienen también menor impacto potencial y una capacidad adaptativa media; obsérvese que aunque toda la extensión de las ASP de ACOSA y ACTo tienen impacto potencial muy bajo, las de esta última AC tienen mayor vulnerabilidad, porque su capacidad adaptativa es menor (Cuadro 18 y Figura 48).

Cuadro 18. Proporción de la superficie de las ASP, agrupadas por AC, bajo diferentes niveles de vulnerabilidad a cambios en las existencias potenciales de carbono sobre el suelo, período 2070-2090, EE A1B

Área Conservación	Superficie evaluada	% del área del AC en cada nivel de capacidad adaptativa, considerando ASP			
		Alta	Media	Baja	Muy baja
ACLA-P	175,204		48	45	7
ACOPAC	89,571	8	54	37	1
ACCVC	140,275		68	22	
ACA-HN	110.704		80	19	
ACLA-C	201,619		86	14	
ACG	107,143		92	8	
ACA-T	76,386		92	4	
ACT	27,596	23	77		
ACTo	106,495	25	75		
ACOSA	113,293	99	1		

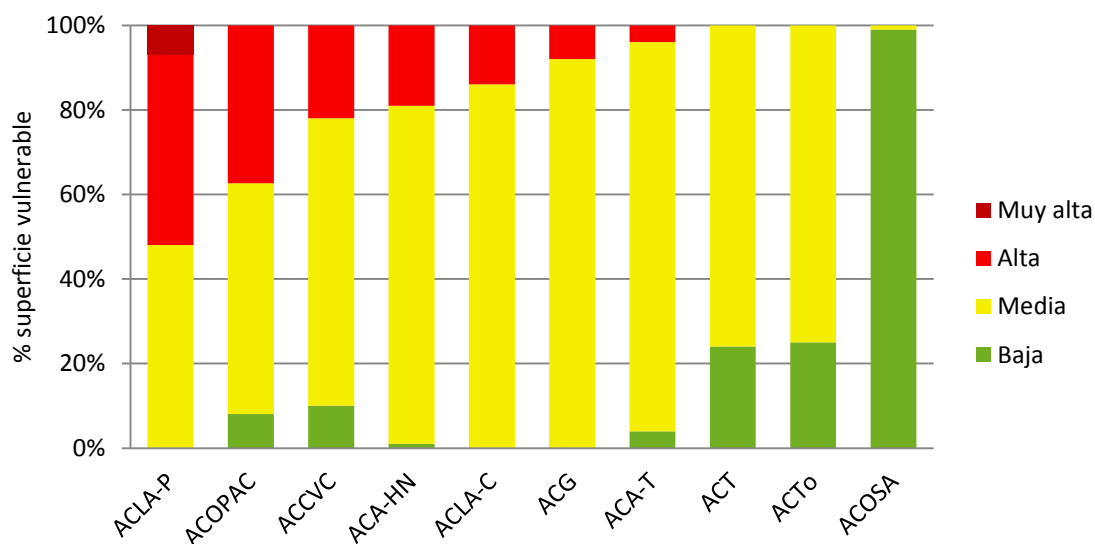


Figura 48. Proporción de superficie de las ASP, agrupadas por AC, bajo diferentes niveles de vulnerabilidad a la reducción de las existencias potenciales de carbono sobre el suelo

Casi la mitad de la extensión del conjunto de CB tiene vulnerabilidad media (48%) y baja (31%) (Figura 49). Los corredores con mayor vulnerabilidad a la degradación de su stock de carbono son también los que tienen un alto impacto potencial principalmente en la ACT, ACA-T, ACCVC y ACOPAC. A este conjunto se suman también ASP de la ACA-HN y ACLA-C, por su baja capacidad adaptativa relativa.

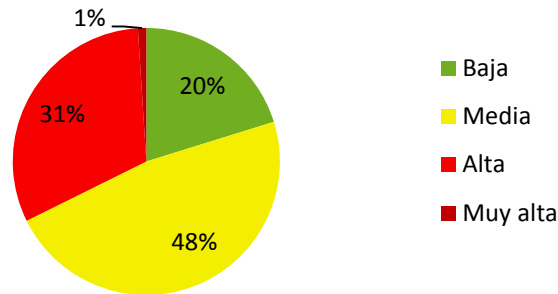


Figura 49. Proporción de superficie del conjunto de CB bajo diferentes niveles de vulnerabilidad a la reducción de las existencias potenciales de carbono sobre el suelo

La gradiente del impacto potencial en los cambios en el stock de carbono a lo largo del país depende de relaciones no lineales entre el contenido de carbono de un ecosistema en equilibrio a través del gradiente de relaciones entre precipitación y temperatura evaluados por Cifuentes-Jara (2008) (Figura 48).

La Figura 50 muestra la ubicación de las ASP y CB según su grado de vulnerabilidad al cambio en las existencias de carbono arriba del suelo. Los anexos 27 y 28 detallan los valores de vulnerabilidad a la degradación de existencias de carbono para cada ASP y CB respectivamente.

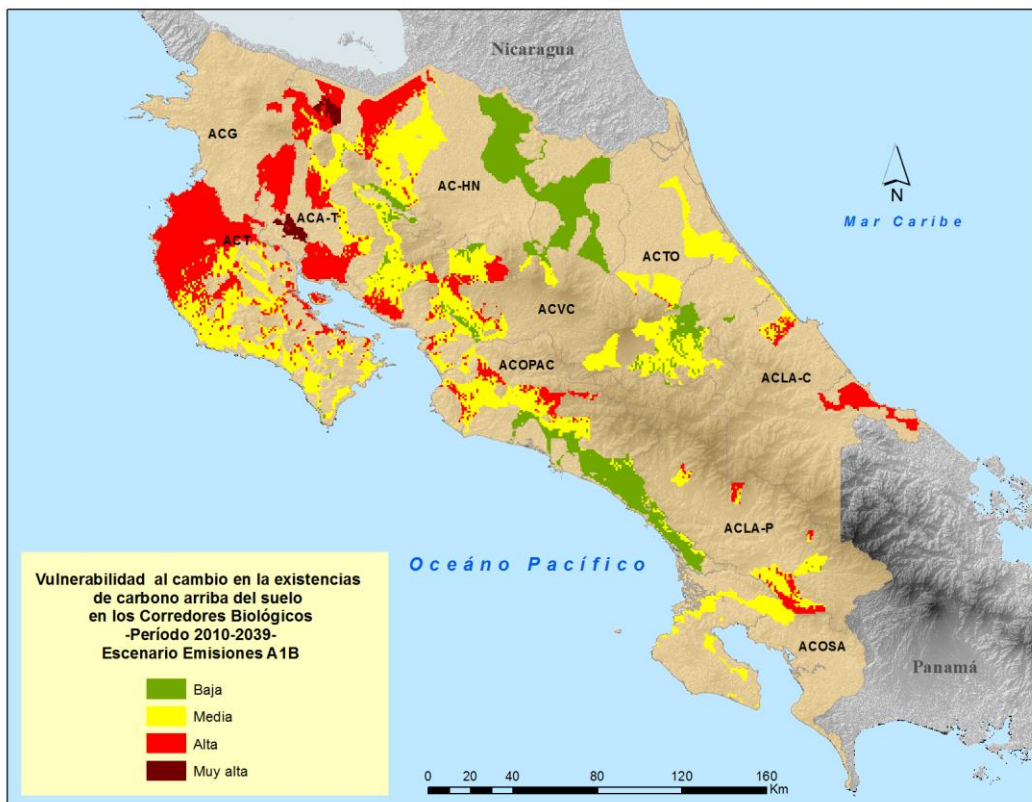
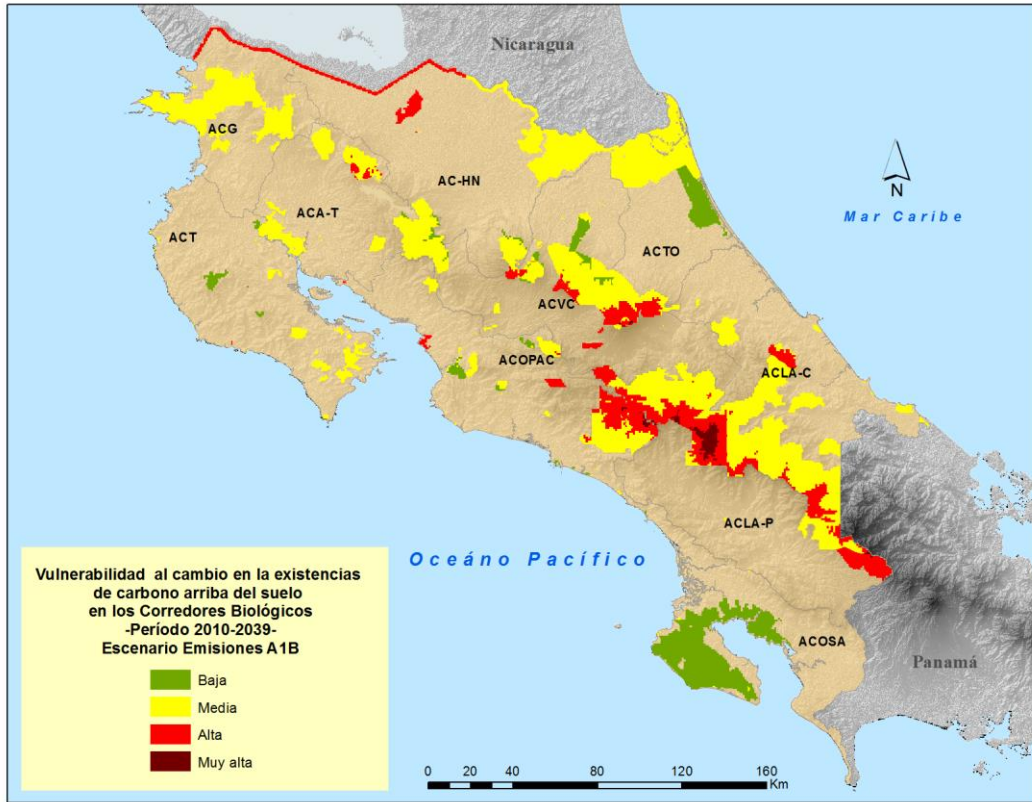


Figura 50. Niveles de vulnerabilidad de ASP y CB a la reducción de las existencias potenciales de carbono arriba del suelo

Principales hallazgos

Los resultados obtenidos muestran que todas las ASP y los CB sufrirán algún grado de impacto potencial por cambio climático; y que dependiendo del objeto de análisis (vegetación arbórea, servicios ecosistémicos como agua y carbono o refugio de especies individuales) y su capacidad adaptativa, tienen diferentes valores de vulnerabilidad al cambio climático.

La magnitud de estos cambios, resumida en los siguientes párrafos es muy variable dentro de los conjuntos de las ASP y CB. Los gestores de las AC, ASP y CB deben tomar en cuenta esta variabilidad y revisar la información detallada en los anexos para cada caso.

Exposición al aumento de la temperatura y disminución de la precipitación

Para el periodo 2070 y considerando EE altas, la probabilidad de que la temperatura media anual aumente 3 °C o más es baja en general para el país, siendo media en el ACOSA y el sur del ACLA-P.

Como consecuencia del aumento de la temperatura del aire y la reducción de la precipitación, se espera que en más del 66% del territorio de la ACA-HN, ACTo, ACT y ACG (AC donde hay importantes complejos de humedales) la temperatura superficial del agua de los cuerpos de agua dulce aumente entre 2.3 y 2.8 °C.

Impacto potencial de los cambios de precipitación y temperatura en la vegetación arbórea

En general, los valores más altos de impacto potencial en la vegetación están en la vertiente del Pacífico y en la llanura de los Guatusos, en la Huetar Norte. En condiciones de equilibrio con el clima y considerando EE altas es probable (> 66% de los escenarios) que la mitad de la vegetación arbórea del país haya cambiado de un tipo de vegetación a otro en el periodo 2070-2099. Es decir, se estima que la mayor parte tendrá cambios en su densidad y estructura o habrá transitado a un tipo de vegetación con mayor predominancia de arbustos y pastos. Bajo estas condiciones, el territorio de cuatro AC (ACOPAC, ACT, ACA-T y ACAH-N) tienen más del 60% de la extensión de su vegetación arbórea con una probabilidad muy alta de cambio; esta proporción varía de 34% a 59% si se considera el conjunto de ASP.

Hábitat potencial para especies importantes para la conservación

El conjunto de ASP y CB tienen actualmente zonas que contienen hábitat potencial del 80 a 100% de las especies de flora y fauna terrestres seleccionadas bajo los criterios de importancia para la conservación. Sin embargo, la mayoría de estas especies tendrán cambios en su distribución potencial futura, estos cambios consisten sobre todo en la

reducción de su hábitat. Pocas especies tendrían un aumento de área de hábitat futuro, pero aún en estos casos, tendrían pérdida de hábitat en ciertas zonas de distribución.

La mayoría de los organismos dulceacuícolas modelados en este estudio mostraron un escenario pesimista para la sobrevivencia de las especies en el futuro, donde se observa una gran pérdida de hábitat.

Con el objetivo de entender el efecto del cambio climático sobre la distribución de las especies y su relación con la estructura y composición de los ecosistemas, es necesario conocer más a fondo la ecología de estos organismos pero también realizar el análisis con especies seleccionadas con criterios ecológicos, como grupos funcionales o importancia estructural en los ecosistemas.

Servicios ecosistémicos: agua para consumo humano

Para el periodo 2070-2099 y considerando EE intermedias, los cambios proyectados en la oferta de agua proveniente de ASP y CB muestran valores de reducción entre 10 a 85%, dependiendo la región del país. Las AC con la mayor extensión de su territorio bajo vulnerabilidad alta o muy alta en relación a los cambios en la oferta de agua son, en primer lugar, ACT con 61% de su territorio bajo vulnerabilidad alta, seguida de ACLA-P con 52% y ACOPAC con 35%.

De los 34 corredores evaluados, en siete se espera que toda o casi toda su oferta de agua para consumo humano se reduzca entre 50 y 85%, es decir que casi todo su territorio tiene un impacto alto o muy alto en la provisión de este servicio ecosistémico (Cordillera a Cordillera 100%, Fila Nambiral 10%, Las Camelias 100%, Miravalles-Rincón de La Vieja 95%, Miravalles - Santa Rosa 89%, Rincón Cacao 100% y Rincón Rain Forest 100%).

Servicios ecosistémicos: almacenamiento de carbono

Para el periodo 2070-2099 y considerando EE intermedias, la degradación de las existencias de carbono proyectada muestra valores de reducción entre 10 y 34% en las ASP y CB, dependiendo la región del país. La mayoría de las ASP con vulnerabilidad alta o muy alta al potencial de degradación de las existencias de carbono están en el ACLA-P y ACOPAC.

Capacidad adaptativa

En general la capacidad adaptativa de las ASP y CB del país es baja, además hay un sesgo introducido por la cantidad de calificaciones bajas en la gestión simplemente porque no se han realizado. En todo caso, hay una tendencia de menores valores de capacidad adaptativa en las zonas donde los servicios del estado son menores (por ejemplo zonas de frontera), donde los distritos que forman parte del territorio de las ASP y CB tienden a tener mayor proporción de población en situación de pobreza y menor acceso a los servicios.

Vulnerabilidad

Se concluye que no existe un valor único de vulnerabilidad para las ASP o CB sino que la interpretación de este valor dependerá del objeto de análisis; es decir, si se analiza el entorno forestal, servicios ecosistémicos o especies. En una misma ASP o CB se tendrá que desarrollar una diversidad de estrategias de adaptación, relacionadas con el grado de vulnerabilidad al cambio climático de cada objeto de interés.

Literatura citada

- ADGER, W.N., N. BROOKS, G. BENTHAM, M. AGNEW, AND S. ERIKSEN, 2004. *New indicators of vulnerability and adaptive capacity*, Norwich, UK.
- AGUILAR, E. ET AL., 2005. Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. *J. Geophys. Res.* 110: .
- ALLEN, C., 2009. Muerte regresiva del bosque inducida por el clima: ¿un fenómeno mundial en aumento? *Unasyuva* 231: p.43–49.
- BELLARD, C., C. BERTELSMEIER, P. LEADLEY, W. THULLER, AND F. COURCHAMP, 2012. Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecol. Lett.*
- BOTKIN, D.B., H. SAXE, M.B. ARAÚJO, R. BETTS, R.H.W. BRADSHAW, T. CEDHAGEN, P. CHESSON, AND P. TERRY, 2007. Forecasting the effects of global warming on biodiversity. *Bioscience* 57: p.227–236.
- CCSS (CAJA COSTARRICENSE DEL SEGURO SOCIAL), 2011. *Inventario de áreas de salud, sectores, EBAIS, sedes y puestos de visita periódica en el ámbito nacional al 31 de diciembre del 2010*, San José, CR: CCSS.
- CEPAL (COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE), 2007. *Turismo y condiciones sociales en Centroamérica: las experiencias en Costa Rica y Nicaragua*, Available at: <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/4/28854/L779.pdf>.
- CHU, C., N.E. MANDRAK, AND C.K. MINNS, 2005. Potential impacts of climate change on the distributions of several common and rare freshwater fishes in Canada. *Divers. Distrib.* 11: p.299–310.
- CIFUENTES-JARA, M., 2008. *Aboveground biomass and ecosystem carbon pools in tropical secondary forests growing in six life zones of Costa Rica*. Oregon State University.
- CNE (COMISIÓN NACIONAL DE PREVENCIÓN DE RIESGOS Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS - CR), 2012. Comités comunitarios de emergencia inscritos en la CNE a nivel nacional.
- DAWSON, T.P., S.T. JACKSON, J.I. HOUSE, I.C. PRENTICE, AND G.M. MACE, 2011. Beyond predictions: biodiversity conservation in a changing climate. *Science* (80-.). 332: p.53–8.
- DINADECO (DIRECCIÓN NACIONAL DE DESARROLLO DE LA COMUNIDAD - CR), 2012. Asociaciones de desarrollo inscritas en la DINADECO a nivel nacional.

- DIRECCIÓN DE AGUAS - MINAET (MINISTERIO DE AMBIENTE ENERGIA Y TELECOMUNICACIONES - CR), 2012. Registro Nacional de Concesiones de Agua y Cauces.
- DÖLL, P., AND J. ZHANG, 2010. Impact of climate change on freshwater ecosystems: a global-scale analysis of ecologically relevant river flow alterations. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* 7: p.1305–1342.
- DOMÍNGUEZ-DOMÍNGUEZ, O., E. MARTÍNEZ-MEYER, L. ZAMBRANO, AND G. PÉREZ-PONCE DE LEON, 2006. Using ecological-niche modeling as a conservation tool for freshwater species: live-bearing fishes in Central Mexico. *Conserv. Biol.* 20: p.1730–1739.
- ENDRIES, M., 2001. Aquatic species mapping in North Carolina using Maxent. p.21.
- FAO (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA), 2003. *Digital soil map of the world and derived soil properties*, Roma: FAO.
- FRANQUIS, F., AND A. INFANTE, 2003. Los bosques y su importancia para el suministro de servicios ambientales. *Rev. For. Latinoam.* 34: p.17–30.
- GBIF (GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY), 2001. Global Biodiversity Species Database. Available at: <http://data.gbif.org/occurrences/> [Accessed November 25, 2012].
- GIORGI, F., 2006. Climate change hot-spots. *Geophys. Res. Lett.* 33: .
- HANNAH, L., G. MIDGLEY, S. ANDELMAN, M. ARAÚJO, G. HUGHES, E. MARTINEZ-MEYER, R. PEARSON, AND P. WILLIAMS, 2007. Protected area needs in a changing climate. *Front. Ecol. Environ.* 3: p.131–138.
- HANNAH, L., G.F. MIDGLEY, T. LOVEJOY, W.J. BOND, M. BUSH, J.C. LOVETT, D. SCOTT, AND F.I. WOODWARD, 2002. Conservation of biodiversity in a changing climate. *Conserv. Biol.* 16: p.264–268.
- HARRIS, J.A., R.J. HOBBS, E. HIGGS, AND J. ARONSON, 2006. Ecological restoration and global climate change. *Restor. Ecol.* 14: p.170–176.
- HIJMANS, R., S. CAMERON, J. PARRA, P. JONES, AND A. JARVIS, 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* 25: p.1965–1978.
- HOLLAND, M.B., 2009. *Biodiversity conservation and poverty reduction in Central America: the influence of protected areas*. University of Wisconsin-Madison.

- IABIN (INTER-AMERICAN BIODIVERSITY INFORMATION NETWORK), 2010. IABIN's data base, consultado 15 enero 2013. Available at: <http://iabin.databasin.org>.
- IMBACH, P., L. MOLINA, B. LOCATELLI, O. ROUPSARD, P. CIAIS, L. CORRALES, AND G. MAHÉ, 2010. Climatology-based regional modelling of potential vegetation and average annual long-term runoff for Mesoamerica. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 14: p.1801–1817. Available at: <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/14/1801/2010/> [Accessed September 12, 2011].
- IMBACH, P., L. MOLINA, B. LOCATELLI, O. ROUPSARD, G. MAHÉ, R. NELSON, L. CORRALES, M. SCHOLZE, AND P. CIAIS, 2012. Modeling potential equilibrium states of vegetation and terrestrial water cycle of Mesoamerica under climate change scenarios. *J. Hydrometeorol.* 13: p.665–680.
- IMBACH, P., L.G. MOLINA, P. CIAIS, P.W. LEADLEY, AND B. LOCATELLI, 2013. Climate change and plant migration along corridors in fragmented landscapes of Mesoamerica. *Ecol. Evol.*
- INBIO (INSTITUTO NACIONAL DE BIODIVERSIDAD CR), 2001. Atta, base de datos de especímenes del INBio. Available at: <http://atta.inbio.ac.cr/>.
- INEC (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS - CR), 2012. X Censo Nacional de Población y VI de Vivienda. Available at: <http://www.inec.go.cr/> [Accessed August 30, 2012].
- IPCC (PANEL INTERGUBERNAMENTAL SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO), 2007. *Cambio Climático 2007 – Base de ciencia física. Contribución del Grupo de Trabajo I al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC. Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático 2007*, Londres: Cambridge University Press.
- JARVIS, A., H. REUTER, A. NELSON, AND E. GUEVARA, 2008. Hole-filled seamless SRTM data V4. Available at: <http://srtm.csi.cgiar.org>.
- KAPPES, H., AND P. HAASE, 2012. Slow, but steady: dispersal of freshwater molluscs. *Aquat. Sci.* 74: p.1–14.
- LEE, H.S.J., AND P.G. JARVIS, 1995. Trees differ from crops and from each other in their responses to increases in CO₂ concentration. *J. Biogeogr.* 22: p.323–330.
- LOVEJOY, T.E., AND L. HANNAH, 2005. *Climate change and biodiversity*, New Haven, US: Yale University Press.
- MALCZEWSKI, J., 1999. *GIS and multicriteria decision analysis*, New York: John Wiley & Sons.

- MALHI, Y., AND J. WRIGHT, 2004. Spatial patterns and recent trends in the climate of tropical rainforest regions. *Philos. Trans. R. Soc. London Ser. B Biol. Sci.* 359: p.311–29. Available at: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1693325&tool=pmcentrez&rendertype=abstract> [Accessed March 9, 2012].
- MAROSCHEK, M., R. SEIDL, S. NETHERER, AND M. LEXER, 2009. Climate change impacts on goods and services of European mountain forests. *Unasylva* 231: p.76–80.
- MARSHALL, N., P. MARSHALL, J. TAMELANDER, D. OBURA, D. MALLERET-KING, AND J. CINNER, 2010. *A Framework for Social Adaptation to Climate Change Sustaining Tropical Coastal Communities and Industries*, Gland.
- MAWDSLEY, J.R., R. O'MALLEY, AND D.S. OJIMA, 2009. A review of climate-change adaptation strategies for wildlife management and biodiversity conservation. *Conserv. Biol.* 23: p.1080–9.
- MCNYSET, K.M., 2005. Use of ecological niche modelling to predict distributions of freshwater fish species in Kansas. *Ecol. Freshw. Fish* 14: p.243–255.
- MEA (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT), 2005. *Ecosystems and human well-being: biodiversity synthesis*, Washington, DC: Island Press. Available at: <http://www.maweb.org/documents/document.354.aspx.pdf>.
- MEYERS, L.A., AND J.J. BULL, 2002. Fighting change with change: adaptive variation in an uncertain world. *Trends Ecol. Evol.* 17: p.551–557.
- MISSOURI BOTANICAL GARDEN, 2013. Tropicos, botanical information system. Available at: www.tropicos.org [Accessed December 9, 2012].
- MOHSENI, O., H.G. STEFAN, AND J.G. EATON, 2003. Global warming and potential changes in fish habitat in US streams. *Clim. Change* 59: p.389–409.
- MUSEO DE ZOOLOGÍA UNIVERSIDAD DE COSTA RICA, 2013. Colecciones de especímenes de aves, anfibios, reptiles, peces y macroinvertebrados.
- NEELIN, J.D., M. MÜNNICH, H. SU, J.E. MEYERSON, AND C.E. HOLLOWAY, 2006. Tropical drying trends in global warming models and observations. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 103: p.6110–5.
- NEILSON, R., 1995. A model for predicting continental-scale vegetation distribution and water balance. *Ecol. Appl.* 5: p.362–385.
- ORMEROD, S.J., M. DOBSON, A.G. HILDREW, AND C.R. TOWNSEND, 2010. Multiple stressors in freshwater ecosystems. *Freshw. Biol.* 55: p.1–4.

- PARMESAN, C., 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 37: p.637–669.
- PEARSON, R.G., AND T.P. DAWSON, 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Glob. Ecol. Biogeogr.* 12: p.361–371.
- PETERSON, A., V. SÁNCHEZ-CORDERO, J. SOBERÓN, J. BARTLEY, R. BUDDEMEIER, AND A. NAVARRO-SINGUENZA, 2001. Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae. *Ecol. Modell.* 144: p.21–30.
- PHILLIPS, S.J., R. ANDERSON, AND R. SCHAPIRE, 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Modell.* 190: p.231–259.
- PHILLIPS, S.J., AND M. DUDÍK, 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography (Cop.)*. 31: p.161–175.
- PNUD (PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO), AND UCR (UNIVERSIDAD DE COSTA RICA), 2011. *Atlas del Desarrollo Humano Cantonal de Costa Rica - 2011*, San José, CR.
- PRINGLE, C.M., 2001. Hydrologic connectivity and the management of biological reserves: a global perspective. *Ecol. Appl.* 11: p.981–998.
- RAMÍREZ-VILLEGAS, J., AND A. JARVIS, 2010. Downscaling Global Circulation Model outputs: the Delta method decision and Policy analysis. p.18.
- RAUSCHER, S.A., F. GIORGI, N.S. DIFFENBAUGH, AND A. SETH, 2008. Extension and intensification of the Meso-American mid-summer drought in the twenty-first century. *Clim. Dyn.* 31: p.551–571.
- REBETEZ, M., AND M. DOBBERTIN, 2004. Climate change may already threaten Scots pine stands in the Swiss Alps. *Theor. Appl. Climatol.* 79: p.1–9.
- SALA, O., E. CHAPIN, J. ARMESTO, E. BERLOW, J. BLOONFIELD, R. DIRZO, E. HUBER-SANWALD, L. HUENNEKE, R. JACKSON, A. KINZIG, R. LEEMANS, D. LODGE, H. MOONEY, N. OESTERHELD, M. SYKES, B. WALKER, M. WALKER, AND D. WALL, 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science (80-.)*. 287: p.1770–1773.
- SCHNEIDER, S., AND T. ROOT, 2002. *Wildlife responses to climate change: North American case studies*, Washington, DC: Island Press.
- SCOTT, D., J. MALCOLM, AND C. LEMIEUX, 2002. Climate change and modelled biome representation in Canada's national park system: implications for system planning and park mandates. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 11: p.475–484.

- SINAC (SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS DE CONSERVACIÓN - CR), 2009. *Grúas II: propuesta de ordenamiento territorial para la conservación de la biodiversidad de Costa Rica. Volumen III. Vacíos en la representatividad e integridad de la biodiversidad marina y costera*, San José, CR: Asociación Conservación de la Naturaleza.
- SINAC (SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS DE CONSERVACIÓN - CR), 2010a. *Medición de la efectividad de manejo del Área de Conservación Arenal Huetar Norte (ACAHN)*,
- SINAC (SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS DE CONSERVACIÓN - CR), 2010b. *Medición de la efectividad de manejo del Área de Conservación Cordillera Volcánica Central (ACVC)*,
- SINAC (SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS DE CONSERVACIÓN - CR), 2010c. *Medición de la efectividad de manejo del Área de Conservación Guanacaste (ACG)*,
- SINAC (SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS DE CONSERVACIÓN - CR), 2010d. *Medición de la efectividad de manejo del Área de Conservación La Amistad Caribe (ACLAC)*,
- SINAC (SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS DE CONSERVACIÓN - CR), 2010e. *Medición de la efectividad de manejo del Área de Conservación La Amistad Pacífico (ACLAP)*,
- SINAC (SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS DE CONSERVACIÓN - CR), 2010f. *Medición de la efectividad de manejo del Área de Conservación Osa (ACOSA)*,
- SINAC (SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS DE CONSERVACIÓN - CR), 2010g. *Medición de la efectividad de manejo del Área de Conservación Pacífico Central (ACOPAC)*,
- SINAC (SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS DE CONSERVACIÓN - CR), 2010h. *Medición de la efectividad de manejo del Área de Conservación Tempisque (ACAT)*,
- SINAC (SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS DE CONSERVACIÓN - CR), 2010i. *Medición de la efectividad de manejo del Área de Conservación Tempisque (ACT)*,
- SINAC (SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS DE CONSERVACIÓN - CR), 2010j. *Medición de la efectividad de manejo del Área de Conservación Tortuguero (ACTo)*,
- SMIT, B., D. MCNABB, AND J. SMITHERS, 1996. Agricultural adaptation to climatic variation. *Clim. Change* 33: p.7–29.
- THOMAS, C.D., A. CAMERON, R.E. GREEN, M. BAKKENES, L.J. BEAUMONT, Y.C. COLLINGHAM, B.F.N. ERASMUS, M.F. DE SIQUEIRA, A. GRAINGER, L. HANNAH, L. HUGHES, B. HUNTLEY, A.S. VAN JAARVELD, G.F. MIDGLEY, L. MILES, M.A. ORTEGA-HUERTA, A. TOWNSEND PETERSON, O.L. PHILLIPS, AND S.E. WILLIAMS, 2004. Extinction risk from climate change. *Nature* 427: p.145–148.

- THUILLER, W., S. LAVERGNE, C. ROQUET, I. BOULANGEAT, B. LAFOURCADE, AND M.B. ARAUJO, 2011. Consequences of climate change on the tree of life in Europe. *Nature* 470: p.531–534.
- THUILLER, W., S. LAVOREL, AND M. ARAÚJO, 2005. Niche properties and geographical extent as predictors of species sensitivity to climate change. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 14: p.347–357.
- THUILLER, W., S. LAVOREL, M.T. SYKES, AND M.B. ARAUJO, 2006. Using niche-based modelling to assess the impact of climate change on tree functional diversity in Europe. *Divers. Distrib.* 12: p.49–60.
- UICN (UNIÓN INTERNACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA), 2012. The IUCN red list of threatened species, Version 2012.2. Available at: www.iucnredlist.org [Accessed December 20, 2012].
- VAN VLIET, M.T.H., F. LUDWIG, J.J.G. ZWOLSMAN, G.P. WEEDON, AND P. KABAT, 2011. Global river temperatures and sensitivity to atmospheric warming and changes in river flow. *Water Resour. Res.* 47: p.W02544.
- WACHENFELD, D., J.E. JOHNSON, A. SKEAT, R. KENCHINGTON, P.A. MARSHALL, AND J. INNES, 2007. Introduction to the Great Barrier Reef and climate change. *In* J. E. Johnson and P. A. Marshall (Eds.) *Climate change and the Great Barrier Reef: a vulnerability assessment*. pp. 1–75, Australia: Great Barrier Marine Park Authority and Australian Greenhouse Office.
- WEBB, B.W., D.M. HANNAH, R.D. MOORE, L.E. BROWN, AND F. NOBILIS, 2008. Recent advances in stream and river temperature research. *Hydrol. Process.* 22: p.902–918.
- WELCH, D., 2005. What should protected area managers do in the face of climate change. *George Wright Forum* 22: p.75–93.
- WISZ, M.S., R.J. HIJMANS, J. LI, A.T. PETERSON, C.H. GRAHAM, A. GUISAN, AND N.P.S.D.W. GROUP, 2008. Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Divers. Distrib.* 14: p.763–773.
- WONGBUSARAKUM, S., AND C. LOPER, 2011. *Indicators to assess community-level social vulnerability to climate change: An addendum to SocMon and SEM-Pasifika regional socioeconomic monitoring guidelines*, CRISP; SPREP; TNC; SocMon; NOAA.
- XENOPOULOS, M.A., D.M. LODGE, J. ALCAMO, M. MÄRKER, K. SCHULZE, AND D.P. VAN VUUREN, 2005. Scenarios of freshwater fish extinctions from climate change and water withdrawal. *Glob. Chang. Biol.* 11: p.1557–1564.

VAN ZONNEVELD, M., J. KOSKELA, B. VINCETI, AND A. JARVIS, 2009. Impact of climate change on the distribution of tropical pines in Southeast Asia. *Unasylva* 231: p.24–29.

