

Cambio climático en la Amazonía

Desafíos, oportunidades y
recomendaciones para una
adaptación equitativa en
ecosistemas de agua dulce

Diciembre 2025

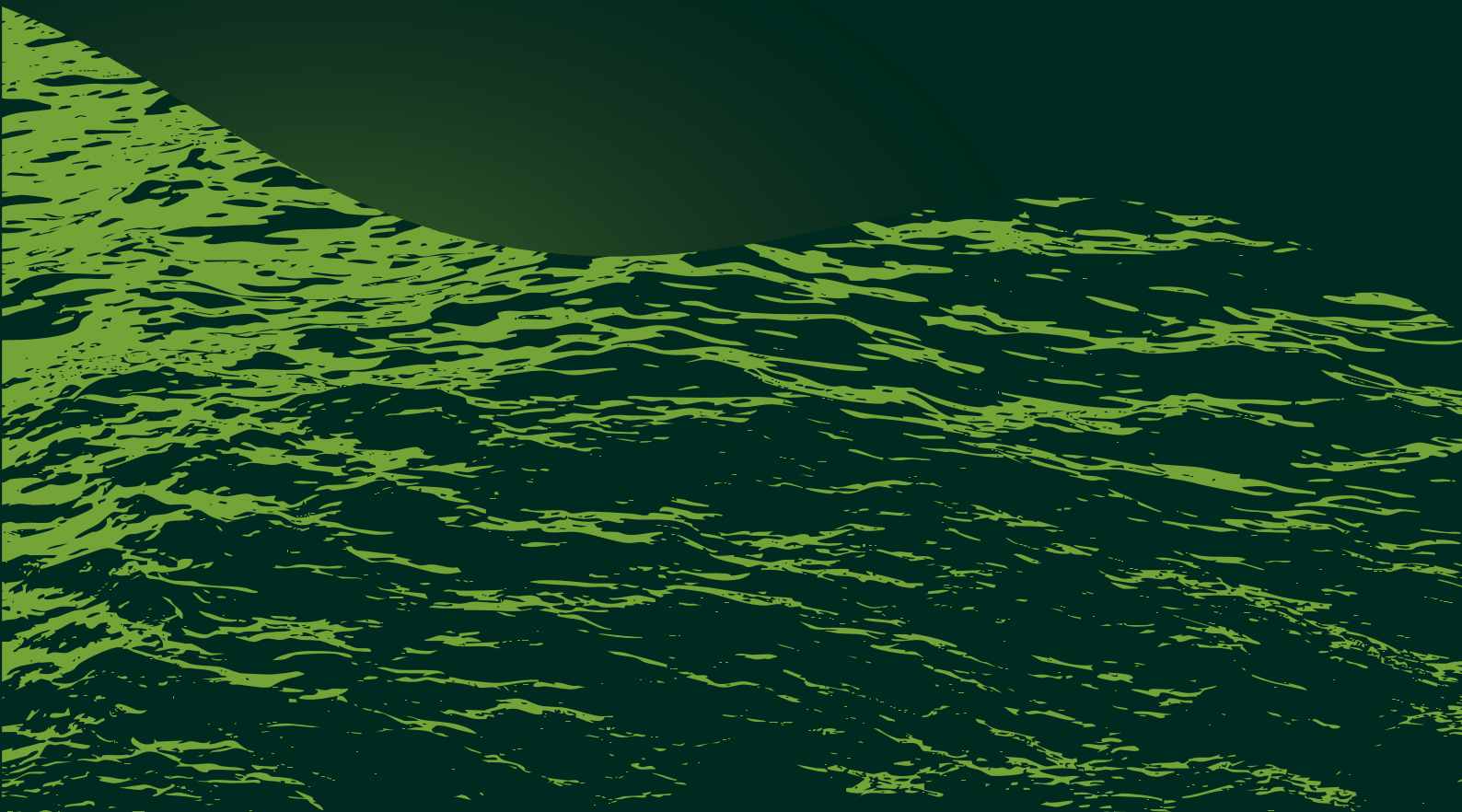
© Carolina Torres Dumont/TNC Photo Contest 2022

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a los equipos nacionales de TNC en Brasil, Colombia, Perú y Ecuador, así como al Equipo de Adaptación Global de TNC, al Equipo Global de Ciencias Climáticas y al Equipo Regional de Agua Dulce de TNC para América Latina, por su apoyo estratégico, sus aportes técnicos y su conocimiento del paisaje, los cuales hicieron posible la ejecución de este estudio. En particular, se reconoce a Paulo Petry por sus contribuciones al marco conceptual del paisaje y al contexto regional. Este estudio fue posible gracias al proyecto Adaptación en África y Amazonía (AAA).

Forma de citar:

Michaela Carvajal; Silvia Benítez, Rocío Sánchez, Fernanda Silva, Jeremy Bell, Nathan Karres. Edición: Juan Sebastián Lozano (2025). "Cambio climático en la Amazonía: Desafíos, oportunidades y recomendaciones para una adaptación equitativa en ecosistemas de agua dulce". Reporte Técnico. The Nature Conservancy.



Contenido

Glosario	1
Resumen Ejecutivo	2
Introducción	8
La Cuenca Amazónica	9
Una Ecorregión Bajo Amenaza	10
Objetivos de este Informe	11
1. Cambios en las Condiciones Hidrometeorológicas en Amazonía y Consecuencias para Sectores Claves	12
1.1 ¿Cómo está cambiando el clima en la Amazonía?	15
1.1.1 Temperatura	15
1.1.2 Precipitación	17
1.1.3 Caudal medio anual	19
1.1.4 Caudal estacional	20
1.2 Elementos del territorio expuestos a cambios en el caudal	23
1.2.1 Distribución poblacional	23
1.2.2 Territorios indígenas	26
1.2.3 Pesca	28
1.2.4 Agricultura	30
1.2.5 Ganadería	33
1.2.6 Hidroenergía	36
1.2.7 Áreas naturales protegidas	38
1.2.8 Otros elementos del territorio	39
1.3 Conclusiones	40
2. Cambio Climático y la Biodiversidad Dulceacuícola Amazónica	44
2.1 Impactos en la biodiversidad dulceacuícola	46
2.1.1 Planicies inundables	50
2.1.2 Regiones Andina y Piedemonte	51
2.2 Amenazas concurrentes	53
2.2.1 Cambio de la cobertura del suelo	53
2.2.2 Represas y otra infraestructura hidráulica	53
2.2.3 Contaminación difusa del agua y derrames de petróleo	53
2.2.4 Minería y contaminación por mercurio	54
2.2.5 Introducción de especies exóticas	54
2.2.6 Sobrepesca	54
2.3 Estrategias multiescalares para la adaptación	56
2.3.1 Nivel local	56
2.3.1 Nivel nacional	57
2.3.3 Nivel internacional y transfronterizo	58
2.4 Conclusiones	58

3. Soluciones Basadas en la Naturaleza para la Adaptación al Cambio Climático en la Amazonía	60
3.1 Paisajes de análisis	61
3.1.1 Paisaje Axial	62
3.1.2 Paisaje Andino	62
3.1.3 Paisaje de Llanuras	62
3.1.4 Paisaje Cratónico	62
3.2 Tipologías de SbN para la Amazonía	63
3.3 Propuesta de Implementación de SbN en la cuenca Amazónica	66
3.3.1 Protección de hábitat	66
3.3.2 Gestión agrícola regenerativa	69
3.3.3 Gestión ganadera sostenible	71
3.3.4 Restauración en planicies inundables.	73
3.4 Consideraciones clave para la implementación de SbN	75
3.4.1 Normas y estándares internacionales	75
3.4.2 Escalabilidad y rentabilidad	75
3.4.3 Complementariedad con otras soluciones y planificación a escala de paisaje	75
3.4.4 Monitoreo, investigación y fortalecimiento de capacidades	76
3.4.5 Gobernanza inclusiva y participación comunitaria	76
3.4.6 Financiamiento sostenible y colaboración intersectorial	76
3.4.7 Concienciación y participación pública	77
3.5 Adaptación equitativa como elemento fundamental de la implementación de acciones de adaptación climática	77
3.6 Conclusiones	79
4. Recomendaciones	84
4.1 Recomendaciones a Nivel de Paisaje	85
4.1.1 Paisaje Axial	85
4.1.2 Paisaje Andino	86
4.1.3 Paisaje de Llanuras	87
4.1.4 Paisaje Cratónico	88
4.2 Recomendaciones generales para la cuenca Amazónica para promover una adaptación equitativa que apoye la resiliencia ecosistémica y socio-económica en la cuenca amazónica	88
4.2.2 Producción sostenible y medios de vida	89
4.2.3. Reducción de presiones para aumentar resiliencia	89
4.2. 4. Monitoreo e información	89
4.2.6. Asegurar una adaptación equitativa	90
5. Referencias Bibliográficas	92

Glosario

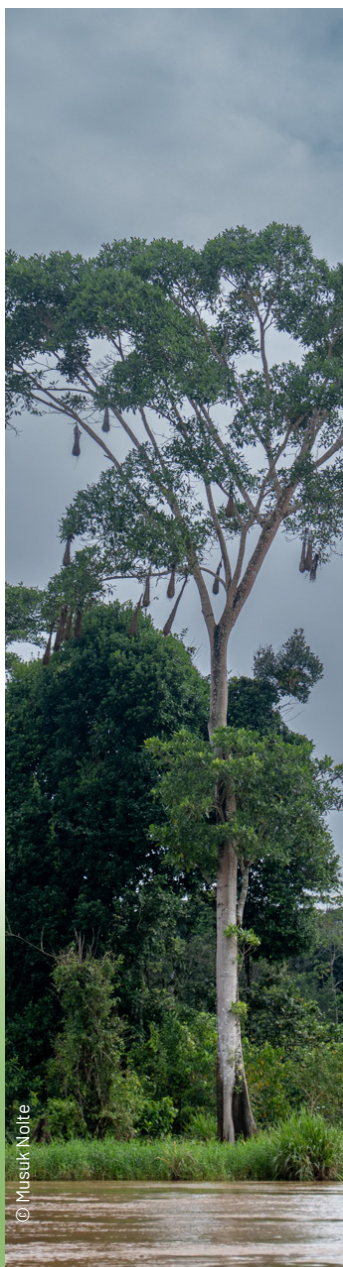
- Adaptación al cambio climático: Proceso mediante el cual las personas, comunidades, ecosistemas y sistemas productivos se ajustan al clima actual o previsto y a sus efectos. En los sistemas humanos busca moderar daños o aprovechar oportunidades, mientras que en los sistemas naturales la intervención humana puede facilitar dicho ajuste.
- Adaptación basada en ecosistemas (AbE): Enfoque de adaptación que integra la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en la planificación, gestión y ejecución de respuestas al cambio climático, utilizando la gestión sostenible, la conservación y la restauración de ecosistemas para reducir la vulnerabilidad humana y fortalecer la capacidad de adaptación.
- Amenaza: Evento físico potencial —de origen natural o inducido por actividades humanas— con capacidad de generar daños en vidas humanas, infraestructura, ecosistemas o servicios ecosistémicos.
- Capacidad de adaptación: Conjunto de atributos, recursos y fortalezas de una comunidad, sociedad u organización que permiten anticipar, prepararse y responder a los impactos del cambio climático, incluyendo la innovación, el acceso a la información y la existencia de una gobernanza flexible.
- Cambio climático: Cambio persistente en el clima de la Tierra, identificable a través de variaciones en la media o la variabilidad de sus propiedades, que puede deberse tanto a causas naturales como a actividades humanas.
- Exposición: Grado en que personas, medios de vida, especies, ecosistemas, infraestructuras o recursos se encuentran en lugares que podrían verse afectados negativamente por eventos climáticos extremos u otros fenómenos adversos.
- Resiliencia: Capacidad de un sistema —natural o social— para anticipar, absorber, adaptarse y recuperarse frente a eventos adversos, manteniendo o restableciendo sus funciones básicas esenciales.
- Riesgo: Resultado de la interacción entre la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad, que se expresa como la probabilidad de ocurrencia de impactos negativos y la magnitud de sus consecuencias.
- Soluciones basadas en la naturaleza (SbN): Acciones que protegen, gestionan de forma sostenible y restauran ecosistemas naturales o modificados para abordar desafíos sociales — como la seguridad alimentaria e hídrica o el cambio climático— de manera eficaz y adaptativa, generando beneficios simultáneos para la biodiversidad y el bienestar humano.
- Vulnerabilidad: Grado en que un sistema o una comunidad puede resultar afectado negativamente, determinado por su sensibilidad, su capacidad de adaptación y sus condiciones sociales, económicas y ambientales.

An aerial photograph of a wide river, likely the Amazon, showing extensive sandbars and meandering water channels. A small boat is visible on the left, and a person is walking on a sandbar on the right. The sky is clear and blue.

Resumen Ejecutivo

Cambio climático en la Amazonía: Desafíos, oportunidades y recomendaciones para una adaptación equitativa en ecosistemas de agua dulce

© Musuk Nolte



El incremento de temperatura proyectado al 2050 es del orden de

**+1,0 a
+1,4 °C**

La cuenca amazónica es uno de los sistemas socio-ecológicos más importantes del planeta: regula el clima regional y global, almacena enormes reservas de carbono, alberga la mayor selva tropical continua del mundo y sostiene directamente los medios de vida de más de 47 millones de personas. Al mismo tiempo, se encuentra bajo una presión creciente por la combinación del cambio climático con deforestación, incendios, expansión agropecuaria, minería, infraestructura y contaminación, lo que erosiona su resiliencia ecológica y la seguridad hídrica y alimentaria de sus habitantes.

Este informe, elaborado en el marco del proyecto *Adaptation in Africa & Amazon (AAA)* de The Nature Conservancy (TNC), integra proyecciones climáticas, modelación hidrológica y análisis sectoriales para la Amazonía en países de trabajo de TNC, con énfasis en los impactos del cambio climático sobre el agua dulce, la biodiversidad y los medios de vida, y en el potencial de las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) para fortalecer la resiliencia de la cuenca.

El documento se organiza en tres bloques: (1) cambios hidrometeorológicos y consecuencias para sectores clave; (2) impactos sobre la biodiversidad dulceacuícola y la pesca; y (3) un marco de SbN para la adaptación equitativa en cuatro grandes paisajes, acompañado de recomendaciones concretas a nivel de cuenca, país y territorio.

El clima cambiante en la Amazonía

Las proyecciones de cambio climático al 2050, basadas en modelos CMIP6 e insumos del programa ISIMIP3b, muestran un aumento sostenido de la temperatura del aire en toda la cuenca tanto en el escenario intermedio (SSP3-7.0) como el severo (SSP5-8.5). El incremento de temperatura proyectado es del orden de +1,0 a +1,4 °C, con valores más altos en el sur y centro de la Amazonía brasileña y en las cabeceras del río Madeira en Bolivia, y algo menores en la Amazonía andina.

La precipitación presenta un panorama más heterogéneo e incierto, pero con una señal preocupante: en gran parte de la cuenca se proyectan reducciones de hasta 7-10% en la lluvia media anual, con anomalías más severas en regiones como Amapá (Brasil), donde se alcanzan disminuciones del 13%, consistentes con sequías meteorológicas moderadas. Algunas áreas andinas y de la cuenca del Madeira podrían mostrar aumentos de precipitación, pero de forma localizada.

Encontramos también una reducción generalizada del caudal medio anual en buena parte de la cuenca, que en algunas zonas

críticas alcanza -30% bajo SSP3-7.0 y hasta -44% bajo SSP5-8.5, particularmente en la cabecera boliviana del río Madeira. Sólo ciertas áreas andinas y del este de Brasil muestran incrementos modestos de caudal, insuficientes para compensar las pérdidas generalizadas.

Más allá de los promedios anuales, el análisis estacional revela que el mayor estrés hídrico se concentra en la estación seca (junio-agosto) y en el inicio de la temporada de lluvias (septiembre-noviembre), con reducciones de caudal que superan en algunos casos el 35% y que podrían impedir la recarga adecuada del sistema antes de la siguiente temporada de lluvias. Esto favorece escenarios de sequías más prolongadas, niveles de ríos más bajos, pérdida de navegabilidad y mayor competencia por el agua entre sectores.

Impactos sobre los elementos del paisaje

La superposición de los cambios de caudal con la distribución de la población evidencia que las reducciones más relevantes ocurren precisamente donde viven grandes concentraciones humanas. Estados como Pará y Amapá (Brasil), regiones como Santa Cruz (Bolivia) y departamentos Andinos de Colombia, Ecuador y Perú verían reducciones significativas del caudal en zonas donde habitan desde cientos de miles hasta varios millones de personas, muchas de ellas con baja capacidad de adaptación.

Los territorios indígenas se encuentran entre los más expuestos: en Brasil, más de 38 millones de hectáreas y 138 territorios podrían enfrentar reducciones de caudal de hasta -20% ; en Pastaza (Ecuador), cerca de 3 millones de hectáreas y más de 20 territorios muestran descensos de hasta -20% ; y en Loreto (Perú), unos 12 millones de hectáreas y 893 territorios indígenas experimentarían cambios mixtos en la disponibilidad de agua, con aumentos y disminuciones de hasta $\pm 10\%$.

Sectores clave para la seguridad alimentaria y energética —pesca, agricultura, ganadería e hidroenergía— dependen directamente de la estabilidad del régimen hidrológico. El informe documenta cómo la combinación de caudales más bajos, temporadas secas más largas y lluvias más intensas en cortos periodos incrementa el riesgo de:

- Pérdidas de cultivos por inundaciones o sequías prolongadas.
- Mayor mortalidad de ganado y degradación de pastizales.
- Menor fiabilidad en la generación hidroeléctrica.
- Alteración de la estacionalidad de la pesca y de las rutas de navegación esenciales para el abastecimiento de alimentos y bienes.

Biodiversidad de agua dulce y pesca

El capítulo sobre biodiversidad dulceacuícola muestra que el cambio climático ya está transformando los ecosistemas de agua dulce amazónicos, modificando la temperatura, los regímenes de inundación y las condiciones fisicoquímicas de ríos, lagos y planicies inundables. Estos cambios afectan la reproducción, migración, alimentación y supervivencia de peces, tortugas, mamíferos acuáticos y otros componentes de la biota de agua dulce.

Estos impactos no actúan de forma aislada: se suman a presiones concurrentes como la deforestación y el cambio de uso del suelo, la fragmentación por represas e infraestructura fluvial, la contaminación por petróleo y mercurio, la introducción de especies exóticas y la sobrepesca. El resultado es un escenario de alta complejidad e incertidumbre, donde la respuesta de las poblaciones y comunidades biológicas es difícil de anticipar y la probabilidad de pérdidas locales o regionales de especies aumenta.

La pesca amazónica —fundamental para la seguridad alimentaria, cultural y económica de millones de personas— se ve particularmente amenazada. Cambios en el caudal medio anual y en el pulso de inundación afectan las señales que desencadenan migraciones, reproducción y crecimiento, reduciendo la previsibilidad de las capturas y presionando aún más a las comunidades que dependen del pescado como fuente principal de proteína y de ingresos.

El informe subraya que la adaptación de la biodiversidad y la de las comunidades humanas son inseparables: proteger los ecosistemas de agua dulce y sus especies es condición necesaria para sostener los medios de vida, la cultura y la seguridad alimentaria de la región.

Las Soluciones basadas en la Naturaleza ofrecen una ruta central para la adaptación

Frente a este panorama, el informe propone un marco de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) adaptado a la diversidad ecológica y social de la cuenca. Las SbN se definen como acciones que protegen, gestionan de forma sostenible y restauran ecosistemas para reducir riesgos climáticos y abordar desafíos sociales —como la seguridad hídrica y alimentaria— generando beneficios simultáneos para la biodiversidad y las personas.

El análisis se organiza en cuatro paisajes de intervención (Axial, Andino, Llanuras y Cratónico), donde se priorizan diferentes tipos de SbN, entre ellas:

➔ **Protección de hábitat:** consolidación de áreas protegidas y otras medidas de conservación, con énfasis en ríos de flujo libre, cabeceras y planicies inundables clave para la conectividad hídrica y ecológica.

➔ **Gestión agrícola regenerativa:** sistemas agroforestales, silvopastoriles, cercas vivas y prácticas de cosecha de agua que reducen la deforestación, mejoran la infiltración, disminuyen la erosión y mantienen la conectividad riparia.

➔ **Gestión ganadera sostenible:** intensificación sostenible y reconversión productiva orientadas a reducir la expansión sobre bosques y humedales.

➔ **Restauración de planicies inundables y humedales:** recuperación de áreas degradadas para que funcionen como esponjas naturales, amortiguando inundaciones y sequías y sosteniendo la producción pesquera.

El informe también enfatiza una serie de condiciones habilitantes para que las SbN sean efectivas: alinearse con normas y estándares internacionales; asegurar escalabilidad y sostenibilidad financiera; integrarse con infraestructura “gris” (por ejemplo, plantas de tratamiento, sistemas de riego o centrales hidroeléctricas); fortalecer monitoreo, investigación y capacidades

técnicas; y promover una gobernanza inclusiva, con participación efectiva de Pueblos Indígenas y Comunidades Locales (IP&LCs).

Un elemento transversal es la adaptación equitativa: las acciones de SbN deben reconocer las desigualdades sociales y de poder, priorizar a las poblaciones más vulnerables al clima y asegurar que los beneficios —y posibles riesgos— se distribuyan de forma justa, evitando la mala adaptación y reforzando los derechos y el liderazgo de comunidades locales e indígenas.

Recomendaciones clave para políticas y toma de decisiones

El capítulo final sintetiza un conjunto de recomendaciones orientadas a tomadores de decisiones en gobiernos nacionales y subnacionales, organismos regionales, cooperación internacional y sector privado. Entre las más relevantes se destacan:

1

Proteger y restaurar ecosistemas estratégicos para el agua y la biodiversidad

- Establecer y consolidar áreas de protección hídrica en cabeceras y márgenes fluviales, especialmente en zonas de transición entre países, para salvaguardar la calidad y cantidad de agua y los corredores de biodiversidad.



© Daniel Govino

- Mantener la conectividad fluvial y ecológica mediante la conservación de ríos de flujo libre, planicies inundables y hábitats críticos para especies migratorias, minimizando nuevas barreras y evaluando cuidadosamente la expansión de infraestructura.
- Proteger y restaurar páramos, humedales altoandinos, turberas y bosques inundables, que actúan como amortiguadores frente a eventos extremos y reservorios clave de carbono.

2

Transformar los sistemas productivos hacia modelos regenerativos y resilientes

- Promover la agricultura y ganadería regenerativa (por ejemplo, agroforestería, sistemas silvopastoriles, manejo de suelos y agua) que reduzcan la deforestación, mejoren la infiltración de agua y sostengan la productividad en un clima más variable.

- Fortalecer políticas pesqueras adaptativas, lideradas por comunidades, que protejan ciclos reproductivos y ajusten el esfuerzo pesquero a las condiciones hidrológicas cambiantes, manteniendo la pesca como pilar de seguridad alimentaria.

3

Reducir presiones para ganar resiliencia

- Separar el crecimiento económico de la deforestación, la minería no regulada y la expansión de infraestructura en zonas de alto valor ecológico e hídrico, mediante ordenamiento territorial, incentivos económicos verdes y control efectivo.
- Integrar criterios de resiliencia hídrica y climática en decisiones de infraestructura, energía y transporte, evitando que nuevas inversiones profundicen la vulnerabilidad de ecosistemas y comunidades.

4

Fortalecer monitoreo, información y cooperación regional

- Invertir en sistemas de monitoreo climático, hidrológico, ecológico y socioeconómico de largo plazo, incluyendo redes de monitoreo comunitario y pesquero, para informar decisiones adaptativas y evaluar la efectividad de las SbN.
- Potenciar la cooperación transfronteriza a través de instancias como la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA) y otros foros multilaterales, alineando criterios para la conservación de ecosistemas de agua dulce, la gestión de agua y pesquerías y la planificación a escala de cuenca.

5

Asegurar una adaptación equitativa, centrada en las personas

- Reconocer explícitamente que el cambio climático afecta de manera diferenciada a mujeres, pueblos indígenas, comunidades rurales, jóvenes y otros grupos en situación de vulnerabilidad, y priorizar su participación y liderazgo en el diseño e implementación de soluciones.
- Fortalecer las capacidades y el liderazgo local para la adaptación basada en la naturaleza, mediante formación técnica, acceso a financiamiento y apoyo a la gobernanza territorial, de forma que las soluciones sean viables y sostenibles en el tiempo.

Los resultados de este informe muestran que la Amazonía se encuentra en una encrucijada crítica: las decisiones que se tomen en la próxima década serán determinantes para evitar puntos de no retorno ecológicos, sostener la seguridad hídrica y alimentaria de millones de personas y mantener su rol regulador del clima a escala continental y global. Las Soluciones basadas en la Naturaleza, implementadas de manera equitativa y con liderazgo local, ofrecen una oportunidad concreta para avanzar hacia una Amazonía más resiliente, donde las estrategias de desarrollo, conservación y adaptación se refuercen mutuamente en lugar de competir entre sí.

A large, leafy tree stands in a body of water, its branches spreading out. The sky is blue with white clouds. The water is dark and calm. The tree's reflection is visible in the water.

Introducción

© Musuk Nolte

Cambio climático en la Amazonía: Desafíos, oportunidades y recomendaciones para una adaptación equitativa en ecosistemas de agua dulce



© Fernando Lessa

Se estima que hasta un

50%

de la lluvia que cae en la región proviene de humedad reciclada dentro de la misma cuenca

La Cuenca Amazónica

La cuenca del río Amazonas es una de las más importantes del planeta, no solo por su tamaño —7 millones de km², cerca del 40% de Sudamérica—, sino también por su papel esencial en la regulación del clima, la conservación de la biodiversidad y el sustento de millones de personas. Este extenso sistema fluvial se reparte entre ocho países (Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, Perú, Surinam y Venezuela) además del territorio de Guayana Francesa, albergando el bosque tropical más grande del mundo (SPA, 2021). El río Amazonas —el más caudaloso del planeta— descarga en promedio alrededor de 200.000 m³ de agua por segundo, lo que representa aproximadamente entre 16 y 20% del aporte fluvial mundial (Latrubesse et al., 2017a). Esta enorme descarga sostiene una red de más de 50 ecosistemas acuáticos y terrestres interconectados, incluyendo humedales, bosques inundables, lagos y numerosos tributarios, así como a más de 47 millones de personas cuya forma de vida depende directamente de los ritmos naturales del agua en la cuenca (SPA, 2021).

Más allá de sus dimensiones físicas, la cuenca amazónica desempeña funciones vitales para la estabilidad climática regional y global. Sus bosques reciclan y producen gran parte de sus propias precipitaciones a través de la evapotranspiración: se estima que hasta un 50% de la lluvia que cae en la región proviene de humedad reciclada dentro de la misma cuenca (Spracklen et al., 2012). Este proceso ayuda a regular los patrones de lluvia en Sudamérica; por ejemplo, la Amazonía aporta hasta un 70% de las lluvias en la cuenca del Río de la Plata, al sur del continente (Marengo & Espinoza, 2016). Además, la Amazonía almacena aproximadamente el 20% del carbono total en biomasa contenido en la vegetación terrestre del planeta (Malhi et al., 2008), lo que históricamente hace que se considere un sumidero de carbono crítico a nivel global. A esto se suma un reservorio subterráneo clave: las turberas amazónicas, especialmente en el antepaís Pastaza-Marañón en el noroeste peruano, almacenan más de tres mil millones de toneladas de carbono (> 3 Pg C) en sus suelos orgánicos, constituyendo algunos de los ecosistemas más densos en carbono de la región (Draper et al., 2014).

No obstante, investigaciones recientes advierten que dicha capacidad se está reduciendo drásticamente e incluso invirtiendo: por primera vez, partes de la Amazonía están emitiendo más CO₂ del que absorben (Gatti et al., 2021). Cuando la Amazonía pasa de sumidero a fuente de carbono, pierde su función amortiguadora en el ciclo global de carbono y se

debilita su papel regulador del clima, porque el aumento de CO₂ intensifica el forzamiento radiativo y, a escala regional, la deforestación y los incendios reducen la evapotranspiración y el reciclaje de humedad, alterando patrones de temperatura y precipitación (e.g., estaciones secas más largas y lluvias menos predecibles). Estos cambios actúan como precursores del desequilibrio hidrológico.

Una Ecorregión Bajo Amenaza

La resiliencia ecológica de la cuenca amazónica se encuentra cada vez más comprometida debido a la rápida degradación y pérdida de bosques. Desde 2019, actividades como la tala ilegal, la extracción de hidrocarburos y la minería, además de los incendios provocados y la conversión de bosques en pastizales o cultivos agroindustriales han generado impactos alarmantes incluso dentro de áreas protegidas (Aragão et al., 2018; Sonter et al., 2017; SPA, 2021). En particular, la minería de oro está asociada con contaminación por mercurio que afecta ríos, peces y salud humana, y la industria petrolera ha generado impactos acumulativos en zonas como la Amazonía de Ecuador, ampliando la huella ambiental y social. La evidencia muestra que la minería de gran escala induce deforestación directa e indirecta a decenas de kilómetros de los yacimientos, mientras que la extracción de bauxita y cobre en la Amazonía oriental presenta amenazas por residuos y alteraciones del paisaje (Gerson et al., 2022). Tan solo en Brasil, la deforestación alcanzó niveles históricos en la última década, afectando seriamente territorios indígenas y unidades de conservación que antes funcionaban como barreras contra la degradación (Walker et al., 2020). Esta degradación erosiona la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, a la vez que amplifica los efectos del cambio climático al reducir la capacidad de almacenamiento de carbono y alterar el ciclo hidrológico.

La región enfrenta cada vez más eventos hidrometeorológicos severos: en apenas quince años, la Amazonía ha registrado sequías excepcionales en un 20% del tiempo (2005, 2010 y 2015), e inundaciones de gran magnitud en proporción similar (2009, 2012, 2014 y 2021), muchos de ellos considerados eventos de siglo (Marengo & Espinoza, 2016). Estas tendencias indican un ciclo hidrológico más volátil, con lluvias intensificadas en la temporada húmeda y sequías más largas y cálidas en la estación seca (SPA, 2021).

Los impactos no se limitan al ambiente: las comunidades indígenas y rurales, cuyo sustento depende directamente de la salud de los ecosistemas, se ven especialmente expuestas a estas amenazas. Incendios recurrentes han ocasionado la pérdida de cultivos, tierras y viviendas, además de consecuencias graves para la salud y el bienestar comunitario (Aragão et al., 2018).

Investigaciones recientes advierten que la cuenca amazónica podría estar acercándose a puntos de inflexión ecológicos. Se estima que si la deforestación acumulada supera el 20-25% de la cobertura forestal original, la Amazonía podría perder su capacidad de autorregularse, transformándose en sabanas



En apenas quince años, la Amazonía ha registrado sequías excepcionales en un

20%
del tiempo.

degradadas (Lovejoy & Nobre, 2019). Actualmente, se calcula que ya se ha perdido entre 17 y 20% de la cobertura original (Walker et al., 2020), lo que nos sitúa peligrosamente cerca de ese umbral. Cruzar este límite implicaría la pérdida masiva de biodiversidad, el colapso del almacenamiento de carbono y alteraciones severas en los patrones climáticos del continente y del planeta (SPA, 2021). Evitar ese desenlace requiere revertir con urgencia las tendencias de deforestación y degradación que empujan a la región hacia un punto de no retorno de los ecosistemas amazónicos, priorizando la protección de bosques intactos, el control de incendios y la restauración ecológica, junto con acciones de mitigación climática coherentes a escala regional y global.

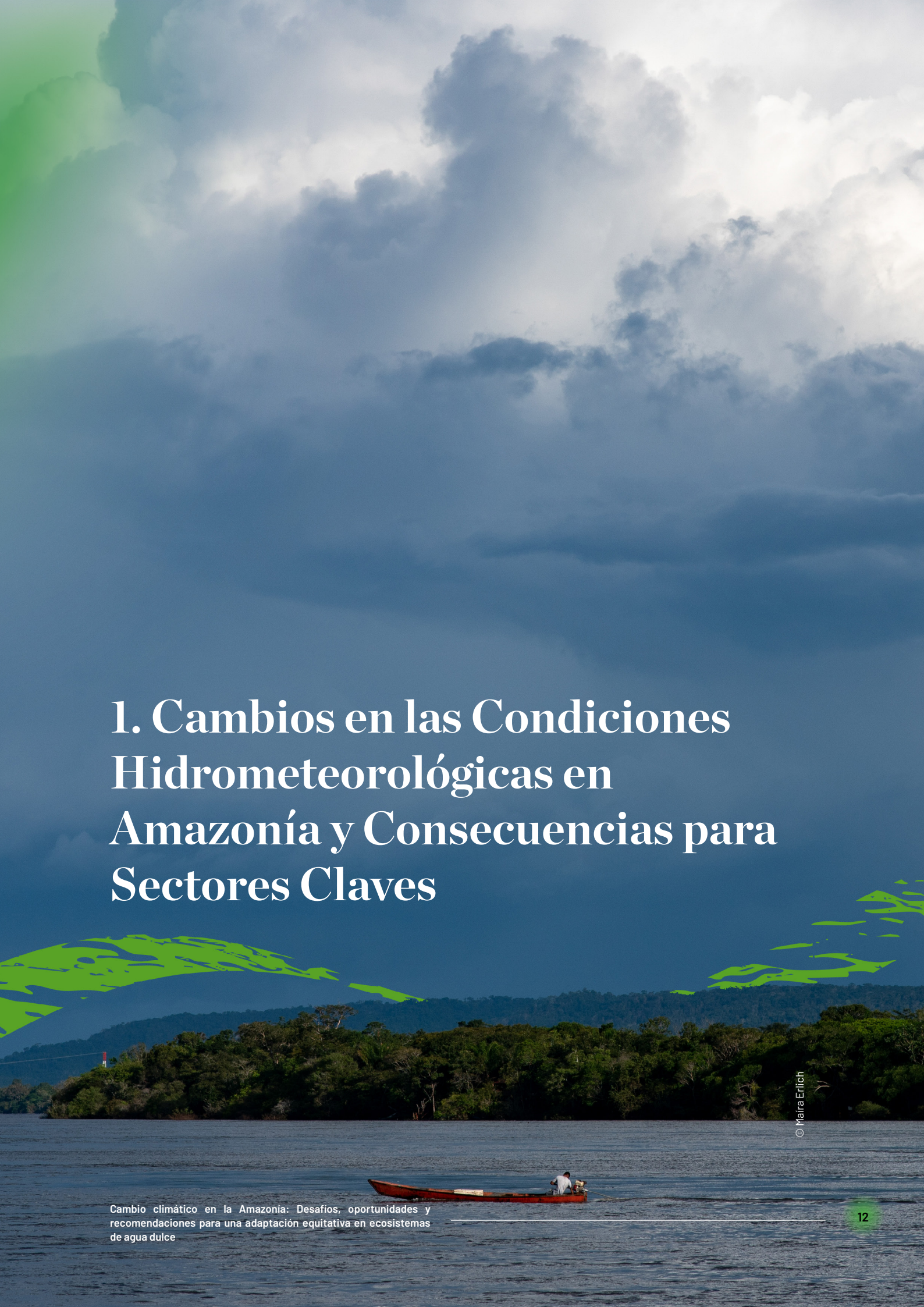
Objetivos de este Informe

Este informe se enmarca en el proyecto *Adaptation in Africa & Amazon (AAA)*, desarrollado por The Nature Conservancy, entre 2023 y 2025, cuyo propósito fue generar conocimiento aplicado que oriente estrategias de adaptación al cambio climático en regiones críticas de Kenia y Zambia en África, y de la Amazonía Brasileña, Colombiana, Peruana y Ecuatoriana. Este documento —enfocado en la región amazónica— integra proyecciones climáticas, análisis hidrológicos y evaluaciones sectoriales para identificar las principales amenazas climáticas para la biodiversidad, los ecosistemas y las poblaciones humanas, al tiempo que explora el potencial de las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) como respuesta a estos desafíos. El informe pretende ser una guía para el trabajo de adaptación al cambio climático en la cuenca Amazónica tanto para audiencias al interno de TNC como para socios y organizaciones que estén trabajando en esa geografía. Además, ofrecer una visión general de las amenazas climáticas, específicamente de sequía e inundaciones en la cuenca Amazónica, los impactos de esta variabilidad climática en los ecosistemas de agua dulce, la biodiversidad de agua dulce, y las poblaciones indígenas y comunidades locales que viven o se abastecen del recurso hídrico en esta cuenca. Finalmente, el informe ofrece recomendaciones generales, de identificación de áreas de mayor probabilidad de afectación y con un análisis de implementación de soluciones basadas en la naturaleza y de política pública que pueden contrarrestar los impactos previamente mencionados y fortalecer la resiliencia de las poblaciones y de los ecosistemas afectados.

El informe se organiza en tres secciones:

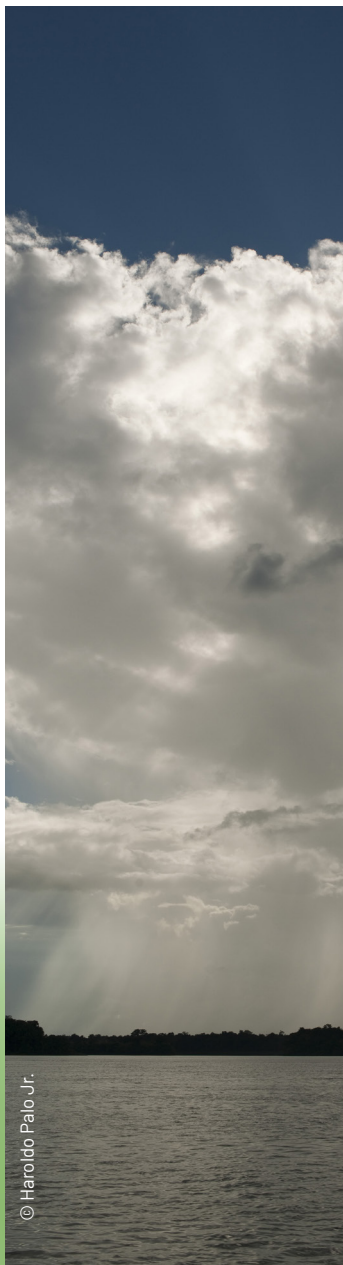
1. Cambios en las condiciones hidrometeorológicas en la Amazonía y consecuencias para sectores claves
2. Cambio Climático y la Biodiversidad Dulceacuícola Amazónica
3. Soluciones Basadas en la Naturaleza para la Adaptación al Cambio Climático en la Amazonía

Adicionalmente, presentamos casos de estudio sobre evaluaciones nacionales de cambio climático y ejercicios de implementación de SbN en la cuenca. En el marco del proyecto AAA, las unidades de negocio de The Nature Conservancy de Ecuador, Brasil, Colombia y Perú definieron regiones/territorios prioritarios a escala subnacional para profundizar los estudios y pilotear soluciones, mediante procesos participativos con sus socios locales y con la participación activa de Pueblos Indígenas y Comunidades Locales (IP&LCs), a fin de comprender los retos locales y diseñar respuestas desde la perspectiva territorial. El informe concluye con recomendaciones de acción y política orientadas a mejorar la resiliencia de comunidades y ecosistemas frente a un escenario de creciente variabilidad climática.



1. Cambios en las Condiciones Hidrometeorológicas en Amazonía y Consecuencias para Sectores Claves

© Maira Enlich



© Haroldo Palo Jr.

La Amazonía constituye uno de los grandes centros de convección atmosférica en la zona intertropical.

La Amazonía constituye uno de los grandes centros de convección atmosférica en la zona intertropical. Esta dinámica genera lluvias intensas y persistentes que, junto con la gran superficie de la cuenca, alimentan el sistema fluvial más caudaloso del planeta. La fuerte estacionalidad del régimen hidrológico condiciona la vida de millones de personas, especialmente de las comunidades ribereñas, cuya movilidad, agricultura y pesca dependen de los pulsos del agua (SPA, 2021). Tal dependencia convierte a la región en un espacio altamente amenazado frente a los efectos del cambio climático.

En este capítulo, buscamos comprender cómo el cambio climático afecta los medios de vida de los habitantes de la cuenca, con el objetivo de orientar estrategias de adaptación y conservación más eficaces, lideradas por comunidades y cocreadas con ellas. Presentamos un análisis regional de proyecciones de cambio climático en la Amazonía al año 2050, evaluando los cambios esperados en variables clave como la temperatura del aire, la precipitación y el caudal de los ríos. Asimismo, exploramos las posibles consecuencias para sectores estratégicos como la agricultura, la ganadería, la pesca, la generación hidroeléctrica y las áreas naturales protegidas.

Para cumplir con este objetivo, simulamos el clima a 2050 a partir de modelos climáticos reconocidos globalmente. En particular, utilizamos datos del *Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project* (ISIMIP), en su tercera fase (ISIMIP3b), un esfuerzo científico global que busca homogeneizar el uso de proyecciones climáticas para evaluar impactos en diferentes sectores. Estas proyecciones se alimentan de la última generación de modelos climáticos globales producidos en el marco del *Coupled Model Intercomparison Project Phase 6* (CMIP6), un programa coordinado por el *World Climate Research Programme* (WCRP) que reúne decenas de modelos de centros de investigación de todo el mundo para simular la evolución del clima terrestre bajo distintos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero.

Nuestro análisis se enfocó en tres variables clave: temperatura del aire, precipitación y caudal de los ríos, bajo dos de los escenarios futuros de desarrollo socioeconómico y emisiones, o *Shared Socioeconomic Pathways* (SSPs) (IPCC, 2022), como se les conoce comúnmente:

- SSP3-7.0 (intermedio), que describe un mundo con desarrollo desigual, baja cooperación internacional y limitada acción climática, resultando en emisiones intermedias-altas.
- SSP5-8.5 (severo), un escenario de altas emisiones, asociado a un rápido crecimiento económico basado en un uso intensivo de combustibles fósiles.

Primero, evaluamos las proyecciones climáticas para el periodo 2015–2050 con un período histórico de referencia (1981–2010), verificando la habilidad de los modelos para reproducir temperatura y precipitación observadas en la cuenca amazónica. Posteriormente, utilizamos esas proyecciones de temperatura y precipitación como forzantes en el modelo hidrológico HydroBID (IDB & RTI, 2014), para generar las salidas hidrológicas (i.e., simulaciones de caudal de descarga), que comparamos con el periodo histórico 1992–2014. En síntesis: las variables climáticas (i.e., temperatura y precipitación) provienen de los escenarios de cambio climático, mientras que los caudales simulados son resultados derivados de HydroBID a partir de dichos insumos. Los resultados mostraron consistencia tanto en la temperatura y precipitación, como en los caudales entre los periodos de simulación y referencia.

Con las series temporales corregidas y validadas, estimamos los cambios proyectados: calculamos las variaciones absolutas en temperatura y los cambios porcentuales en precipitación y caudal. Finalmente, evaluamos cómo estas alteraciones podrían afectar sectores estratégicos para la región, como la agricultura, la ganadería, la pesca la generación hidroeléctrica y las áreas naturales protegidas, todos ellos altamente dependientes de la disponibilidad y estabilidad del recurso hídrico.

Cuadro de texto 1. Conceptos clave y condiciones hidrometeorológicas en la Amazonía

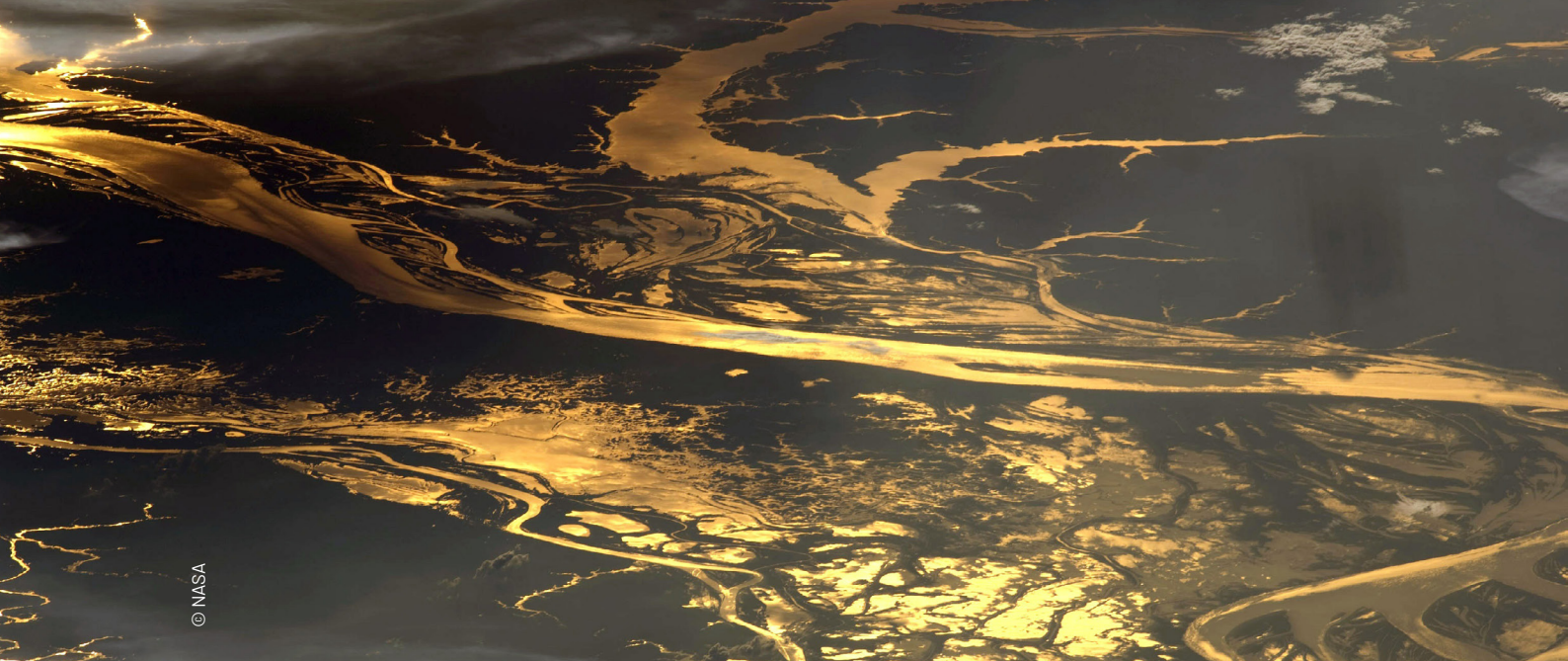
Temperatura del aire	Es la medida de qué tan caliente o frío está el aire en un lugar y momento determinados, y depende del movimiento de las moléculas del aire. Debido a la radiación solar intensa y constante, la temperatura del aire en la Amazonía es similar a lo largo del año, con temperaturas anuales que promedian los 27–29 °C en la región ecuatorial central.
Precipitación	Es el proceso mediante el cual el vapor de agua en la atmósfera se condensa y cae a la superficie como lluvia, nieve, granizo o aguanieve. Es una etapa clave del ciclo hidrológico. En la Amazonía, los regímenes de precipitación varían según el hemisferio. En el sur, el pico ocurre entre diciembre y marzo; en la zona central y el delta del Amazonas, entre marzo y junio; y al norte del ecuador, entre junio y septiembre. La temporada de lluvias finaliza en abril en el sur y en septiembre en el norte.
Caudal	Es la cantidad de agua que fluye por un río en un momento determinado, medido en unidades de volumen por tiempo (e.g., metros cúbicos por segundo- m³/s). La cuenca del río Amazonas y sus afluentes descargan entre el 16% y el 20% del flujo fluvial global hacia los océanos (Latrubesse et al., 2017b). Los tramos sur y occidental del río alcanzan su punto máximo de caudal entre marzo y mayo, mientras que en la zona central el pico ocurre generalmente en junio, influenciado por afluentes del norte y sur.
Nivel de agua	Es la altura del agua desde el lecho del río hasta su superficie, expresada en metros o centímetros. Es clave para monitorear el caudal, evaluar amenazas de inundación y gestionar recursos hídricos. En la Amazonía, los niveles altos y bajos del río ocurren con meses de desfase respecto a las estaciones húmedas y secas. En general, los ríos del sur alcanzan su punto máximo entre abril y mayo, y los del norte entre mayo y junio (Marengo & Espinoza, 2016)
Evapotranspiración	Es la suma de la evaporación directa del agua desde la superficie y la transpiración de las plantas. En la Amazonía, este proceso regula el clima regional y continental al eliminar calor de la superficie terrestre y liberar humedad a la atmósfera, lo que favorece la formación de nubes y precipitación. La región es uno de los tres principales centros de convección de la zona intertropical, junto con África Central y el Sudeste Asiático.

Sequía meteorológica	Es un periodo prolongado con precipitaciones por debajo del promedio climático de referencia (basado en al menos 30 años). Se clasifica como moderada (10-50 % por debajo), severa (50-75 %) o extrema (más del 75 % por debajo).
Sequía hidrológica	Se presenta cuando el caudal de un río cae por debajo de los niveles normales históricos. Se clasifica como moderada (10-50 % por debajo del promedio), severa (50-75 %) o extrema (más del 75 % por debajo).
Inundaciones	Son el desbordamiento de agua sobre zonas normalmente secas. En la Amazonía ocurren cuando las lluvias superan la capacidad del suelo y los sistemas de drenaje, especialmente durante eventos extremos de precipitación con valores 30 % o más por encima del promedio histórico. Las inundaciones recientes han causado el desborde en ciudades y afectaciones graves en infraestructura.
Eventos extremos recientes	La cuenca amazónica ha experimentado eventos calificados como “del siglo” por su magnitud, incluyendo sequías severas en 2005, 2010 y 2015-16, e inundaciones en 2009, 2012, 2014 y 2021. Estos eventos han tenido efectos devastadores sobre las poblaciones locales, la infraestructura y los ecosistemas, intensificando incendios forestales y emisiones de carbono.
Escenarios de cambio climático	Los escenarios de cambio climático representan caminos posibles que podría seguir el clima global, dependiendo de cómo evolucionen las emisiones de gases de efecto invernadero en las próximas décadas. Estos escenarios, desarrollados en el marco del proyecto CMIP6, combinan modelos climáticos con trayectorias socioeconómicas globales conocidas como SSP (<i>Shared Socioeconomic Pathways</i>). Por ejemplo, el escenario SSP1-2.6 (optimista) plantea un futuro sostenible con cooperación internacional y reducción de emisiones; el SSP2-4.5 (intermedio) representa una trayectoria intermedia, donde las tendencias actuales continúan sin grandes cambios estructurales; el SSP3-7.0 (intermedio) describe un mundo fragmentado con alta desigualdad y escasa cooperación climática; y el SSP5-8.5 (severo) proyecta un desarrollo intensivo basado en combustibles fósiles, con escasas medidas de mitigación. Estos escenarios permiten anticipar cómo podrían variar la temperatura, las lluvias o los caudales en función de nuestras decisiones, y constituyen una base clave para planificar estrategias de adaptación en la cuenca amazónica

1.1 ¿Cómo está cambiando el clima en la Amazonía?

1.1.1 Temperatura

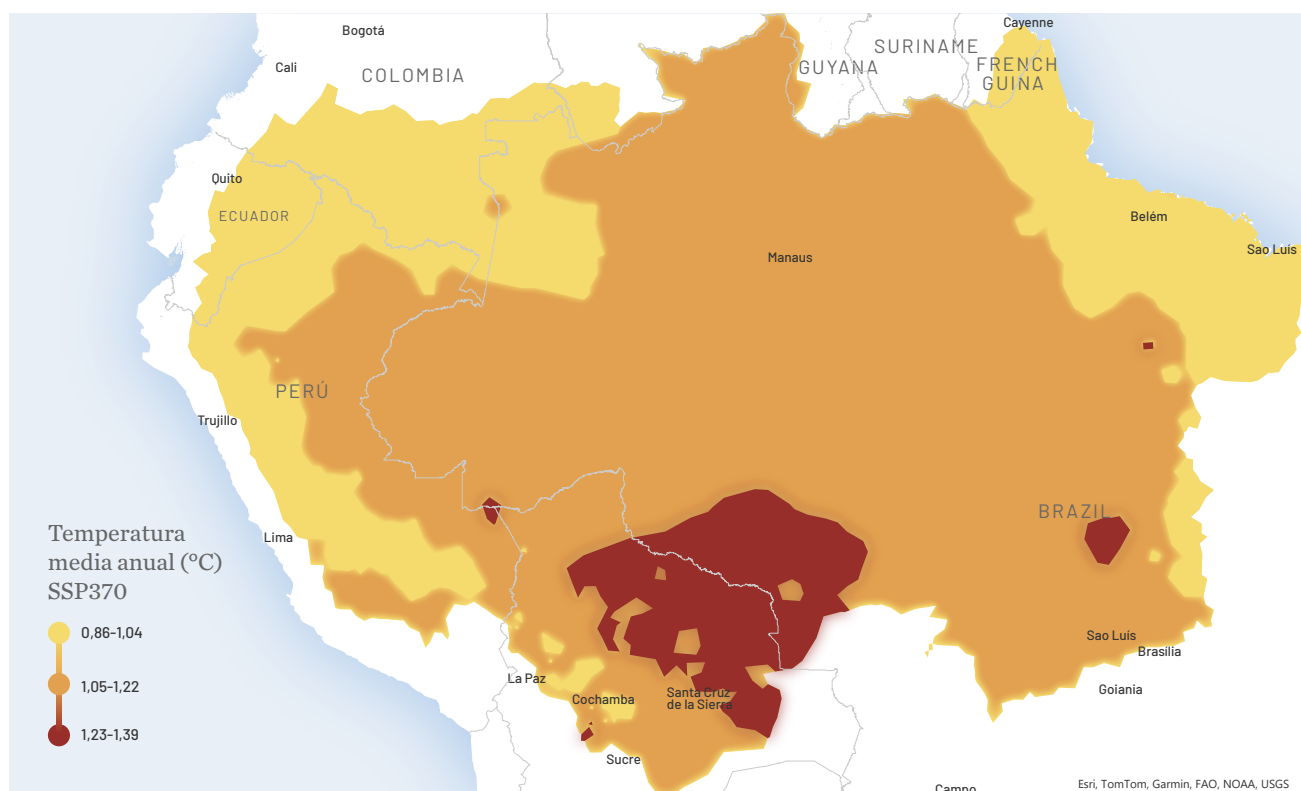
Los modelos climáticos muestran una tendencia consistente con incremento de temperatura en toda la cuenca amazónica en los dos escenarios simulados de cambio climático. En el escenario intermedio (SSP3-7.0), los aumentos más notorios se concentran en el sur de la Amazonía brasilera y en la cabecera del río Madeira en Bolivia, con incrementos que superan +1,2 °C. En contraste, la Amazonía andina y la región colombiana de la cuenca presentan aumentos más moderados, cercanos a +0,9 °C – +1,0 °C.

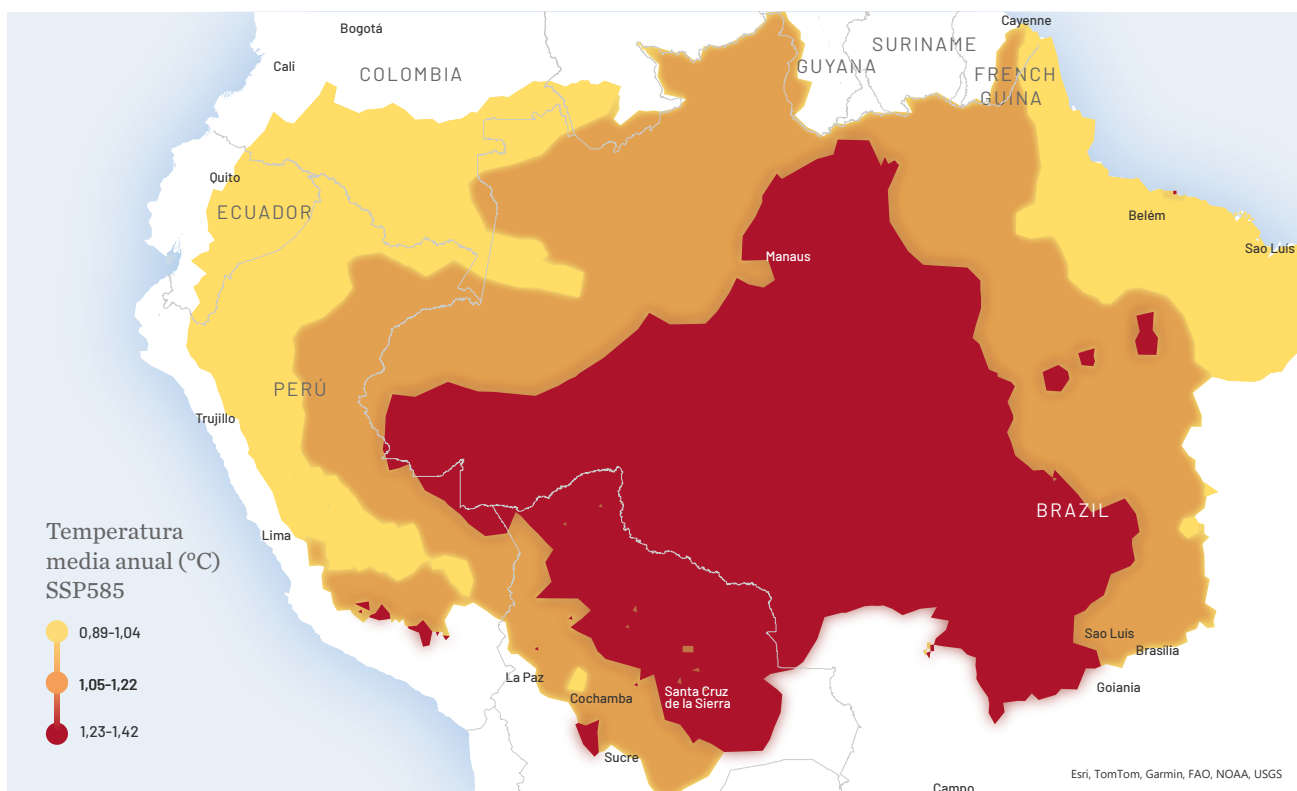


© NASA

Bajo el escenario más severo (SSP5-8.5), la magnitud y extensión espacial del calentamiento se intensifican: se registran valores de hasta $+1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el sur y centro de la Amazonía brasilera y la cabecera del Madeira, mientras que gran parte de la Amazonía peruana experimenta incrementos entre $+1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. La región andina mantiene los aumentos más bajos, aunque cercanos a $+1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 1).

Figura 1. Cambios en la temperatura media anual (2015-2050) con respecto al período 1981-2010 para los escenarios SSP3-7.0 (arriba) y SSP5-8.5 (abajo). Fuente: Rocío Sánchez- TNC.





Es probable que esta tendencia de calentamiento incremente la energía disponible para tormentas, lo que podría modificar los patrones de lluvia y la frecuencia de eventos extremos. De igual forma, un aumento en la evapotranspiración tendería a reducir la humedad del suelo y los caudales superficiales, con posibles efectos en la recarga de acuíferos y la seguridad hídrica. También se podría generar un desacoplamiento entre la vegetación y el clima regional, reduciendo la capacidad del bosque de resistir sequías prolongadas. Finalmente, la biodiversidad amazónica podría verse presionada: algunas especies sensibles al calor podrían desplazarse o perder hábitats adecuados, lo que alteraría ciclos reproductivos y de migración, y potencialmente produciría desequilibrios en ecosistemas dependientes de condiciones húmedas y estables.

1.1.2 Precipitación

Las proyecciones de precipitación muestran un panorama heterogéneo y con alta incertidumbre. En el escenario intermedio (SSP3-7.0), se proyectan reducciones de hasta -7% en amplias zonas de la Amazonía brasileña, mientras que en algunos sectores de los Andes y el oriente colombiano podrían darse incrementos de hasta +6%. Aunque las reducciones no alcanzan el umbral de sequía meteorológica moderada (que involucran caídas de entre -10% y -50%), sí sugieren la posibilidad de déficits hídricos acumulativos que afectarían la escorrentía y la disponibilidad de agua superficial.

En el escenario más severo (SSP5-8.5), las proyecciones tienden a una mayor homogeneidad, con reducciones generalizadas de hasta -10% en gran parte de la cuenca. Se identifican excepciones en la Amazonía andina y la cuenca del Madeira, donde podrían observarse incrementos de hasta 5%. La anomalía más crítica se proyecta en el estado de Amapá (Brasil), donde las disminuciones alcanzarían alrededor de -13%, lo que ya corresponde a condiciones de sequía meteorológica moderada (Figura 2).

Figura 2. Cambios en la precipitación media anual (2015-2050) con respecto al periodo 1981-2010 para los escenarios SSP3-7.0 (arriba) y SSP5-8.5 (abajo). Fuente: Rocío Sánchez- TNC.



Cambios en las Condiciones Hidrometeorológicas en Amazonia y Consecuencias para Sectores Claves

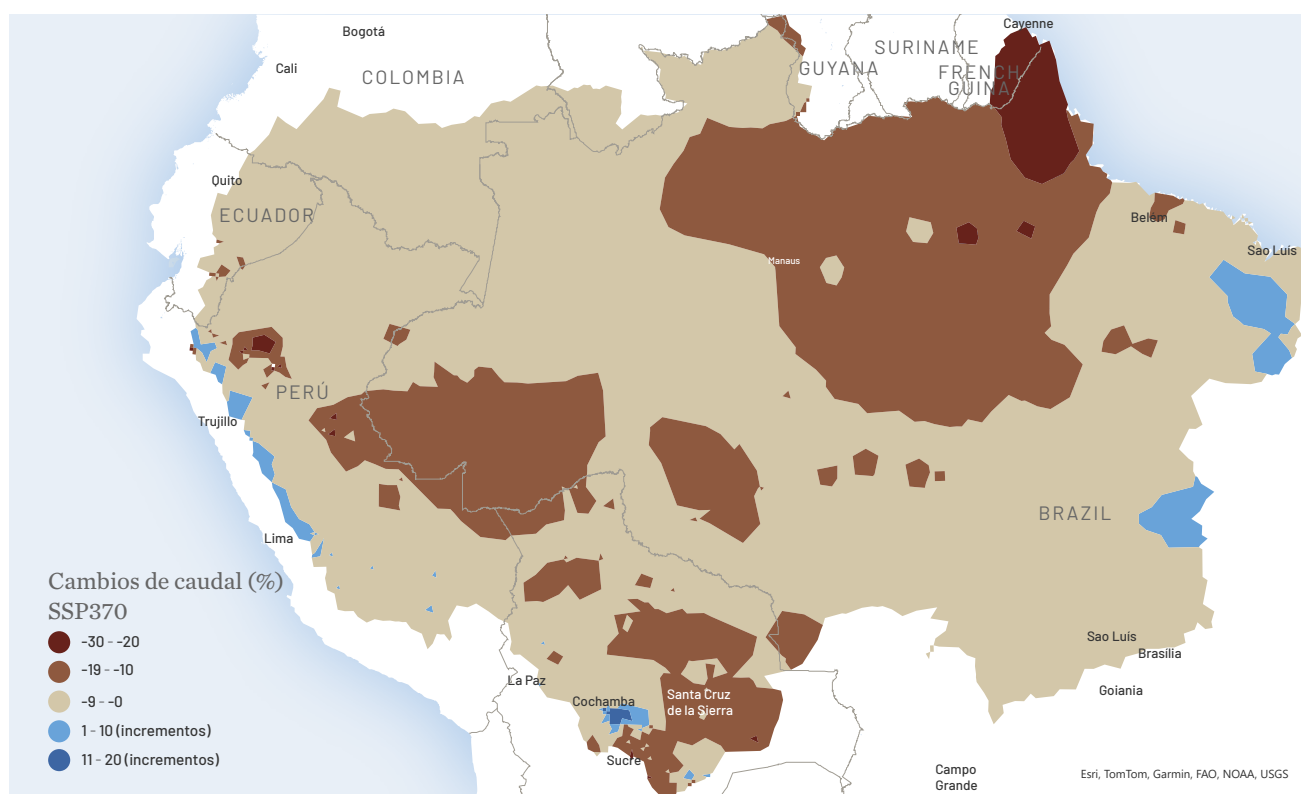
De confirmarse estas tendencias, es posible que se produzcan descensos en los niveles de los ríos, especialmente en subcuencas sensibles durante la estación seca. También podría haber una reducción en la recarga de acuíferos y en la humedad del suelo, lo que limitaría la capacidad del ecosistema para almacenar agua y regular el ciclo hidrológico. En conjunto, estos cambios podrían exacerbar las amenazas que enfrenta la cuenca frente a eventos secos prolongados, con implicaciones para comunidades humanas y ecosistemas dependientes de un régimen hídrico estable.

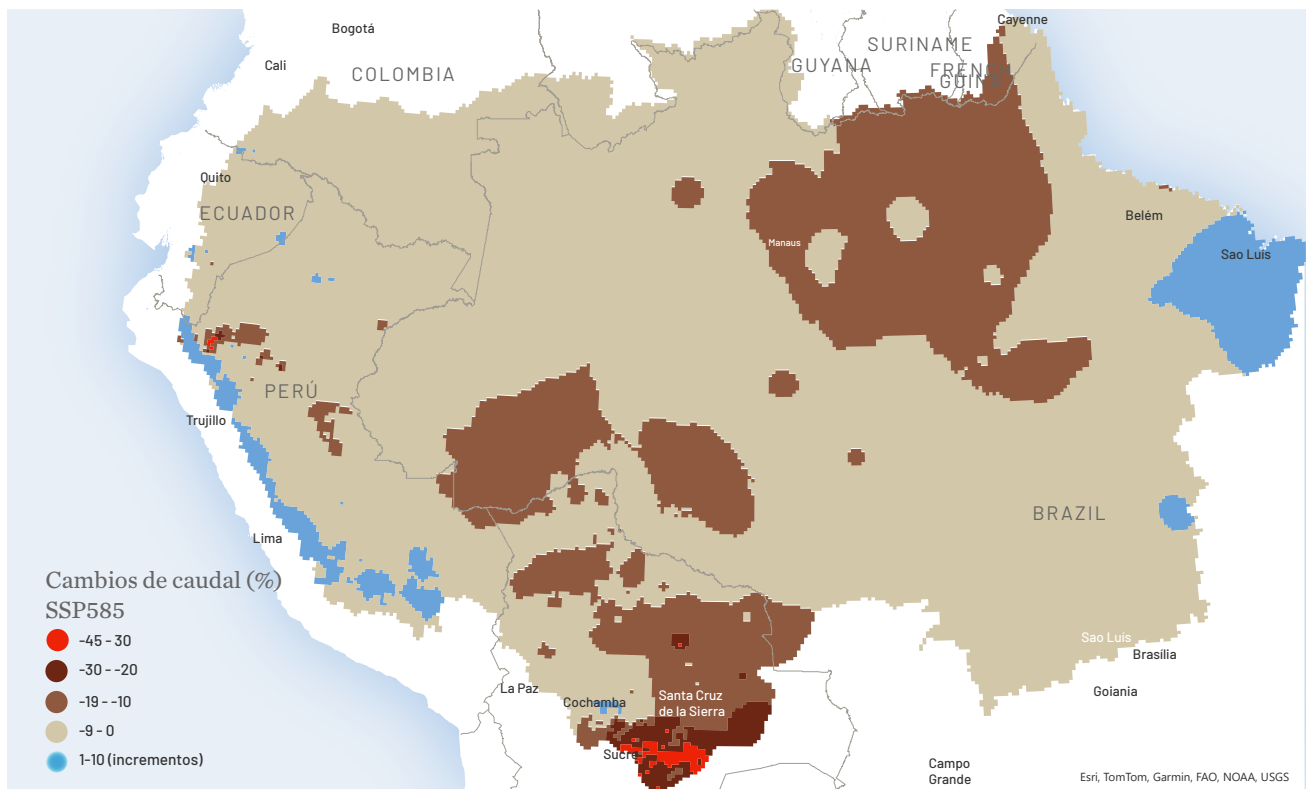
1.1.3 Caudal medio anual

Las proyecciones muestran una tendencia general hacia la reducción del caudal medio anual en la cuenca amazónica. Estos resultados corresponden a caudales simulados con el modelo hidrológico HydroBID, alimentado con proyecciones de temperatura y precipitación de los escenarios de cambio climático. En el escenario intermedio (SSP3-7.0), los descensos se concentran en la mayor parte de la cuenca, alcanzando hasta 30% en sectores del norte, centro y sur amazónico. Sin embargo, se observan incrementos localizados, en particular en la cuenca del río Madeira (hasta +18%) y en áreas puntuales de los Andes y el este de Brasil, lo que sugiere una redistribución espacial de los aportes hídricos.

En el escenario más severo (SSP5-8.5), la reducción se intensifica, llegando a -44% en zonas críticas como la cabecera boliviana del río Madeira, mientras que en gran parte de la cuenca los descensos fluctúan entre -1% y -30%. Solo algunas regiones andinas y del este brasileño muestran aumentos modestos (hasta +7%)(Figura 3).

Figura 3. Cambios en el caudal medio anual (2015-2050) con respecto al período 1992 - 2014 para los escenarios SSP3-7.0 (arriba) y SSP5-8.5 (abajo). Fuente: Rocio Sánchez- TNC





En ambos escenarios, estas reducciones sostenidas del caudal son consistentes con sequías hidrológicas moderadas—entre -10% y -50% respecto a la media histórica—, lo que podría traducirse en menor disponibilidad de agua superficial, mayor frecuencia de sequías estacionales y presiones adicionales sobre los ecosistemas acuáticos, el consumo humano, la agricultura y la generación hidroeléctrica. Asimismo, la redistribución espacial del caudal podría generar desequilibrios en la recarga de acuíferos, comprometiendo la capacidad natural de regulación hídrica de la cuenca frente al cambio climático.

1.1.4 Caudal estacional

Los cambios en la media anual de caudal ofrecen una idea general de la situación, pero pueden ocultar las dinámicas más críticas que se manifiestan a nivel estacional. Al descomponer el comportamiento del caudal por trimestres climáticos, se evidencia que los impactos no son uniformes a lo largo del año, y que ciertas épocas concentran una mayor amenaza hídrica.

Durante los meses diciembre, enero y febrero (DJF), que coinciden con la estación húmeda en gran parte de la cuenca, se proyectan reducciones de hasta -35.8 % en zonas del suroeste amazónico bajo SSP3-7.0, y hasta -40 % bajo SSP5-8.5. A pesar de algunos incrementos localizados, estas reducciones podrían afectar el inicio del ciclo agrícola y la recarga hídrica de los ecosistemas (Figura 4- Panel A).

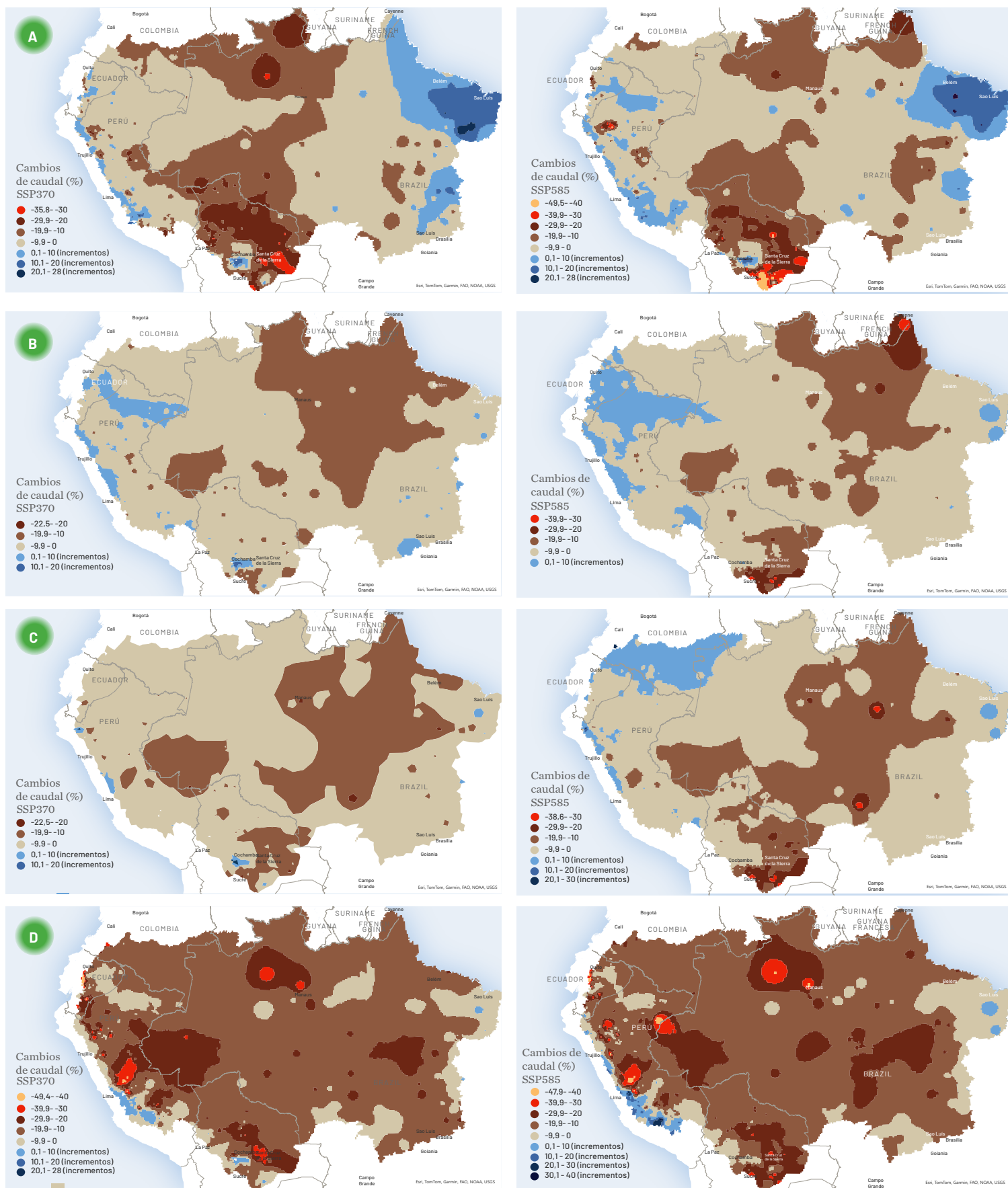
En el trimestre marzo, abril y mayo (MAM), una fase de transición hacia la temporada seca, también se anticipan disminuciones significativas. Las proyecciones bajo SSP3-7.0 indican reducciones de hasta -22.5 % en el sur de Perú y norte de Bolivia. Bajo SSP5-8.5, estas caídas se agravan, llegando al -34.8 % en regiones como Santa Cruz, Bolivia. Las zonas que mostraban aumentos en el escenario intermedio también tienden a revertirse hacia reducciones bajo el escenario severo. Esto sugiere una menor capacidad del sistema para prepararse ante el estrés hídrico venidero (Figura 4- Panel B).

Durante los meses junio, julio y agosto (JJA), en plena estación seca, el sistema alcanza su punto de mayor amenaza. Las reducciones proyectadas oscilan entre -23.7% (SSP3-7.0) y -38.6% (SSP5-8.5), especialmente en el suroeste boliviano y el centro amazónico. Esto compromete seriamente la disponibilidad de agua para consumo, navegación, agricultura y ecosistemas acuáticos (Figura 4- Panel C).

Finalmente, en el trimestre septiembre, octubre y noviembre (SON), que marca el inicio de la temporada de lluvias, se esperaría una recuperación del caudal. Sin embargo, las proyecciones muestran reducciones persistentes de hasta -49.4% en SSP3-7.0 y -47.9% en SSP5-8.5. Esta falta de recuperación impide que el sistema se recargue adecuadamente, debilitando la base hídrica del ciclo siguiente (Figura 4- Panel D).



Figura 4. Cambios proyectados del caudal medio estacional (2015-2050 vs. 1992-2014) en la cuenca amazónica bajo SSP3-7.0 y SSP5-8.5. Paneles: (A) DJF, (B) MAM, (C) JJA, (D) SON. Columnas: izquierda = SSP3-7.0, derecha = SSP5-8.5. Fuente: Rocío Sánchez – TNC.





Los resultados sugieren que el ciclo estacional del caudal amazónico podría volverse más deficitario y variable. Las reducciones son más intensas en la estación seca (JJA), acentuando el estrés hídrico. Los mayores descensos se concentran en el río Madeira y zonas del sur amazónico, clave para la conectividad ecológica. Los aumentos son puntuales y localizados, principalmente en áreas andinas y en sectores del noreste de Brasil, pero no compensan las pérdidas generalizadas.

1.2 Elementos del territorio expuestos a cambios en el caudal

Los cambios proyectados en el caudal de los ríos amazónicos, derivados de las variaciones en la temperatura y la precipitación bajo distintos escenarios climáticos, tienen consecuencias directas sobre los medios de vida de millones de personas en la región. Estos cambios afectan la disponibilidad y distribución del agua superficial, incidiendo en actividades fundamentales como la pesca, la agricultura, la ganadería, la generación hidroeléctrica, así como en las funciones ecológicas y la efectividad de manejo de las áreas protegidas, y en la seguridad territorial de los pueblos indígenas. Las comunidades que habitan zonas altamente expuestas, especialmente grandes centros poblados o localidades con baja capacidad adaptativa, enfrentan amenazas significativas para su bienestar, infraestructura y sustento. En esta sección, analizamos los impactos del cambio en el caudal sobre los habitantes de la cuenca, los pueblos indígenas, la pesca, la agricultura, la ganadería, la generación hidroeléctrica y las áreas naturales protegidas.

1.2.1 Distribución poblacional

Las proyecciones del caudal medio anual, combinadas con la información sobre la distribución de habitantes en la cuenca amazónica, muestran que las reducciones más relevantes coinciden con áreas donde viven importantes concentraciones de población. Bajo el escenario intermedio SSP3-7.0, se proyectan descensos de hasta -20% en amplias zonas habitadas por centros urbanos de hasta 220,000 personas, entre los que se encuentran Macapá (Brasil), Mocoa (Colombia), Moyobamba (Perú), Santa Cruz de la Sierra (Bolivia), Sipaliwini (Surinam), Pomeroon-Supenaam (Guyana), San Carlos de Río Negro (Venezuela) y Puyo (Ecuador). El caso más crítico es el del estado de Amapá (Brasil), donde se estima una reducción de -30.7%, que afectaría a centros urbanos con hasta 632,000 habitantes. En contraste, en algunas áreas andinas se prevén aumentos de caudal de hasta +10%, con lo cual aumenta la amenaza de inundaciones.



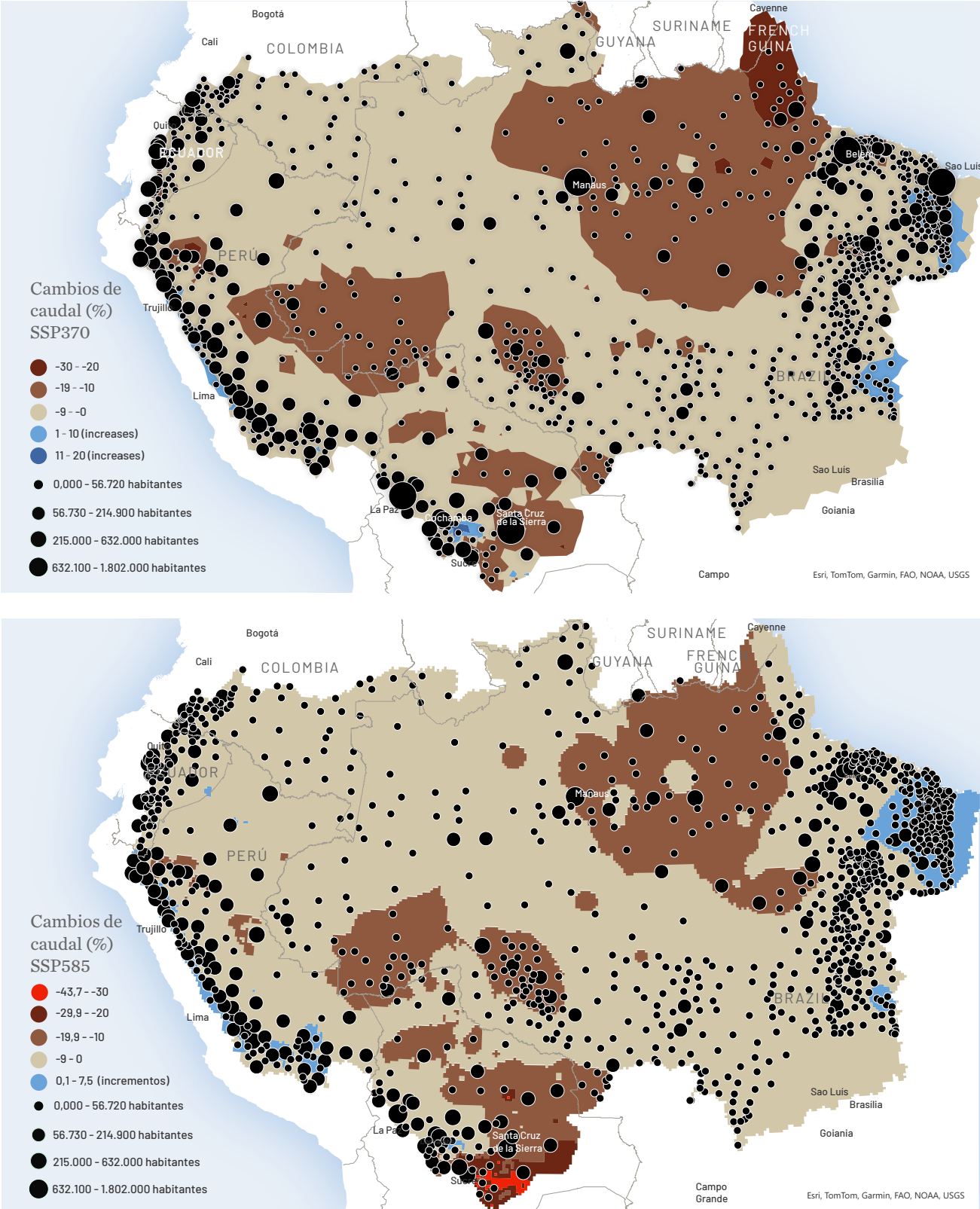
Arco de la Vía Láctea sobre Madeira © Colin Watts/
TNC Photo Contest 2022

En el escenario más severo SSP5-8.5, los impactos se intensifican. Las reducciones alcanzan hasta -43.7% en la cabecera del río Madeira (Bolivia), afectando a ciudades como Santa Cruz de la Sierra, con una población aproximada de 630,000 personas. En este escenario, los centros urbanos más grandes incluyen hasta 1.8 millones de habitantes en regiones donde la disponibilidad de agua se reduciría significativamente. Al mismo tiempo, algunas áreas de la Amazonía andina y del este brasileño podrían experimentar aumentos de caudal de hasta +7.5%, que también implican amenazas de inundaciones, erosión y daños en infraestructura.

Algunos territorios serán más impactados por potenciales cambios en el caudal en varios países de la Amazonía. En Nariño, Colombia, unas 556,770 personas estarían expuestas a reducciones de hasta -10% en SSP3-7.0 y variaciones entre +7.5% y -10% bajo SSP5-8.5. En Azuay, Ecuador, unas 625,000 personas podrían verse afectadas por reducciones de hasta -20% en SSP3-7.0 y fluctuaciones mixtas en SSP5-8.5. En Cajamarca, Perú, la cifra asciende a 1.2 millones de habitantes, con reducciones de hasta -20% en el escenario más extremo. En Santa Cruz, Bolivia, los cambios proyectados alcanzarían hasta -30%, afectando a más de 2.6 millones de personas. En Upper Takutu-Upper Essequibo, Guyana, unas 24,000 personas enfrentarían reducciones de hasta -10% en ambos escenarios. Pará, Brasil, es el estado más afectado en términos absolutos, con más de 7.7 millones de habitantes expuestos a descensos de hasta -20%. En contraste, Amazonas, Venezuela, y Cayenne, Guayana Francesa, presentan menor población expuesta, con alrededor de 4,000 y 12.000 personas, respectivamente, aunque igualmente sometidas a reducciones de caudal de hasta -10% (Figura 5).

En el escenario SSP5-8.5 las reducciones de caudal en la cabecera del río Madeira de -43.7% afecta a centros urbanos que incluyen hasta 1.8 millones de personas donde la disponibilidad de agua disminuiría significativamente; mientras que en áreas de la Amazonía andina y del este brasileño el aumento de caudal de +7.5% implican amenazas de inundaciones, erosión y daños en infraestructura.

Figura 5. Cambios en el caudal medio anual (2015-2050) con respecto al período 1992-2014 para los escenarios SSP3-7.0 (arriba) y SSP5-8.5 (abajo) y número de habitantes en diferentes zonas de la cuenca. Fuente: Rocío Sánchez- TNC



Cambios en las Condiciones Hidrometeorológicas en Amazonia y Consecuencias para Sectores Claves

1.2.2 Territorios indígenas

Las proyecciones del caudal medio anual, analizadas junto con la ubicación de los territorios indígenas de la cuenca amazónica, muestran que muchas de estas áreas se superponen con zonas de reducción hídrica significativa, lo que incrementa la amenaza a las comunidades que dependen directamente de los ríos para agua de consumo e higiene, agricultura, ganadería y pesca. Bajo el escenario intermedio (SSP3-7.0), se anticipan reducciones de hasta -20% en amplias regiones de la cuenca, lo que comprometería los medios de vida tradicionales de numerosos pueblos indígenas. En la región andina, aunque algunos sectores podrían registrar incrementos de hasta +10%, estos también conllevan amenazas de inundaciones, erosión y daños a la infraestructura fluvial.

En el escenario más severo (SSP5-8.5), los impactos son más pronunciados, con descensos de hasta -43,7% en la cabecera del río Madeira, lo que eleva la amenaza a las comunidades asentadas en esta zona. En otras áreas, donde se prevén aumentos de hasta +7,5%, persisten amenazas asociadas al exceso hídrico, como inundaciones y desbordamientos que podrían afectar tierras y viviendas indígenas.

A nivel territorial, se identifican tres casos destacados. En Amazonas (Colombia), más de 8 millones de hectáreas en 18 territorios indígenas estarían expuestas a reducciones de caudal de hasta -10% en ambos escenarios. En Pastaza (Ecuador), cerca de 3 millones de hectáreas y más de 20 territorios indígenas mostrarían descensos de hasta -20% en SSP3-7.0 y de alrededor de -10% en SSP5-8.5; aunque SSP5-8.5 es globalmente más severo, en esta zona específica la combinación de forzantes climáticos y respuesta hidrológica proyectada conduce a una reducción mayor bajo SSP3-7.0, tal como indican los datos. En Loreto (Perú), alrededor de 12 millones de hectáreas que incluyen 893 territorios indígenas presentarían cambios mixtos (incrementos y reducciones) de hasta $\pm 10\%$ en SSP3-7.0 y hasta $\pm 7,5\%$ en SSP5-8.5. Este comportamiento no monótono entre escenarios sugiere que los cambios de caudal no escalan linealmente con la “severidad” climática agregada, sino que dependen de la distribución estacional de la precipitación y la temperatura, así como de las particularidades hidroclimáticas de cada subcuenca.

En el estado de Amazonas en Brasil se proyecta el mayor impacto en términos de superficie: más de 38 millones de hectáreas con 138 territorios indígenas estarían sometidos a reducciones sostenidas del caudal de hasta -20% en ambos escenarios. En Santa Cruz de la Sierra, Bolivia,

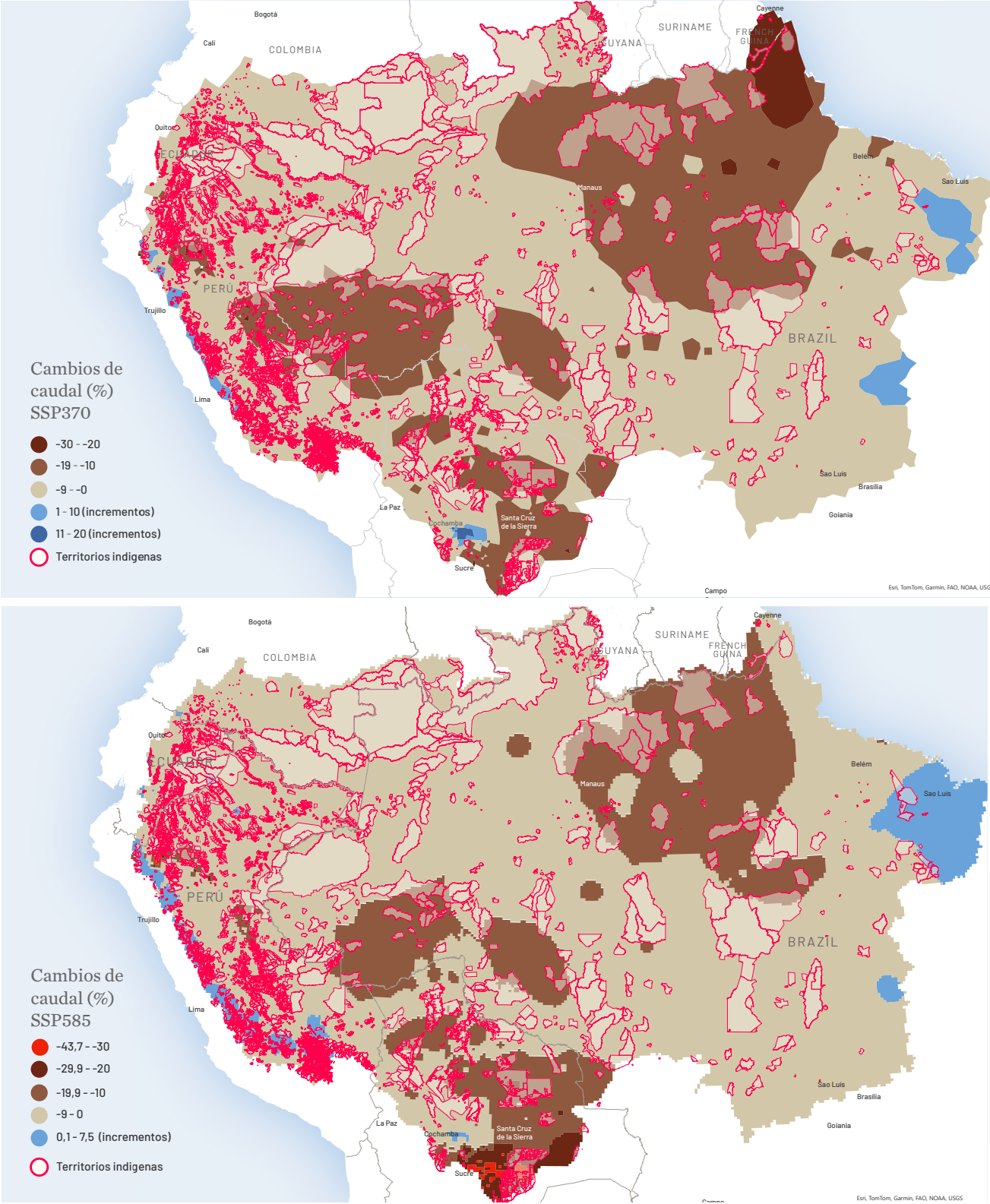
más de 7 millones de hectáreas correspondientes a 30 territorios indígenas experimentarían tanto incrementos de hasta +10% como reducciones de hasta -20% en SSP3-7.0, y descensos de hasta -30% en SSP5-8.5, reflejando una alta incertidumbre en las proyecciones.



En regiones de menor extensión territorial, también se prevén efectos significativos: en Cayenne, Guyana Francesa, más de 300 mil hectáreas podrían sufrir reducciones de entre -20% y -30% en ambos escenarios; en Upper Takutu-Upper Essequibo, Guyana, cerca de 500 mil hectáreas en 20 territorios indígenas estarían expuestas a descensos de hasta -10%; y en el estado de Amazonas, Venezuela, unos 3 millones

de hectáreas distribuidas en 13 territorios indígenas enfrentarían reducciones similares de hasta -10% (Figura 6).

Figura 6. Cambios en el caudal medio anual (2015-2050) con respecto al período 1992-2014 para los escenarios SSP3-7.0 (arriba) y SSP5-8.5 (abajo) y número de territorios indígenas (RAISG, 2020) en diferentes zonas de la cuenca. Fuente: Rocio Sánchez- TNC



Los resultados evidencian que gran parte de los territorios indígenas amazónicos podrían verse afectados por cambios en la disponibilidad de agua, lo que representa una amenaza directa para su seguridad hídrica, alimentaria y para la resiliencia de sus medios de vida frente al cambio climático.

1.2.3 Pesca

La base de información integra dos componentes: (i) la distribución confirmada de especies y los corredores de conectividad ictiológica, contruidos a partir de registros georreferenciados confirmados mediante ejemplares conservados en colecciones científicas y referencias de la literatura especializada (Dagosta et al., 2021), y utilizados en el delineamiento de corredores para la cuenca amazónica (Caldas et al., 2023); y (ii) los puntos de pesca, derivados de reportes georreferenciados de capturas de la plataforma Ictio¹, contruidos por pescadores, comunidades e instituciones, complementados con información de acuerdos de pesca en áreas específicas y literatura regional (Petrere Jr., 1978). Todos los registros fueron estandarizados, depurados y ajustados espacialmente a la red hidrográfica HydroRIVERS² para asegurar coherencia hidrológica y representatividad espacial antes del análisis.

La superposición de las proyecciones de caudal medio anual con la ubicación de los principales puntos de pesca de la cuenca amazónica muestra una coincidencia crítica. En muchas de las zonas clave para la actividad pesquera, los modelos anticipan reducciones significativas en la disponibilidad de agua. Bajo el escenario SSP3-7.0, se proyectan descensos de hasta -20% en amplias regiones y de -30,7% en el estado de Amapá (Brasil), lo que representa una amenaza



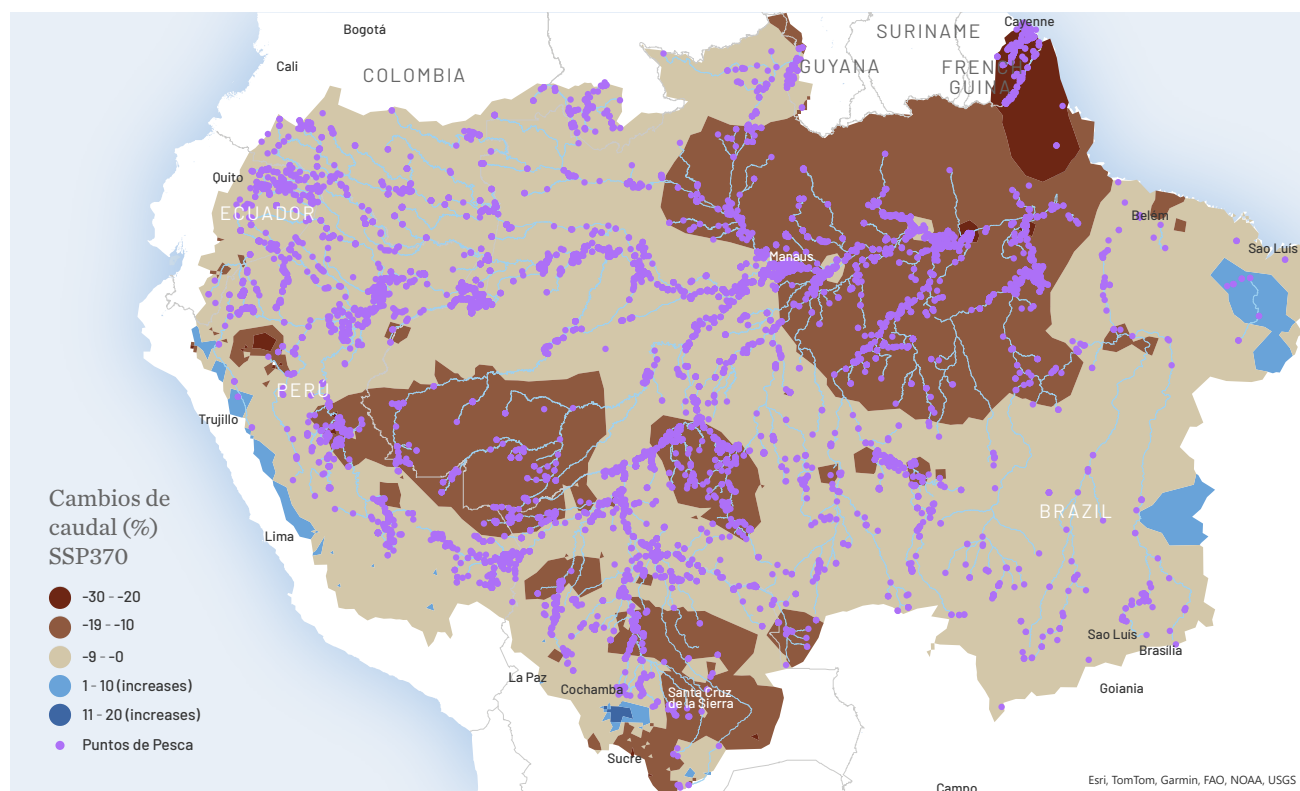
1 <https://ictio.org/>

2 <https://www.hydrosheds.org/products/hydorivers>

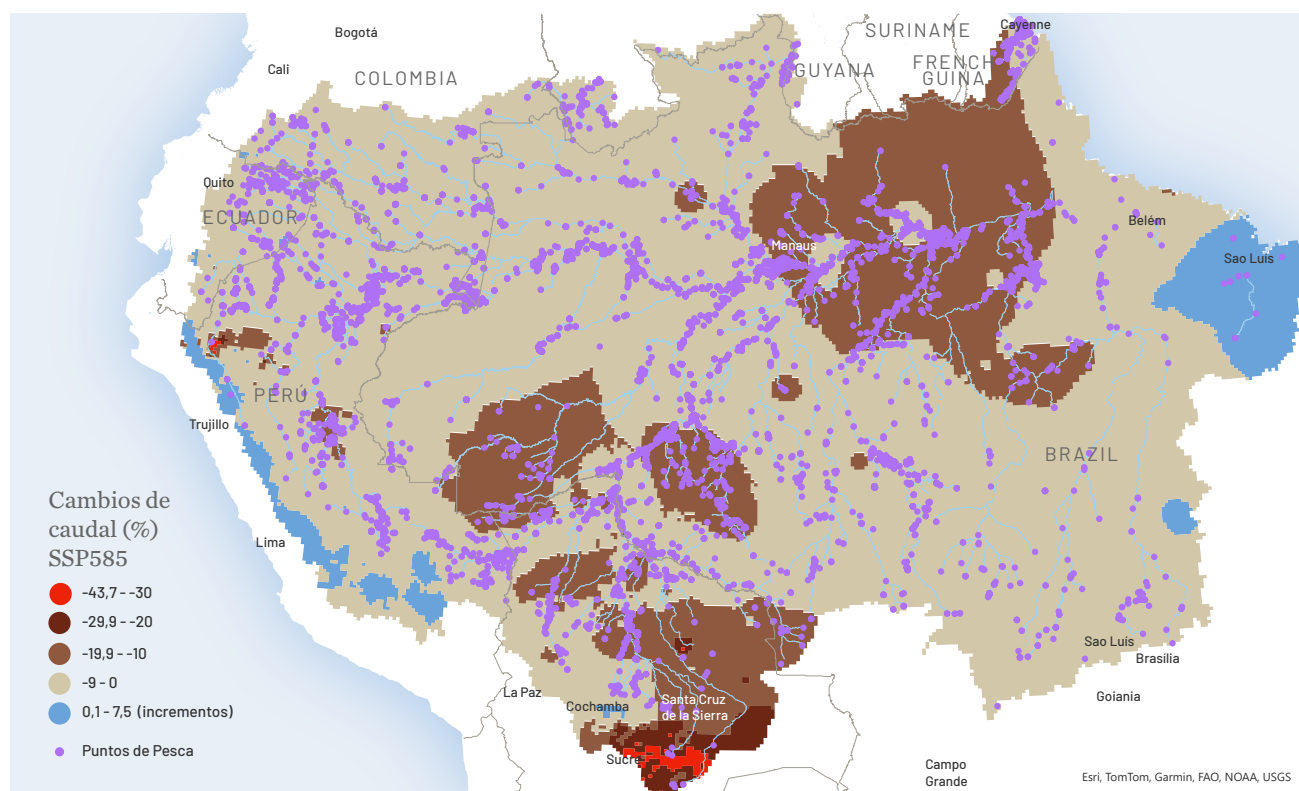
directa para la sostenibilidad de los recursos pesqueros. Estas disminuciones pueden modificar la estacionalidad hidrológica y, con ella, las señales de migración, reproducción y alimentación de especies fundamentales para la seguridad alimentaria y los medios de vida locales. Aunque en la región andina se prevén incrementos de caudal de hasta +10%, dichos cambios también conllevan amenazas (ej., mayor frecuencia de inundaciones y erosión de riberas) con impactos sobre hábitats y activos pesqueros.

En el escenario más severo, SSP5-8.5, las reducciones son aún más drásticas. En la cabecera del río Madeira, zona estratégica donde múltiples especies migratorias inician su recorrido anual, se anticipan caídas de hasta -43.7%. Este descenso compromete la conectividad longitudinal y lateral del sistema fluvial (canales principales-planicies de inundación), reduce la extensión y duración de hábitats críticos de desove y crianza, y amenaza la pesca artesanal de la que dependen miles de familias amazónicas. A nivel territorial, los estados y departamentos más afectados muestran cifras alarmantes. En el departamento de Amazonas en Colombia se identifican 911 puntos de pesca expuestos a reducciones de hasta -10% en ambos escenarios. En Orellana, Ecuador, 177 puntos enfrentarían disminuciones similares. En Loreto, Perú, la región con mayor densidad de actividad pesquera, se contabilizan 1,249 puntos comprometidos, con reducciones de hasta -20% bajo SSP5-8.5. En el estado de Amazonas, Brasil, el impacto es aún mayor: 4.076 puntos de pesca estarían sujetos a reducciones sostenidas de hasta -20%, lo que convierte a este estado en uno de los epicentros de la amenaza. En Beni, Bolivia, las proyecciones alcanzan a 924 puntos, también con reducciones de hasta -20%. En Cayenne, Guyana Francesa, 360 puntos se verían afectados por caídas de entre -20% y -30%, mientras que en Upper Takutu-Upper Essequib, Guyana, y en el estado de Amazonas, Venezuela, 69 y 118 puntos de pesca respectivamente estarían expuestos a reducciones de hasta -10% (Figura 7).

Figura 7. Cambios en el caudal medio anual (2015-2050) con respecto al período 1992-2014 para los escenarios SSP3-7.0 (arriba) y SSP5-8.5 (abajo) y puntos de pesca (Dagosta et al., 2021) en diferentes zonas de la cuenca. Fuente: Rocío Sánchez- TNC



Cambio climático en la Amazonia: Desafíos, oportunidades y recomendaciones para una adaptación equitativa en ecosistemas de agua dulce

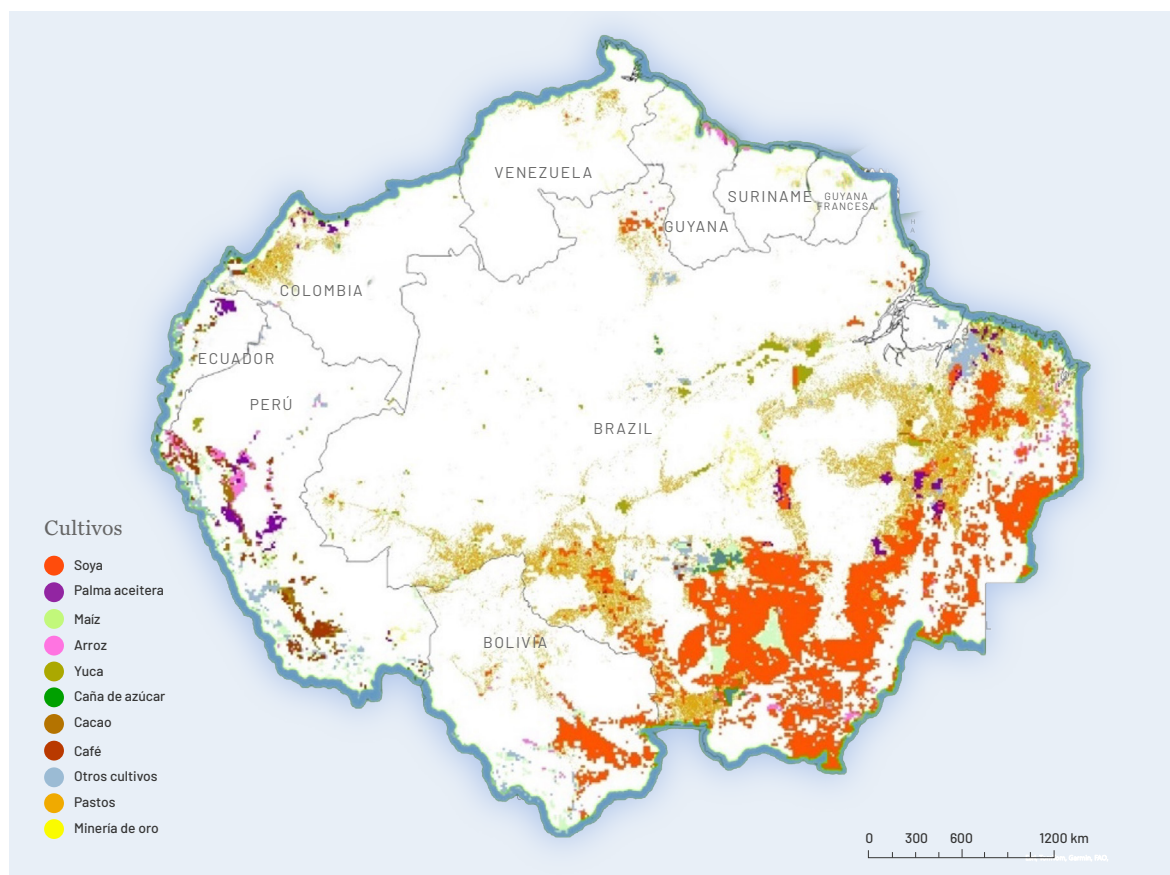


Estos resultados sugieren que la pesca amazónica, clave para la seguridad alimentaria y para las economías locales, podría enfrentar presiones crecientes por la disminución y la redistribución del agua en la cuenca. Las reducciones sostenidas de caudal no solo amenazan los ecosistemas acuáticos y las especies de alto valor comercial, sino también los medios de vida de las comunidades que dependen de la pesca artesanal. Muchas de estas comunidades son, además, centrales en la conservación del bosque: los Territorios Indígenas abarcan alrededor del 27,5% del bioma amazónico ($\approx 2,38$ millones km^2 , ~ 238 millones de hectáreas) y, sumados a las Áreas Naturales Protegidas, superan el 45% de la región, conformando los mosaicos mejor preservados de la Amazonía (RAISG, 2021). La literatura científica muestra, de manera consistente, que los derechos territoriales y la gobernanza indígena se asocian con menores tasas de deforestación y mayor integridad de los bosques, lo que refuerza la necesidad de integrar a los Pueblos Indígenas y Comunidades Locales en las estrategias de adaptación y manejo pesquero (Garnett et al., 2018). En esa misma línea, el mapeo más reciente de iniciativas de manejo y monitoreo pesquero en la Amazonía, liderado por TNC y aliados, identifica al menos 155 áreas de manejo (≈ 13 millones ha) y ~ 60 iniciativas de monitoreo que involucran a más de 1.200 comunidades y ~ 21.000 pescadores, y señala vacíos espaciales donde fortalecer la gobernanza y la conectividad acuática (Silva et al., 2025)

1.2.4 Agricultura

De acuerdo con Finer & Ariñez (2024), la agricultura de subsistencia en la cuenca amazónica comprende alrededor de 40 cultivos, cubriendo más de 106 millones de hectáreas —el 13% del total—, con predominio de soya, maíz, palma aceitera, arroz, cacao, café y pasto para ganadería. La coincidencia de estas áreas agrícolas con zonas de reducciones proyectadas del caudal resalta la amenaza al sector agrícola frente al cambio climático: la disminución de la disponibilidad de agua superficial compromete el riego, reduce la productividad y eleva la amenaza de pérdida de cosechas, afectando directamente la seguridad alimentaria y los medios de vida rurales (Figura 8).

Figura 8. Vista general de los conjuntos de datos fusionados en el estudio de Finer & Ariñez (2024) para cultivos y pastos (también incluye minería aurífera). Fuente: IFPRI (2024), Lapig/UFG, Mapbiomas, AMW, ACA/MAAP.



Bajo el escenario SSP3-7.0, las reducciones de caudal alcanzan hasta -20% en amplias zonas de la cuenca, lo que representa una amenaza directa para la agricultura de riego. La menor disponibilidad de agua, sumada a cambios en los regímenes estacionales, limita el recurso hídrico en los momentos críticos del ciclo agrícola, afectando la siembra, los rendimientos y la estabilidad de los sistemas productivos. En contraste, en la región andina se anticipan aumentos de hasta +10%, que pueden parecer beneficiosos pero que también implican amenazas de inundaciones, erosión de suelos y pérdida de tierras cultivables.

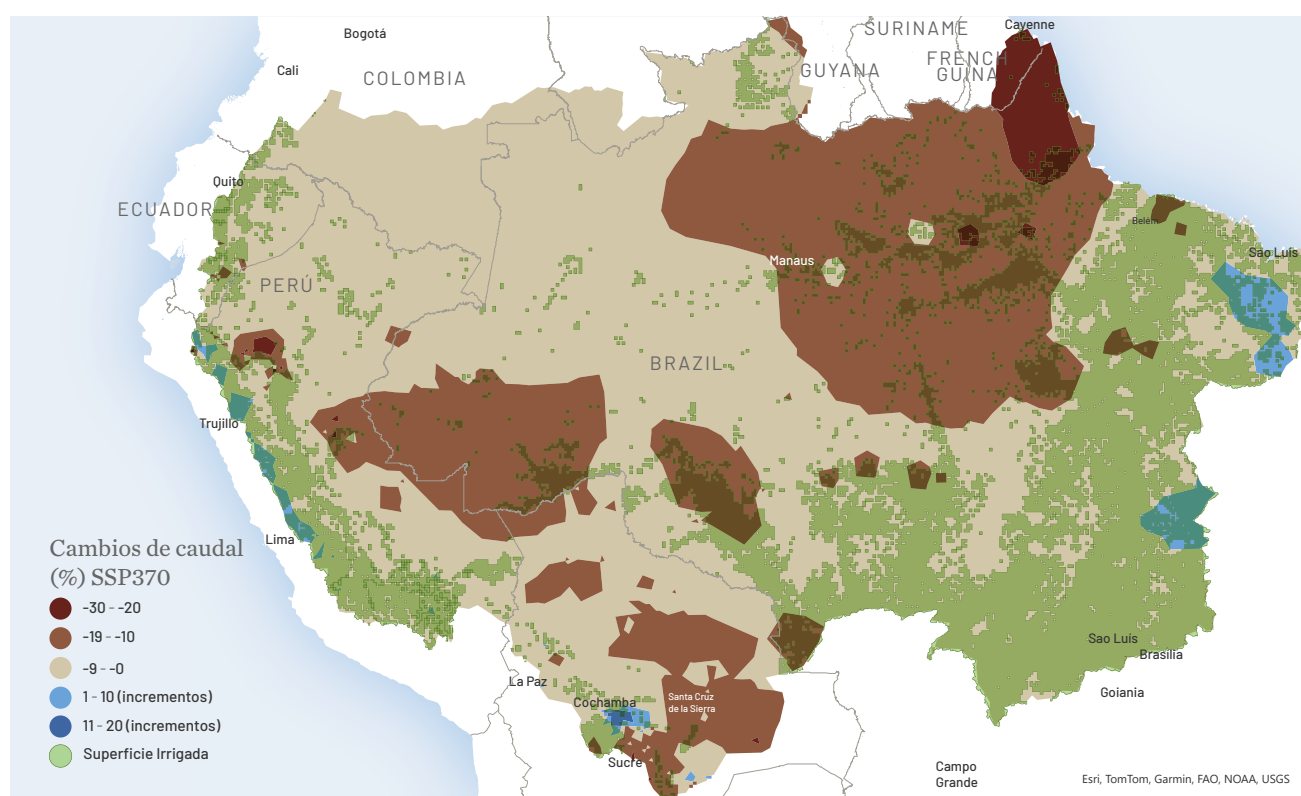
En el escenario más severo, SSP5-8.5, las presiones se intensifican. Regiones como Pará (Brasil) experimentan descensos de hasta -20%, mientras que la cabecera del río Madeira (Bolivia) muestra reducciones críticas de hasta -43,7%, lo que afecta a zonas con alta dependencia del riego y limita la resiliencia de los sistemas agrícolas frente al cambio climático.

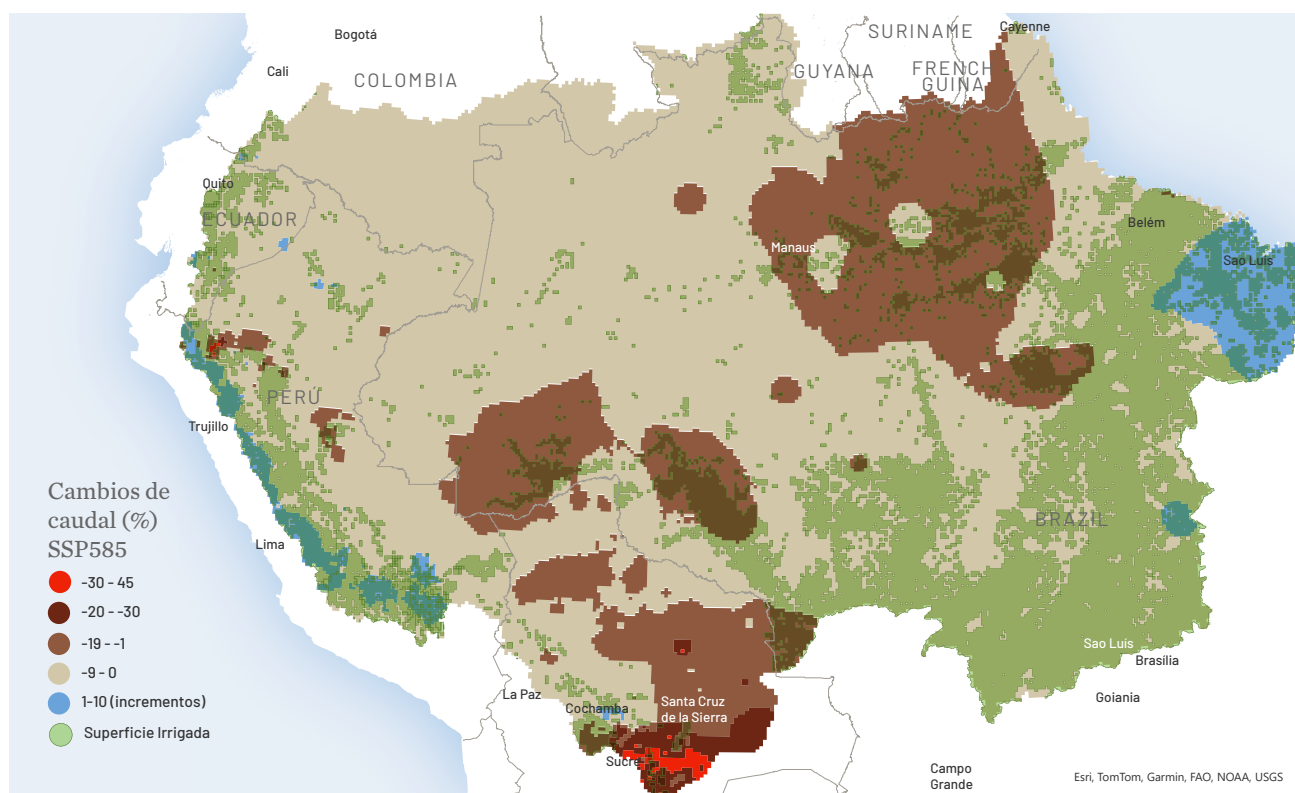
El análisis estacional revela amenazas adicionales. Durante junio-agosto (JJA) y septiembre-noviembre (SON), coincidiendo con la estación seca, se proyectan descensos más intensos en regiones agrícolas clave como Pará, Brasil, y Santa Cruz, Bolivia, así como toda la Amazonía peruana. Estas reducciones afectan directamente a cultivos sensibles al déficit hídrico como el arroz, el maíz, la soya, el café y el cacao, incrementando la amenaza de pérdidas en los calendarios

de siembra y la productividad estacional. Incluso en aquellas zonas andinas donde se proyectan aumentos de caudal, persisten amenazas asociadas a inundaciones, erosión y pérdida de tierras cultivadas.

El impacto proyectado varía por país. En Colombia, los cultivos más expuestos son café, maíz y yuca en Caquetá, Cauca y Putumayo, con reducciones de hasta -10% en ambos escenarios. En Ecuador, cacao, café, maíz y palma aceitera se verían afectados en Napo, Orellana, Sucumbíos y Cotopaxi, con caídas de hasta -20% en SSP3-7.0 y hasta -10% en SSP5-8.5. En Perú, los descensos oscilan entre -10% y -30% bajo SSP3-7.0 y llegan a -43% en SSP5-8.5, impactando café, arroz, maíz y cacao en Amazonas, Cajamarca, Cusco, Loreto, Ucayali y San Martín, aunque con aumentos de hasta +10% en Áncash, Junín, La Libertad y Piura. En Brasil, la soya, que es el cultivo con mayor extensión, junto al maíz y el arroz se verían afectados por reducciones de hasta -30%, con aumentos puntuales de hasta +7,5% en Tocantins y Maranhão. En Bolivia, cultivos de soya, maíz y arroz estarían comprometidos por descensos de -10% a -30% en SSP3-7.0 y hasta -43% en SSP5-8.5, especialmente en Santa Cruz, La Paz y Cochabamba. Finalmente, en Venezuela, Guyana y Guyana Francesa, la yuca, maíz, arroz y caña de azúcar se verían afectados por reducciones de hasta -10% en ambos escenarios (Figura 9).

Figura 9. Cambios en el caudal medio anual (2015-2050) con respecto al período 1992-2014 para los escenarios SSP3-7.0 (arriba) y SSP5-8.5 (abajo) y superficie irrigada (Siebert et al., 2013) en diferentes zonas de la cuenca. Fuente: Rocío Sánchez- TNC.





Los resultados sugieren que la agricultura amazónica, clave para la economía rural y la seguridad alimentaria regional, enfrenta no solo descensos sostenidos en el caudal, sino también una mayor variabilidad estacional, lo que compromete la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola frente al cambio climático.

1.2.5 Ganadería

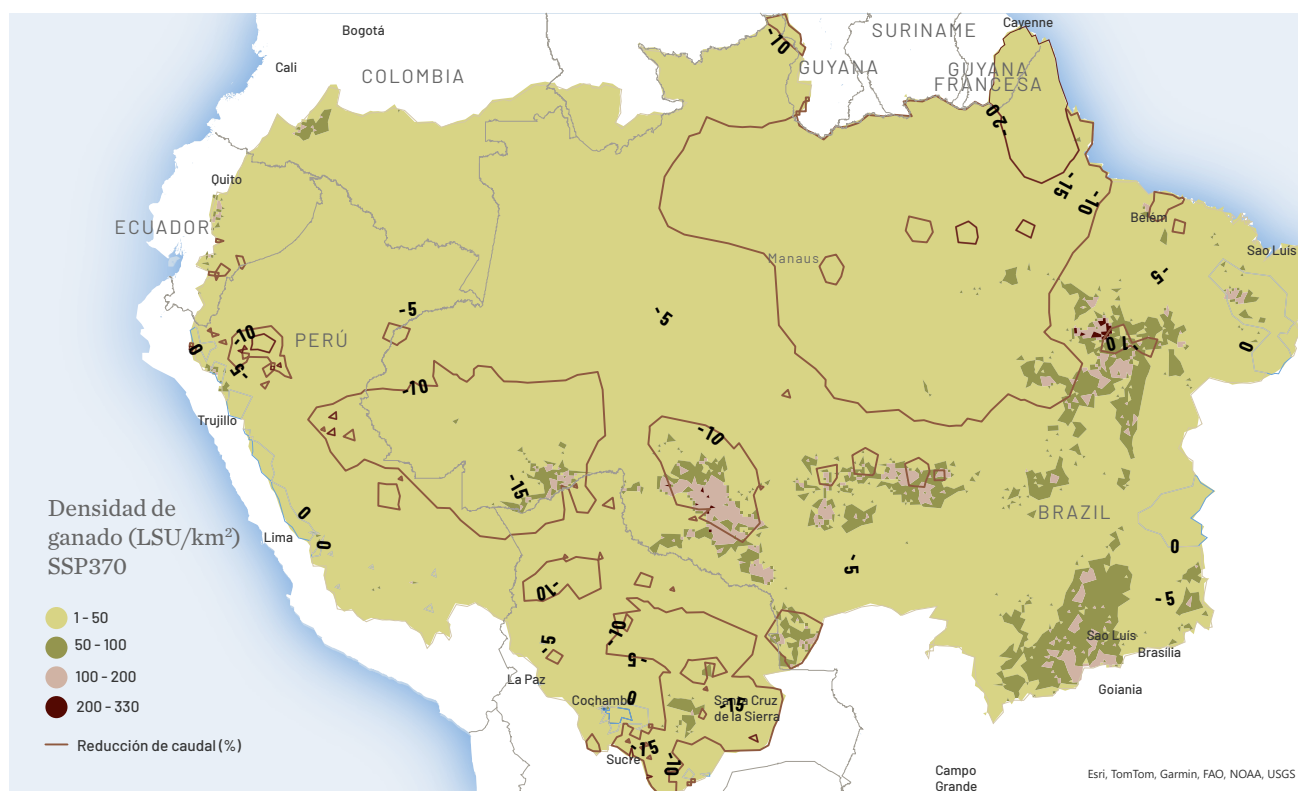
La ganadería amazónica, expresada en densidad animal por kilómetro cuadrado (LSU/km²), integra especies como vacunos, búfalos, caballos, ovejas, cabras, cerdos y aves de corral. Esta medida permite evaluar la presión sobre el recurso hídrico en función de la concentración de actividad pecuaria. Las proyecciones muestran que los cambios en el caudal medio anual tendrán efectos directos sobre la disponibilidad de agua para el ganado, con impactos variables según el escenario y la región.

En el escenario SSP3-7.0, se anticipan reducciones de caudal de hasta -30% en sectores puntuales del sur y este de la Amazonía brasileña, donde la densidad ganadera alcanza 200 LSU/km². Aunque estas áreas son localizadas, el impacto puede ser considerable debido a la alta concentración de animales, que incrementa la presión sobre las fuentes de agua y compromete el abastecimiento, la sanidad animal y la sostenibilidad del pastoreo. En otras zonas de la cuenca, con densidades menores (hasta 50 LSU/km²), las reducciones de caudal de hasta -20% también obligarían a ajustar prácticas de manejo y mantenimiento del ganado. En paralelo, los aumentos de hasta +10% en la región andina, donde las densidades pueden alcanzar 100 LSU/km², podrían traer amenazas de exceso hídrico: pérdida de forraje, anegamiento de potreros y problemas sanitarios derivados de inundaciones (Figura 10).



© Erik Lopes/TNC

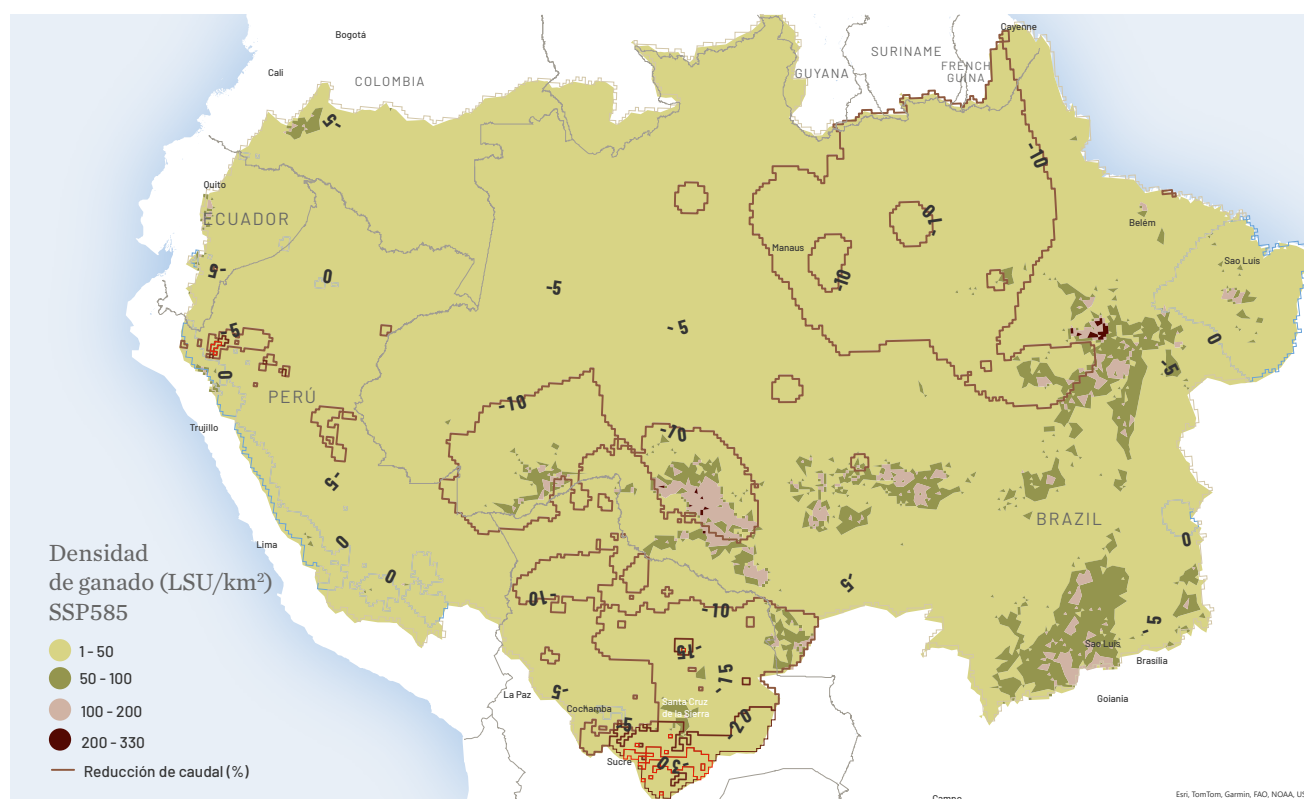
Figura 10. Cambios en el caudal medio anual (2015-2050) con respecto al período 1992-2014 para el escenario SSP3-7.0 y densidad de ganado (Gilbert et al., 2018) en diferentes zonas de la cuenca.
Fuente: Rocío Sánchez- TNC



Cambios en las Condiciones Hidrometeorológicas en Amazonia y Consecuencias para Sectores Claves

En el escenario más severo, SSP5-8.5, los efectos se intensifican. Se proyectan reducciones de hasta -30% en la cuenca del río Madeira y de hasta -20% en otras áreas, comprometiendo aún más la disponibilidad de agua en regiones con alta densidad ganadera. Los aumentos de caudal de hasta +7,5% en la zona andina amplían las amenazas de inundación y anegamiento, afectando la producción pecuaria y la infraestructura asociada (Figura 11).

Figura 11. Cambios en el caudal medio anual (2015-2050) con respecto al período 1992-2014 para el escenario SSP5-8.5 y densidad de ganado (Gilbert et al., 2018) en diferentes zonas de la cuenca. Fuente: Rocío Sánchez- TNC.



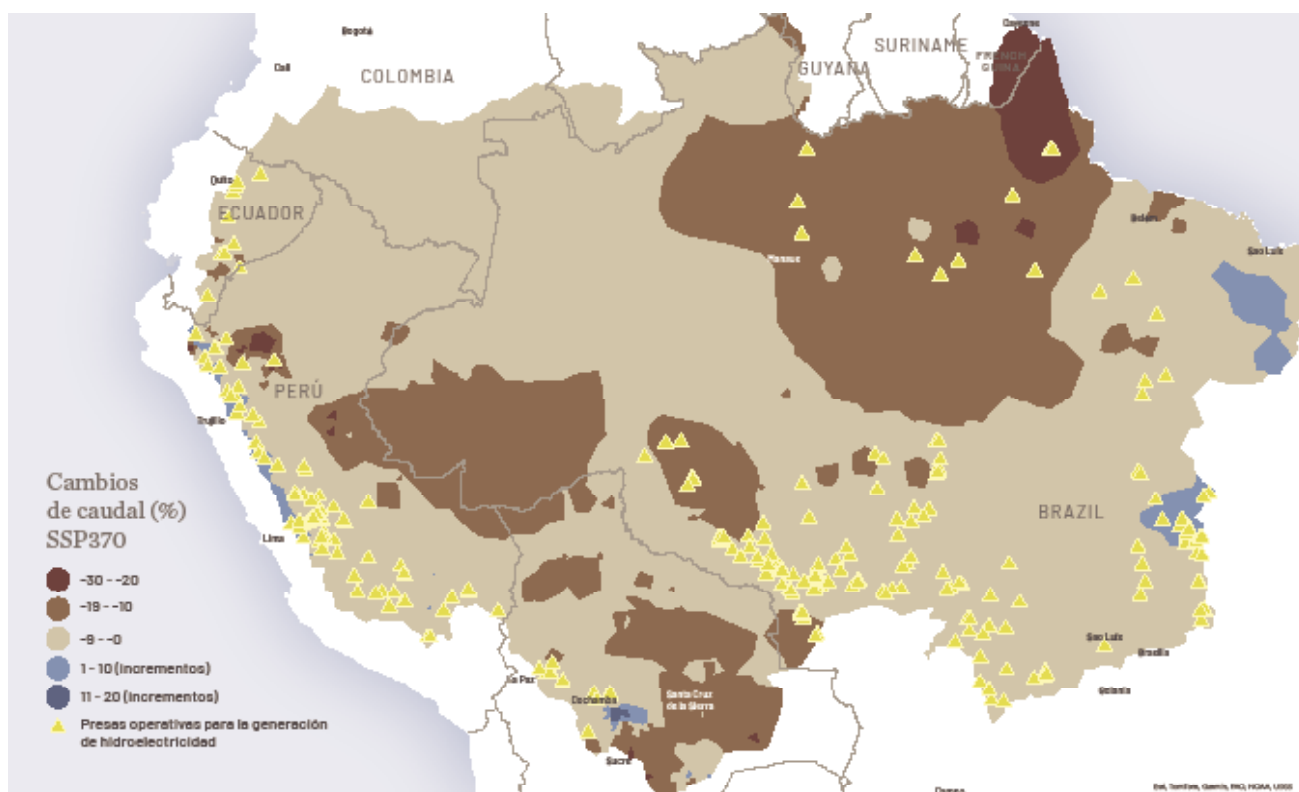
A nivel regional, las áreas más afectadas son diversas. En Caquetá, Colombia, con densidades de hasta 100 LSU/km², se proyectan reducciones de hasta -10% en ambos escenarios. En Cañar, Cotopaxi y Tungurahua, Ecuador, donde las densidades alcanzan 200 LSU/km², se prevén descensos de hasta -20%. En Cajamarca, Perú, con una densidad similar, el escenario SSP3-7.0 anticipa tanto reducciones de hasta -10% como aumentos de +10%, mientras que en SSP5-8.5 se esperan descensos de hasta -20% en el noreste y aumentos de +7,5% en el resto del departamento. En Pará y Rondônia, Brasil, donde la densidad llega a 330 LSU/km², se proyectan reducciones sostenidas de hasta -20% en ambos escenarios. En Cochabamba y Santa Cruz, Bolivia, con densidades de hasta 100 LSU/km², las reducciones varían entre -20% en SSP3-7.0 y -30% en SSP5-8.5, aunque con aumentos puntuales de hasta +10% en algunas subregiones. En Cayenne, Guyana Francesa, con densidades de hasta 200 LSU/km², las reducciones oscilan entre -30% (SSP3-7.0) y -20% (SSP5-8.5). En Potaro-Siparuni, Guyana, donde la densidad es menor (50 LSU/km²), se proyectan caídas de hasta -20% y -10% respectivamente. Finalmente, en el estado de Amazonas, Venezuela, con densidades de hasta 50 LSU/km², se prevén reducciones de hasta -10% en ambos escenarios.

La disminución del caudal en zonas de alta densidad ganadera implica presiones adicionales sobre los recursos hídricos destinados al consumo animal, la limpieza de instalaciones y el mantenimiento de pasturas. Estos cambios pueden traducirse en mayor incidencia de enfermedades, reducción en la productividad, competencia por fuentes de agua y aumento de costos de operación, lo que pone en riesgo la sostenibilidad de la ganadería amazónica y, en última instancia, la seguridad alimentaria y las economías locales en las regiones afectadas.

1.2.6 Hidroenergía

Las proyecciones del caudal medio anual sugieren que la generación hidroeléctrica en la cuenca amazónica podría verse afectada por la reducción de la disponibilidad hídrica. Bajo el escenario SSP3-7.0, se anticipan descensos de hasta -30% en regiones del noreste y sur de Brasil, donde se concentran cerca de 8,000 MW de capacidad instalada, lo que representa una amenaza directa para la eficiencia y continuidad de la generación de energía. La reducción sostenida del caudal comprometería el llenado de embalses y la estabilidad operativa, en particular durante la estación seca. En Ecuador, en provincias como Azuay, donde la presa de Paute produce entre el 40% y el 60% de la electricidad nacional, se proyectan reducciones de hasta -10%, lo que podría exigir ajustes en la operación y mantenimiento de la infraestructura. En contraste, en la región andina, aumentos de hasta +10% podrían generar riesgos de sobrellenado de embalses, descargas forzadas y, en casos extremos, inundaciones aguas abajo (Figura 12).

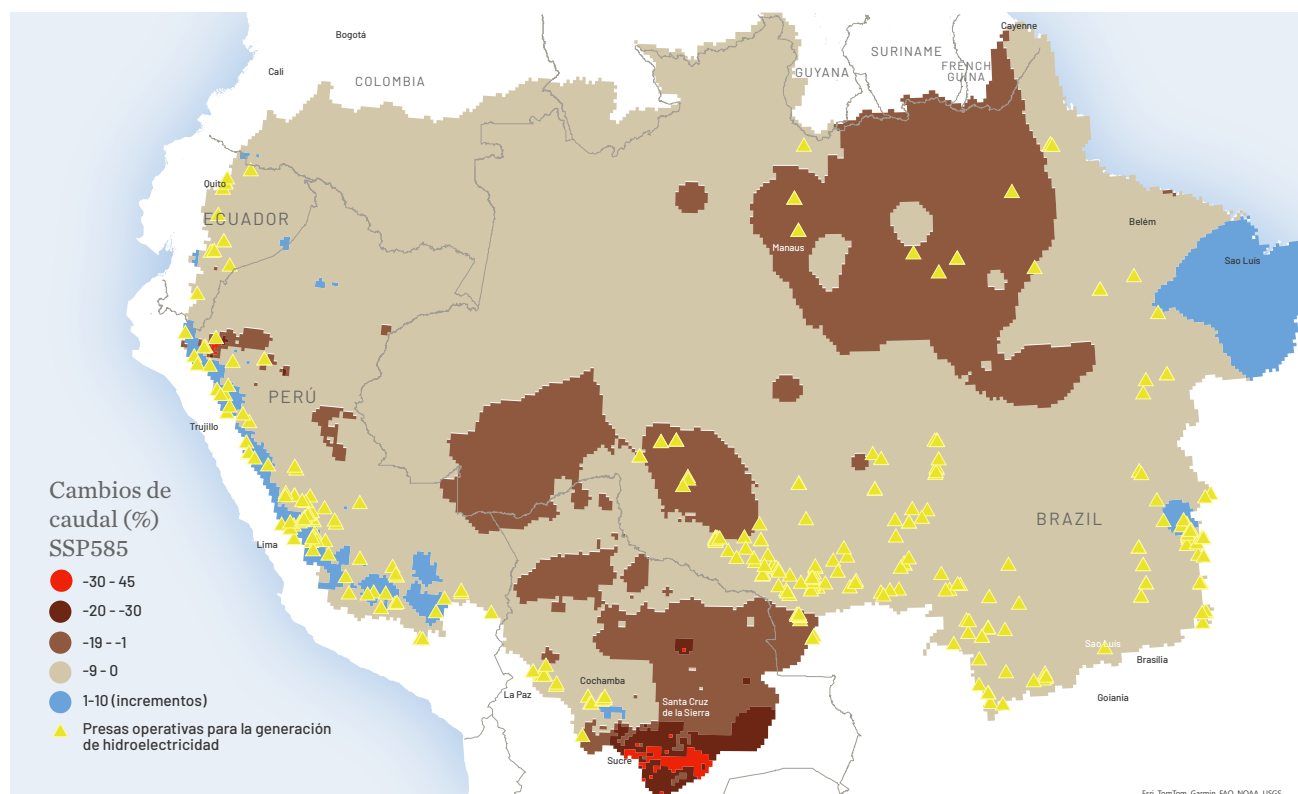
Figura 12. Cambios en el caudal medio anual (2015-2050) con respecto al período 1992-2014 para el escenario SSP3-7.0 y ubicación de las presas operativas para la generación de hidroelectricidad en diferentes zonas de la cuenca (Paredes-Beltran et al., 2021; Shah et al., 2025). Fuente: Rocío Sánchez-TNC



En el escenario SSP5-8.5, los impactos se intensifican. Se espera que las reducciones sean más severas en zonas críticas para la generación hidroeléctrica, como el estado de Pará, Brasil, donde se identifican hasta 19,600 MW potencialmente afectados por caídas de hasta -20% en el caudal. En el conjunto del país, la capacidad comprometida ascendería a unos 76,300 MW, lo que supone una amenaza significativa dada la alta dependencia de Brasil de la hidroelectricidad. En Perú, se proyectan impactos sobre aproximadamente 9,100 MW, con variabilidad espacial que combina reducciones de hasta -10% y aumentos de hasta +10% en departamentos como Ancash, donde se concentra alrededor de 2,000 MW de capacidad instalada. En Ecuador, unas 1,900 MW estarían

expuestas a reducciones de hasta -20% en provincias como Azuay, Chimborazo y Morona Santiago, mientras que otros 2,400 MW enfrentarían descensos menores en Napo, Sucumbíos, Tungurahua y Zamora Chinchipe (Figura 13).

Figura 13. Cambios en el caudal medio anual (2015-2050) con respecto al período 1992-2014 para el escenario SSP5-8.5 y ubicación de las presas operativas para la generación de hidroelectricidad en diferentes zonas de la cuenca (Paredes-Beltrán et al., 2021; Shah et al., 2025). Fuente: Rocio Sánchez- TNC.



En el resto de los países amazónicos (Colombia, Venezuela, Guyana y Guayana Francesa) no se identifican impactos relevantes sobre presas hidroeléctricas, dado que la capacidad instalada en estas regiones no depende de los tramos de caudal que muestran reducciones significativas en los escenarios proyectados.

En términos regionales, estimamos que en Ecuador alrededor de 4,300 MW estarían comprometidos, con reducciones de hasta -20% del caudal en Azuay, Chimborazo y Morona Santiago, y hasta -10% en Napo, Sucumbíos, Tungurahua y Zamora Chinchipe. En Perú, aproximadamente 9,100 MW de capacidad instalada estarían expuestos a una alta variabilidad hidrológica, con cambios proyectados de entre -10% y +10% en departamentos como Áncash. En Brasil, se concentra el mayor volumen afectado, con cerca de 76,300 MW comprometidos; solo en el estado de Pará, identificamos 19,600 MW en riesgo por reducciones de hasta -20%. Finalmente, en países como Colombia, Venezuela, Guyana y Guayana Francesa, no proyectamos impactos significativos en la disponibilidad hídrica para sus instalaciones hidroeléctricas.

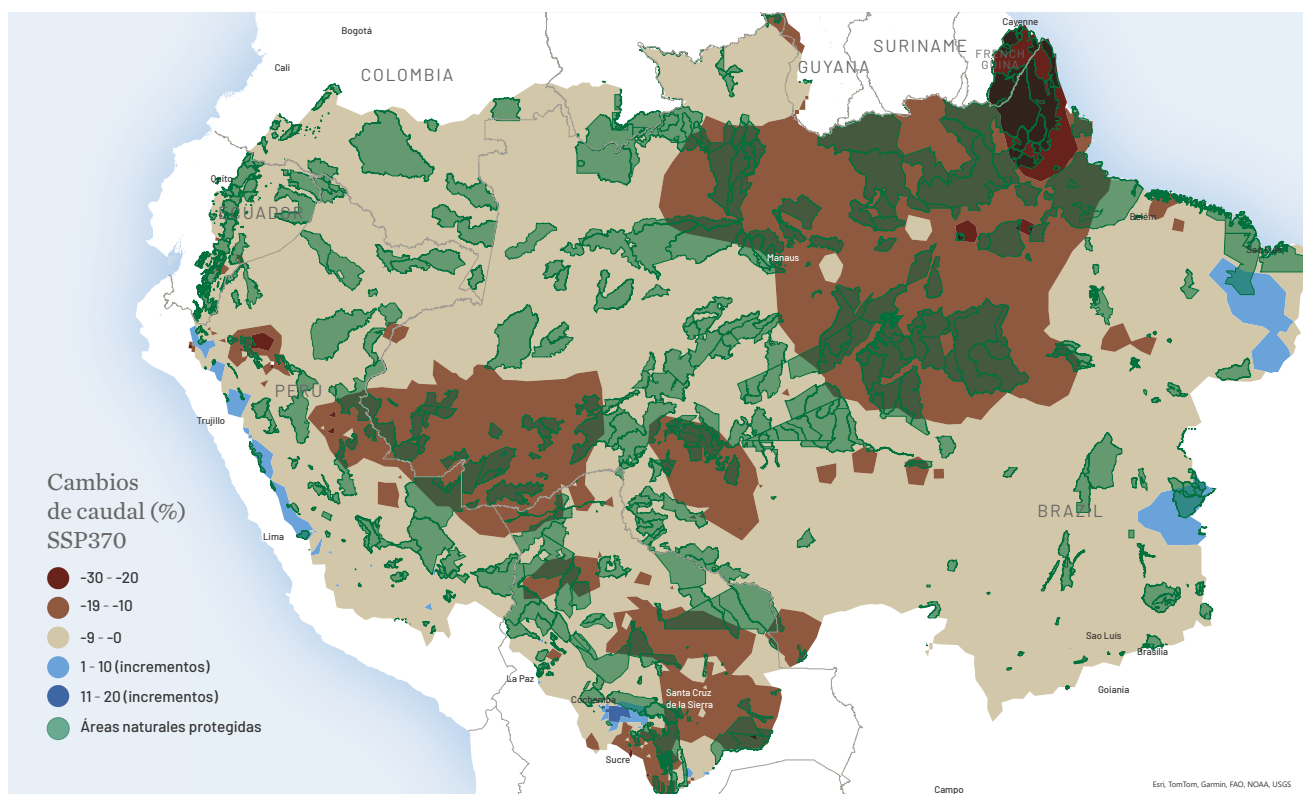
Los cambios proyectados en el caudal de los ríos representan una amenaza estructural y operativo creciente para la hidroelectricidad regional. Reducciones del caudal pueden comprometer la confiabilidad del suministro, mientras que los aumentos extremos ponen en riesgo la seguridad de la infraestructura.

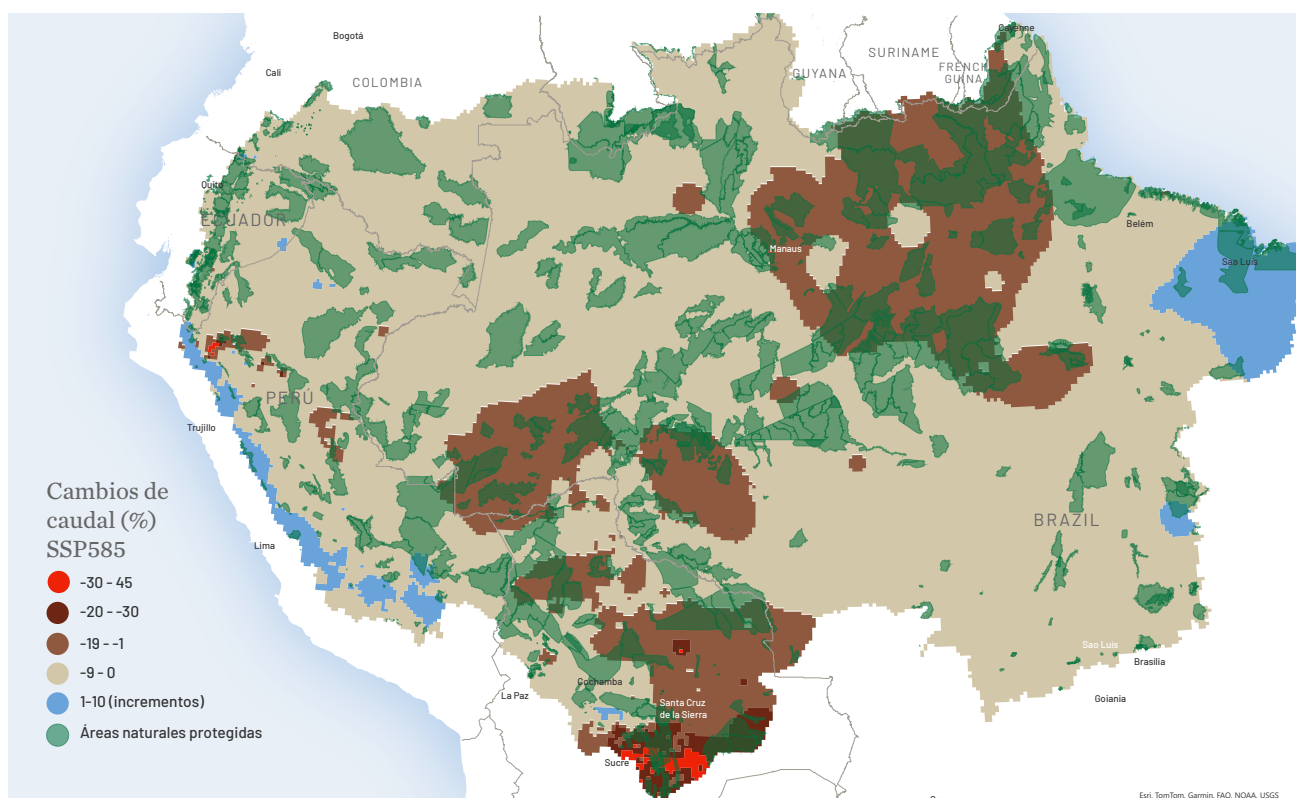
1.2.7 Áreas naturales protegidas

Las proyecciones del caudal medio anual bajo los escenarios SSP3-7.0 y SSP5-8.5 muestran reducciones en amplias zonas de la cuenca amazónica que se superponen con áreas naturales protegidas. Este hallazgo indica que, aunque estas áreas atenúan presiones locales (e.g., deforestación y cambio de uso), no pueden por sí solas evitar disminuciones de caudal impulsadas por forzantes climáticos de escala regional y global. Vale la pena distinguir exposición de resiliencia: las proyecciones evidencian exposición a la reducción de caudal, pero no demuestran, por sí mismas, falla de recuperación o de mantenimiento de funciones, por lo que no corresponde concluir falta de resiliencia. Evaluar la resiliencia ecológica y social exige analizar respuestas y capacidades (e.g., mantenimiento de funciones hidrológicas y ecosistémicas, conectividad, manejo adaptativo y provisión de servicios esenciales), más allá de la simple superposición espacial con los impactos proyectados (Figura 14).



Figura 14. Cambios en el caudal medio anual (2015-2050) con respecto al período 1992-2014 para los escenarios SSP3-7.0 (arriba) y SSP5-8.5 (abajo) y ubicación de las áreas naturales protegidas (UNEP-WCMC & IUCN, 2022) en diferentes zonas de la cuenca. Fuente: Rocío Sánchez.





La disminución sostenida del caudal en estas áreas podría comprometer su funcionalidad ecológica de varias maneras. Entre los impactos más importantes destacan: la reducción de la disponibilidad hídrica para ecosistemas que dependen de regímenes de flujo natural, la fragmentación de hábitats acuáticos con consecuencias directas sobre la biodiversidad de ríos, humedales y bosques inundables, y una mayor amenaza de incendios forestales y degradación del suelo en regiones donde disminuye la humedad edáfica. Además, la pérdida de agua afecta servicios ecosistémicos críticos, como la regulación climática, la recarga de acuíferos y el almacenamiento de carbono, todos esenciales para el equilibrio ambiental de la Amazonía y para la mitigación del cambio climático a escala global.

Estos resultados resaltan la necesidad de integrar criterios hidrológicos y de agua dulce en la planificación y gestión de las áreas protegidas. Más allá de su delimitación y estatus jurídico, su conservación efectiva bajo escenarios de cambio climático dependerá de medidas de gestión activa del recurso hídrico a escala de paisaje, considerando la dinámica río-ecosistema y anticipando un contexto de creciente estrés hídrico; en esta línea, existen guías específicas para diseñar y manejar áreas protegidas que sostengan ecosistemas y biodiversidad de aguas continentales, con recomendaciones operativas sobre diseño, conectividad y manejo adaptativo (Moberg et al., 2024).

1.2.8 Otros elementos del territorio

Desde una perspectiva de adaptación equitativa, estas alteraciones hidrológicas también intensifican las amenazas socioeconómicas en territorios que dependen del transporte fluvial: cuando los ríos pierden navegabilidad o, en el extremo opuesto, mantienen crecidas prolongadas, comunidades quedan aisladas, se limita el acceso a alimentos, medicinas y otros insumos, y los niños enfrentan dificultades para asistir a la escuela. A la par, se obstaculiza la venta de productos locales, como aquellos derivados de la pesca artesanal, castaña o nuez amazónica, yuca, entre

otros, afectando ingresos y seguridad alimentaria. Para sostener un sistema energético resiliente y socialmente justo frente al cambio climático, será clave integrar estas dimensiones de movilidad y acceso en la planificación, diversificar la matriz energética (incluida la gestión de la demanda y la generación distribuida), y coordinar la gestión integrada del recurso hídrico con logística de emergencia, ventanas de navegación y apoyos a cadenas de valor locales.

1.3 Conclusiones

Los resultados del análisis evidencian una reducción sostenida del caudal medio anual en la cuenca amazónica bajo ambos escenarios climáticos, con impactos más severos en el SSP5-8.5, donde se registran disminuciones de hasta -43% en la cabecera del río Madeira. Este descenso compromete de manera directa la disponibilidad hídrica necesaria para la agricultura, la ganadería, la pesca y la generación hidroeléctrica, afectando no solo los ecosistemas naturales, sino también la seguridad alimentaria, los ingresos rurales y el acceso a servicios básicos de energía.

La agricultura emerge como uno de los sectores más amenazados, porque los cambios de caudal coinciden con polos agrícolas específicos de cultivos estratégicos (café, maíz, arroz, soya, cacao y pastos). Bajo SSP3-7.0 se proyectan descensos de hasta -20% en zonas como Pará (Brasil), Santa Cruz (Bolivia), la Amazonía peruana y corredores colombianos de Caquetá, Cauca y Putumayo. En Ecuador, Napo, Orellana, Sucumbíos y Cotopaxi muestran exposiciones similares, y bajo SSP5-8.5 el estrés se intensifica, con reducciones críticas en la cabecera del río Madeira (Bolivia) de hasta -43,7% e impactos en los departamentos peruanos de Amazonas, Cajamarca, Cusco, Loreto, Ucayali y San Martín. Estas disminuciones de agua, sumadas a alteraciones de la estacionalidad, desplazan calendarios de siembra, reducen rendimientos y comprometen el riego, afectando especialmente a pequeños productores de secano o riego superficial. Aun cuando existen aumentos locales ($\leq +10\%$) en áreas andinas (e.g., Áncash, Junín, La Libertad y Piura, en Perú, y Tocantins y Maranhão, en Brasil), también traen amenazas por inundación, erosión y pérdida de suelo agrícola, por lo que la planificación debe considerar escenarios contrastantes en un mismo territorio.

La ganadería también enfrenta amenazas crecientes. En regiones con altas densidades de animales, superiores a 100 LSU/km², como Mato Grosso, Rondônia y Pará (Brasil), Cajamarca (Perú), y Cotopaxi (Ecuador), la disminución del caudal proyectada podría generar estrés hídrico, pérdida



de forraje y un aumento de enfermedades asociadas a la escasez de agua y a las condiciones sanitarias deficientes. Por el contrario, en zonas andinas donde se prevén aumentos del caudal, el exceso hídrico puede traducirse en inundaciones de potreros, deterioro de infraestructura rural y mayor mortalidad animal, lo que refleja la doble amenaza que enfrenta el sector.

La pesca se perfila como un sector altamente expuesto a las alteraciones del caudal. La superposición de puntos de pesca con las proyecciones hidrológicas indica reducciones amplias bajo SSP3-7.0 y descensos aún mayores bajo SSP5-8.5, con focos críticos como la cabecera del río Madeira (hasta -43,7%), que podrían desincronizar señales de migración, desove y alimentación, reducir la extensión/duración de hábitats en planicies de inundación y comprometer la conectividad longitudinal y lateral del sistema fluvial. Incluso donde se prevén aumentos localizados, el exceso hídrico puede degradar hábitats y activos pesqueros. En conjunto, estos cambios amenazan la provisión de proteína y los medios de vida de miles de familias que dependen de la pesca artesanal a lo largo de la cuenca, reforzando la necesidad de estrategias de manejo adaptativo centradas en la conectividad, la estacionalidad y la seguridad alimentaria.

En el ámbito energético, la generación hidroeléctrica se encuentra bajo presión. Estados y provincias clave como Pará (Brasil), Azuay (Ecuador) y Ancash (Perú) concentran una gran capacidad instalada que depende del caudal regular de los ríos. Las reducciones proyectadas comprometen la continuidad y eficiencia de la generación, con implicaciones nacionales y regionales para el suministro eléctrico. Al mismo tiempo, los aumentos localizados en algunas zonas andinas pueden exceder la capacidad de almacenamiento de embalses, incrementando la amenaza de descargas forzadas, fallas estructurales o inundaciones aguas abajo.

Las áreas naturales protegidas tampoco están exentas de esta dinámica. Las reducciones de caudal en estos territorios amenazan su integridad ecológica, con efectos sobre la biodiversidad de humedales, bosques inundables y ríos, y amenaza la provisión de servicios ecosistémicos esenciales como la regulación climática, la recarga de acuíferos y el almacenamiento de carbono. La protección legal, en este contexto, resulta insuficiente si no se acompaña de criterios hidrológicos en la planificación y gestión, capaces de fortalecer la resiliencia de estos espacios frente al cambio climático.

Las proyecciones indican que una fracción sustantiva de los territorios indígenas se superpone con zonas de reducción del caudal, con focos críticos como la cabecera del Madeira bajo SSP5-8.5, lo que incrementa la amenaza para su seguridad hídrica y alimentaria, y para la continuidad de medios de vida basados en pesca, agricultura y movilidad fluvial. La respuesta no es uniforme: en varias subcuencas coexisten aumentos y disminuciones del caudal y, en casos puntuales (e.g., Pastaza), los descensos proyectados son mayores bajo SSP3-7.0 que bajo SSP5-8.5, reflejando la dependencia de los impactos respecto de la estacionalidad y las particularidades hidroclimáticas locales. En conjunto, estos resultados subrayan la necesidad de estrategias de adaptación territorializadas y diseñadas en conjunto con Pueblos Indígenas y Comunidades Locales, que fortalezcan la gobernanza del agua, la conectividad río-planicie, y la provisión de servicios básicos, integrando alertas y logística de navegación, infraestructura hídrica apropiada y medidas de conservación que reconozcan los derechos y el rol de estas comunidades en la protección del bosque.

Finalmente, este análisis destaca la presencia de altos niveles de variabilidad espacial e incertidumbre climática. En un mismo territorio pueden coexistir aumentos y disminuciones del caudal, lo que significa que no existen soluciones universales. Este mosaico de impactos demanda

estrategias de adaptación flexibles y localizadas, capaces de responder a las condiciones particulares de cada región y sector productivo. De no integrarse esta visión diferenciada, la planificación agrícola, ganadera, energética y de conservación seguirá enfrentando un panorama de incertidumbre creciente, con graves consecuencias para las comunidades rurales, pesqueras, urbanas y las IP&LCs de la cuenca amazónica.

Cuadro de texto 2 | Estudio de caso: Modelación climática e hidrológica en la Amazonía Ecuatoriana

En la Amazonía ecuatoriana se han desarrollado estudios pioneros para proyectar los impactos del cambio climático sobre la disponibilidad de agua, combinando modelos climáticos globales CMIP6 con modelación hidrológica mediante HydroBID. Estos trabajos representan una aplicación sistemática de desagregación espacial, o regionalización (downscaling) en la región oriental del país, lo que permite obtener series temporales ajustadas de precipitación y temperatura cercanas a los valores observados. Los resultados replican las tendencias identificadas a escala regional, reducciones generalizadas del caudal con heterogeneidades locales, pero aportan mayor resolución para precisar gradientes dentro de las provincias. Esta innovación metodológica es esencial para compensar la escasez de estaciones meteorológicas locales y mejorar la precisión de las proyecciones.

Variabilidad histórica y desafíos presentes

Se analizaron series históricas (1970–2014) en la región amazónica ecuatoriana encontrando una marcada variabilidad espacial en los patrones hídricos. Mientras que las zonas altoandinas muestran una alta disponibilidad de agua y caudales elevados, favorecidos por precipitaciones intensas, las planicies amazónicas registran menores escurrimientos debido a su baja pendiente y elevada infiltración. Esta heterogeneidad evidencia cómo la topografía y el clima definen la dinámica hídrica y condicionan las amenazas climáticas a nivel regional.

Escenarios futuros y amenazas proyectadas

Las simulaciones hacia finales del siglo XXI bajo los escenarios SSP3-7.0 y SSP5-8.5 revelan un panorama desafiante:

- Mayor variabilidad de caudales, con un aumento en la frecuencia de sequías e inundaciones.
- Se proyecta una reducción en la magnitud de los caudales máximos, lo que indica que los pulsos de crecida tenderán a ser menos intensos, pero también menos capaces de cumplir su función de regulación natural de la variabilidad hidrológica. En consecuencia, la capacidad del sistema para amortiguar y redistribuir el exceso hídrico durante eventos extremos se ve reducida, aun cuando los caudales mínimos se mantienen relativamente constantes.
- Tendencia creciente en las anomalías hídricas, con fluctuaciones más pronunciadas hacia finales del siglo, lo que aumentará la dificultad de gestionar el recurso hídrico bajo condiciones impredecibles.

Estas transformaciones hidrológicas no solo afectan a los ecosistemas amazónicos, sino también a las comunidades y actividades productivas que dependen críticamente de la estabilidad del agua.

Implicaciones para la adaptación

Los resultados subrayan la urgencia de integrar estrategias de adaptación basadas en evidencias científicas en la planificación territorial y sectorial. Entre las medidas clave, se destacan:

- Restauración de ecosistemas críticos, humedales y turberas, que cumplen un rol regulador frente a extremos climáticos.
- Reforestación de áreas bajo amenaza para mejorar la infiltración y estabilizar caudales.
- Protección de cuencas altoandinas, que actúan como “reservorios naturales” para el suministro de agua a poblaciones aguas abajo.
- Fortalecimiento de la cooperación internacional y la gobernanza hídrica, dada la dependencia de las trayectorias socioeconómicas y de las medidas de adaptación adoptadas.
- Incorporación del conocimiento local y ancestral.

Valor agregado y proyección regional

Además de aportar un diagnóstico detallado de la Amazonía ecuatoriana, estos estudios ofrecen una base sólida para el diseño de políticas públicas orientadas a la sostenibilidad del recurso hídrico. La incorporación de datos ajustados con ERA5 Land y la integración de escenarios climáticos e hidrológicos han permitido generar herramientas de modelación más robustas, aplicables a nivel regional. En conjunto, estas experiencias constituyen un referente metodológico para otros países amazónicos y confirman la necesidad de avanzar hacia un enfoque de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) como eje central de la adaptación y la seguridad hídrica.



2. Cambio Climático y la Biodiversidad Dulceacuícola Amazónica

© Daniel Govino



Cambios en la intensidad y estacionalidad de las lluvias e inundaciones pueden desestabilizar procesos ecológicos fundamentales.

Los ecosistemas de agua dulce de la Amazonía se cuentan entre los más ricos y diversos del planeta: albergan cerca del 15% de todas las especies de peces de agua dulce del mundo, con más de 2.600 especies registradas y una gran cantidad de vida acuática y semiacuática aún poco conocida (Jézéquel et al., 2020; Tisseuil et al., 2013). El agua es un recurso de importancia social, cultural, económica y alimentaria para los ~47 millones de personas que habitan la cuenca, desde el abastecimiento y la movilidad hasta la identidad cultural y las economías locales. En particular, la pesca continental es un pilar de soberanía alimentaria para numerosas comunidades ribereñas e IP&LCs. En varios de estos grupos se registran algunos de los consumos de pescado más altos del mundo (e.g., promedios cercanos a 676 g por persona al día), destacando su rol en la dieta y los medios de vida locales (Castello & Macedo, 2016; Miranda, 2024).

Sin embargo, esta extraordinaria biodiversidad se encuentra cada vez más amenazada por el cambio climático que está transformando los regímenes hidrológicos de la cuenca (Clarke et al., 2024). Cambios en la intensidad y estacionalidad de las lluvias e inundaciones pueden desestabilizar procesos ecológicos fundamentales. Por ejemplo, el adelanto de la temporada de inundaciones ya ha mostrado efectos negativos en el éxito reproductivo de la tortuga gigante sudamericana (*Podocnemis expansa*), cuyos nidos quedan bajo el agua, con un aumento de la mortalidad embrionaria (Eisemberg et al., 2016). El incremento de la temperatura representa otras amenazas. Por ejemplo, en algunas especies de tortugas, variaciones de apenas algunos grados pueden alterar la proporción de sexos en las crías, mientras que valores extremos (por debajo de 26 °C o por encima de 38 °C) resultan letales (Camillo et al., 2022). Modelos recientes sugieren que, de continuar estas tendencias, algunas especies podrían perder hasta el 98% de su

hábitat idóneo (I. B. da Silva et al., 2025).

Los impactos alcanzan también a los mamíferos acuáticos. Durante la sequía extrema de 2023 en la Amazonía central, una de las peores en más de un siglo, las temperaturas del agua alcanzaron casi 40 °C, lo que provocó la muerte masiva de más de 300 delfines amazónicos (*Inia geoffrensis* y *Sotalia fluviatilis*) y de miles de peces que no resistieron el calor ni la falta de oxígeno (Brum et al., 2021; Marmontel et al., 2024). Del mismo modo, los manatíes (*Trichechus inunguis*) enfrentan una mayor amenaza de captura durante las sequías, cuando el nivel de los ríos baja y quedan más expuestos.

Los efectos del cambio climático no son uniformes: en años más húmedos, con inundaciones prolongadas, se observa un aumento en la abundancia de peces y fauna acuática en bosques inundados; en cambio, las sequías largas e intensas generan reducciones drásticas de estas poblaciones, en algunos casos sin tiempo para recuperarse antes del siguiente evento extremo (Bodmer et al., 2018; Rodrigues-Filho et al., 2024). Esto puede detonar cadenas de impactos, como la competencia por recursos escasos, el deterioro de la calidad del agua y una mayor presión de caza y pesca sobre poblaciones ya debilitadas.

En este capítulo presentamos un marco para comprender los impactos del cambio climático sobre los peces y la pesca amazónica, un recurso clave no solo por su importancia ecológica, sino también por su valor sociocultural, económico y alimentario (Butorac et al., 2020; Miranda, 2024; Zhang et al., 2023). Desde esta perspectiva, proponemos estrategias de adaptación multiescalares, que van desde acciones locales hasta recomendaciones regionales y de cuenca, con el fin de fortalecer la resiliencia tanto de la biodiversidad como de las comunidades que dependen de ella.

2.1 Impactos en la biodiversidad dulceacuícola

El cambio climático está modificando de manera significativa los patrones ambientales de los ecosistemas dulceacuícolas amazónicos, principalmente a través del aumento de la temperatura del agua y de la mayor frecuencia e intensidad de inundaciones y sequías (Espinoza et al., 2024; Fleischmann et al., 2023). Estos cambios no son homogéneos: debido a la diversidad geográfica y geológica de la cuenca, los impactos se distribuyen de forma desigual, generando un mosaico de efectos que afectan tanto a la biodiversidad como a los medios de vida (Val & Wood, 2022).

Las simulaciones de cambio climático desarrolladas para este estudio muestran aumentos de temperatura más marcados en la Amazonía brasileña septentrional-central (+1,12 a +1,22 °C) y en el sur de la cuenca, incluyendo cabeceras del Madeira en Bolivia (+1,23 a +1,39 °C). En los Andes, los incrementos oscilan entre ~+0,04 y +1 °C (Figura 1). El caudal medio anual proyectado presenta reducciones de hasta -48% en buena parte de la cuenca, con aumentos puntuales de hasta +11%, especialmente en los Andes y al este de Brasil. También se observan disminuciones de -7% a -11% en sectores del norte, centro y sur (Figura 3).

Los impactos sobre los peces amazónicos dependen de la geomorfología local y de la ecorregión. En este capítulo se analizan dos ámbitos: (1) Andes y piedemonte (arroyos de tierras altas, >200 y <1000 m s. n. m.) con sustratos rocosos, altas velocidades y elevadas concentraciones de oxígeno, que albergan faunas especializadas y fuerte recambio altitudinal; y (2) las llanuras aluviales de tierras bajas, con la mayor diversidad de peces asociada a ríos de gran caudal y ciclos de inundación extensos. Estas unidades están reconocidas como ecorregiones de agua dulce diferenciadas por su biota y rasgos químicos-geológicos (Abell et al., 2008; Crampton, 2011) (Figura 15).



Figura 15 | Ecorregiones de agua dulce de la Amazonia según la clasificación de Abell et al. (2008).
Figura extraída de Anderson et al. (2018).



El análisis bibliográfico y de bases de datos permitió identificar los principales mecanismos mediante los cuales el cambio climático afecta a los peces amazónicos. A partir de esta evidencia, elaboramos un diagrama de síntesis de impactos (Figura 16) y un compendio de referencias clave (Tabla 1). Ambos muestran cómo las alteraciones en caudal, temperatura y precipitación modifican los hábitats acuáticos y desencadenan respuestas poblacionales en los peces, desde cambios en la reproducción hasta fluctuaciones en la abundancia y en la dinámica de las comunidades.

Figura 16 | Efectos del cambio climático en la meteorología, hábitats dulceacuicolas, respuesta biológica de los peces y consecuencias generales para la *ictiofauna*.

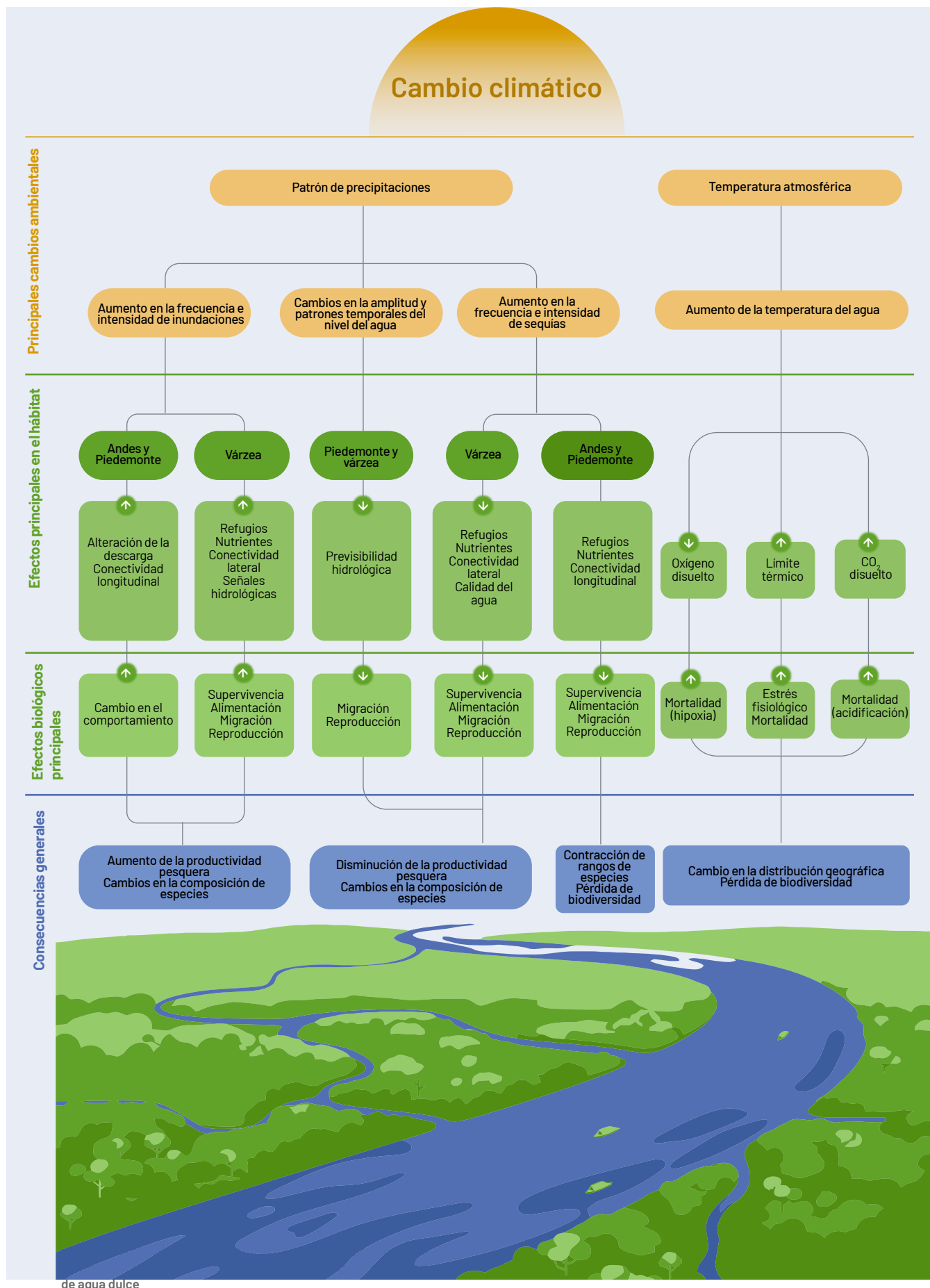


Tabla 1 Efectos del cambio climático sobre los patrones ambientales en la Amazonía, en los hábitats dulceacuícolas y en los procesos poblacionales de peces.

Impactos climáticos	 Efectos sobre o habitat	 Efeitos biológicos	 Grupos de peces afectados	Referencia
Aumento de la temperatura	Aumento de la temperatura del agua Disminución del oxígeno disuelto Acidificación del agua	Supervivencia	 Tasas metabólicas bajas	Campos et al. 2021; Campos et al. 2019; Braz-Mota & Val, 2024; Val & Wood, 2022
			 Respiración acuática	
			 Tolerantes al calor y a la hipoxia	
			 Vulnerables a la acidez	
	Aumento de la temperatura del agua	Distribución	 Sedentarios	Frederico et al. 2016; Oberdoff et al. 2015; Dubos et al. 2022
			 Endémicos	
			 Tolerantes al calor	
			 Amenazados	
Sequía frecuente e intensa	Disminución del alimento	Reproducción	 Estacionales	Cajado et al. 2022; Ropke et al. 2022; Guerreiro et al. 2021; Feng et al. 2020
	Disminución de señales hidrológicas			
	Disminución de la migración longitudinal	Migración	 Migratorios de larga distancia	Feng et al. 2020
	Disminución del acceso a la llanura de inundación		 Estacionales	Cajado et al. 2022; Pinaya et al. 2016, Ropke et al. 2017
			 Tamaño medio/ grande, crecimiento lento	
	Disminución de nutrientes Disminución de lixiviación	Alimentación	 Residentes	Val & Wood, 2022; Guerreiro et al. 2021; Furtado et al. 2023
			 Dependientes de la llanura de inundación	
	Disminución de refugios Disminución del área de hábitat Aumento de la densidad de peces	Depredación	 Estacionales Especialmente jóvenes	Val & Wood, 2022; Cajado et al. 2022
			 Depredadores	
	Disminución de la calidad del agua Disminución del área de hábitat	Supervivencia	 Especies lénticas	Guerreiro et al. 2021; Furtado et al. 2023, Pinaya et al. 2016
			 Especies pesqueras	

Impactos climáticos	 Efeitos sobre o habitat	 Efeitos biológicos	 Grupos de peixes afetados	Referencia	
Inundación frecuente e intensa	Disminución de señales hidrológicas	Reproducción		Estacionales Cajado et al. 2022; Ropke et al. 2022; Feng et al. 2020	
Aumento rápido del nivel del agua	Aumento de partículas suspendidas	Supervivencia		Peces de aguas negras y claras Val & Wood, 2022	
Inundación frecuente e intensa	Aumento del área de hábitat Disminución de la densidad de peces	Depredación		Depredadores Pinaya et al. 2016	
	Aumento de refugios Aumento de alimento	Crecimiento		Estacionales Cajado et al. 2022 8, 12	
	Acidificación del agua	Supervivencia		Vulnerable a la acidez	Val & Wood, 2022
				Peces de aguas negras y claras	
	Cambio en la morfología del canal Cambio en los tipos de hábitat	Distribución		(+) Especies pequeñas con forma fusiforme y cuerpo alargado Borba et al. 2020	

Los resultados indican que la biodiversidad ictiológica y la pesca en el Amazonas están directamente expuestas a los efectos del cambio climático. Esta situación tiene implicaciones profundas para millones de personas que dependen del pescado como fuente principal de proteína y sustento económico. La evidencia aquí presentada subraya la urgencia de incorporar medidas de adaptación específicas en las políticas de conservación y gestión pesquera, de modo que se pueda garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas de agua dulce frente a escenarios climáticos cada vez más inciertos.

2.1.1 Planicies inundables

Aunque la Amazonía alberga una enorme diversidad de hábitats y especies, aún existen vacíos en la investigación de los efectos del cambio climático sobre los peces. La mayor parte de los estudios se ha concentrado en las regiones de planicies inundables, debido a que son las zonas más densamente pobladas y accesibles de la cuenca, lo que facilita la logística del trabajo científico (Carvalho et al., 2023; Tobes et al., 2021).

En estas tierras bajas, el aumento de la temperatura del agua, junto con la mayor frecuencia e intensidad de sequías, ya está afectando procesos poblacionales clave de los peces. Tal como se sintetiza en la Figura 19, estos cambios ambientales repercuten directamente en los hábitats de agua dulce y en los principales rasgos del ciclo de vida de muchas especies. Las principales

respuestas de los peces a los efectos del cambio climático en las zonas de planicie inundable identificadas fueron:

- **Disminución de la reproducción:** Sequías prolongadas alteran la sincronización hidrológica y señales para migración y desove; muchos peces omiten reproducirse en años desfavorables (Ropke et al., 2022, 2024).
- **Reducción de la migración:** Cambios en niveles de agua y flujo afectan patrones migratorios y reducen la conectividad hacia hábitats de alimentación y reproducción, limitando el crecimiento de juveniles (Feng et al., 2020).
- **Disminución de la alimentación:** Sequías intensas reducen la extensión de las llanuras aluviales y la disponibilidad de recursos alimenticios (frutas, semillas, artrópodos, perifiton, etc.) (Freitas et al., 2013).
- **Aumento de la depredación:** La pérdida de hábitat reduce refugios y aumenta la densidad de peces, favoreciendo mayores tasas de depredación (Furtado et al., 2024).
- **Disminución de la supervivencia:** Aguas poco profundas presentan altas temperaturas, hipoxia y mayor concentración de organismos, aumentando la mortalidad; también crece la competencia y amenaza frente a depredadores (Braz-Mota & Val, 2024; Camacho Guerreiro et al., 2021).
- **Cambios en el rango de distribución:** Peces tropicales, con bajo rango de plasticidad térmica, son vulnerables al aumento de temperatura; las poblaciones desplazan su distribución buscando hábitats adecuados, alterando la composición de comunidades (J. V. Campos-Silva et al., 2021; Dubos et al., 2022; Jung et al., 2020).
- **Efectos fisiológicos:** Aguas amazónicas con baja alcalinidad son altamente vulnerables a acidificación. Inundaciones y aumento de temperatura intensifican la acumulación de CO₂ disuelto y la liberación de ácidos orgánicos naturales, lo que reduce el pH del agua, generando estrés iónico en especies menos adaptadas (Val & Wood, 2022).

Las especies estacionales que dependen de la inundación de las llanuras aluviales para crecer, alimentarse y reproducirse son especialmente vulnerables, ya que muchas son grandes, de crecimiento lento, migradoras de media y larga distancia, y además constituyen un objetivo principal de la pesca (Tabla 1). Sus características de ciclo de vida les confieren una respuesta lenta y una baja capacidad de recuperación frente al cambio climático, en contraste con especies de ciclos cortos. A esto se suma la presión pesquera acumulada, que ha transformado la composición de las capturas al desplazar individuos y especies grandes hacia especies más pequeñas y de rápido crecimiento. En conjunto, la interacción entre la presión pesquera y los efectos del cambio climático intensifica los impactos negativos sobre estas poblaciones.

2.1.2 Regiones Andina y Piedemonte

Debido a la naturaleza remota y poco explorada de las regiones andinas y del piedemonte amazónico, existen relativamente pocos estudios sobre los impactos del cambio climático en los peces de estas zonas. No obstante, se reconoce que dicho fenómeno está ejerciendo profundos efectos



sobre sus poblaciones, en particular en los grandes bagres migratorios (*Brachyplatystoma*). Estas regiones se distinguen por sus altos niveles de endemismo y por albergar hábitats de reproducción de estos bagres migratorios de larga distancia, lo que incrementa su vulnerabilidad frente a los cambios ambientales. Las principales respuestas de los peces a los efectos del cambio climático en las regiones andina y piedemonte identificadas son:

- **Pérdida de biodiversidad:** El aumento de la temperatura del agua reduce la disponibilidad de hábitats adecuados, generando amenazas por pérdida de especies, especialmente en el piedemonte andino amazónico, un punto caliente de biodiversidad y endemismo (Jezequel et al., 2020). Los peces tropicales, con baja tolerancia térmica y menor adaptabilidad que las especies templadas, son particularmente vulnerables (J. V. Campos-Silva et al., 2021; Jung et al., 2020).
- **Impacto en grandes especies migratorias:** Los bagres Goliat (*Brachyplatystoma spp.*) se ven afectados por cambios en regímenes fluviales. El Dorado (*Brachyplatystoma rousseauxii*) está incluido en el Apéndice II de la CMS, lo que evidencia su vulnerabilidad y la necesidad de

cooperación internacional. Las alteraciones en caudales, velocidad del flujo y sincronización hidrológica en el piedemonte afectan la conectividad entre zonas de alimentación y reproducción, reduciendo el éxito reproductivo y el reclutamiento, y disminuyendo el tamaño poblacional (Barthem et al., 2017; Feng et al., 2020).

- **Estrés fisiológico y mortalidad:** La acidificación y el aumento de temperatura generan estrés fisiológico en peces de ríos andino-piedemonte con aguas más alcalinas. La reducción del pH altera la regulación iónica, provocando desequilibrios que pueden causar insuficiencia cardiovascular y menor supervivencia (Val & Wood, 2022).
- **Cambio de comportamiento:** El incremento de descargas aumenta la sedimentación y turbidez, lo que afecta el comportamiento, el rendimiento natatorio y daña las branquias de los peces (Val & Wood, 2022). Estos factores reducen la supervivencia y deterioran la condición física de las poblaciones.

2.2 Amenazas concurrentes

El cambio climático no actúa de manera aislada, sino que se superpone e interactúa con otros factores de presión antropogénica, amplificando sus efectos sobre los ecosistemas de agua dulce y su biodiversidad (Figura 20). Esta combinación de amenazas es un fenómeno global que afecta ya a más de un tercio de las pesquerías mundiales (Galappaththi et al., 2022), y en la Amazonía se manifiesta con especial intensidad. En la Amazonia, el cambio climático puede exacerbar las siguientes amenazas existentes para la biodiversidad de agua dulce.

2.2.1 Cambio de la cobertura del suelo

La cobertura forestal regula la infiltración, el flujo de agua y el clima local mediante la evapotranspiración. El bosque amazónico recarga los “ríos voladores” que llevan humedad desde el Atlántico hacia los Andes (Beveridge et al., 2024). La deforestación masiva en el sur de la Amazonía altera esta ruta y agrava los impactos climáticos, reduciendo la descarga de ríos en zonas con altas tasas de deforestación como el Tapajós (20%), frente a cuencas más conservadas como el Purús (5%) (Dalagnol et al., 2017). La deforestación también elimina hábitats acuáticos, aumenta la sedimentación y, junto con las sequías, incrementa los incendios y las emisiones de carbono (Aragão et al., 2018; Mataveli et al., 2024). En 2023 se registraron cerca de 140 mil incendios en la Amazonía brasileña (INPE, 2024).

2.2.2 Represas y otra infraestructura hidráulica

Más de 300 represas hidroeléctricas en la Amazonía andina interrumpen la conectividad fluvial entre Andes y Amazonía (Anderson et al., 2018). Estas represas crean barreras para especies acuáticas, reducen la diversidad de peces, interrumpen las rutas migratorias, y se espera que los impactos se intensifiquen con el cambio climático y la reducción de los rangos de distribución (Peluso et al., 2022).

2.2.3 Contaminación difusa del agua y derrames de petróleo



En 2023 se registraron cerca de
140 mil
incendios en la Amazonía brasileña

La contaminación reduce la calidad del agua y los niveles de oxígeno, empeorados por el aumento de temperatura. Oleoductos y derrames frecuentes han devastado la fauna acuática de la cuenca alta del Amazonas (Azevedo-Santos et al., 2016; Fraser, 2014). El cambio climático puede agravar estos impactos mediante tormentas más intensas que dañan infraestructura y dispersan derrames. También interactúa con el uso de pesticidas, aumentando su concentración y exacerbando el daño tisular en peces (de Souza et al., 2024).

2.2.4 Minería y contaminación por mercurio

La minería artesanal de oro causa deforestación y aporta el 27% de las emisiones globales de mercurio, equivalentes al 80% de Sudamérica (Espejo et al., 2018; Galvis, 2019). El aumento de la temperatura del agua favorece la biodisponibilidad de mercurio en cursos contaminados (Fritz et al., 2024; Xiao et al., 2024), llegando a los tejidos de peces que son fuente de alimento para comunidades locales y pueblos indígenas.

2.2.5 Introducción de especies exóticas

La introducción de especies altera comunidades y reduce biodiversidad. El cambio climático puede intensificar la invasión de especies resistentes, depredadoras y competitivas durante sequías, además de aumentar la virulencia de enfermedades (Rahel & Olden, 2008; Ramírez et al., 2018).

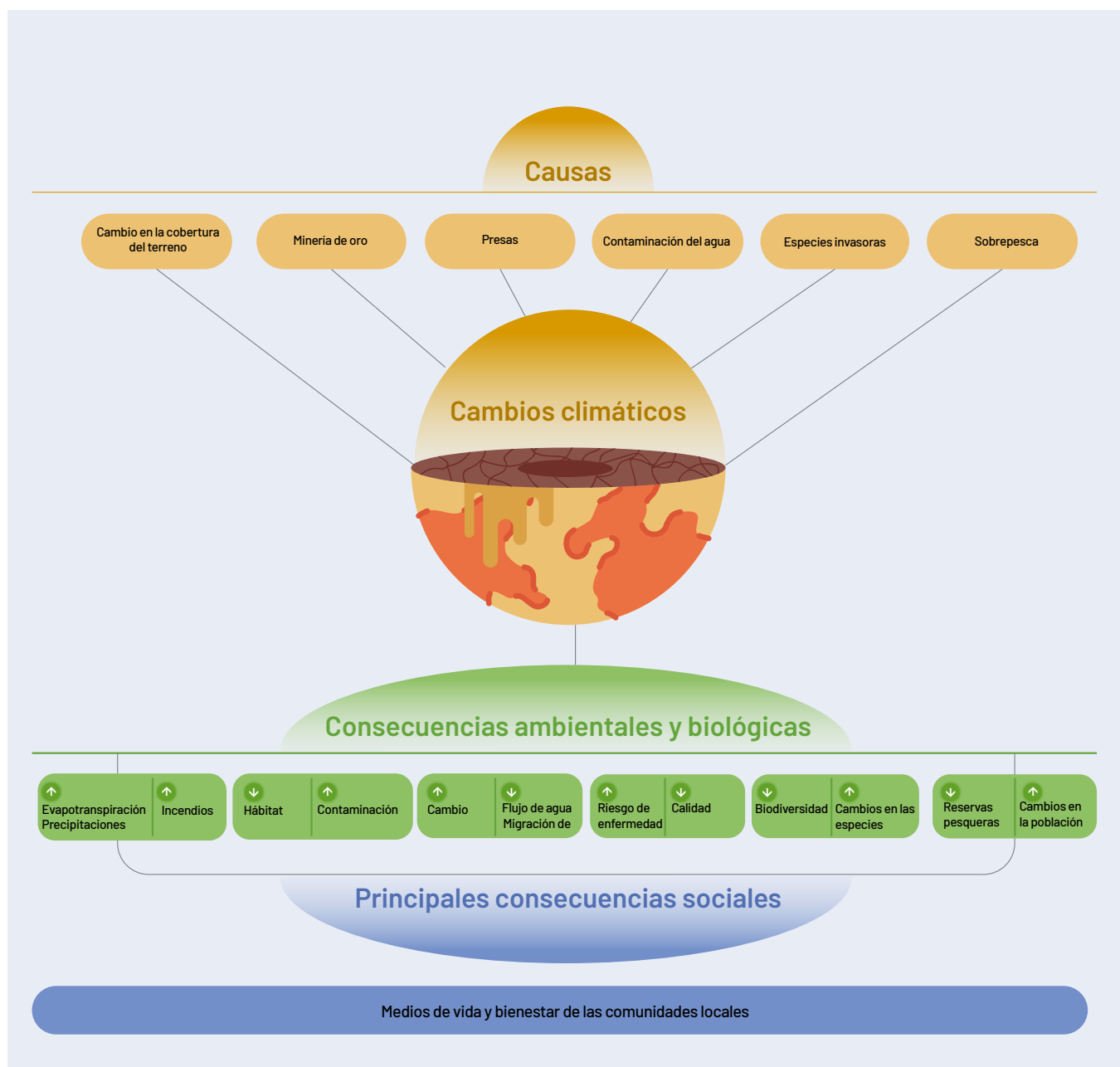
2.2.6 Sobrepesca

La sobrepesca disminuye poblaciones y biodiversidad, y los efectos se intensifican con el cambio climático. Las sequías aumentan la densidad de peces en cuerpos de agua, lo que facilita su captura y eleva su vulnerabilidad (Furtado et al., 2024).



© Cristóbal Corra/ TNC

Figura 17 | Principales impactos antropogénicos que pueden ver incrementados sus efectos con la interacción del cambio climático.



Es importante destacar que la información presentada constituye una visión general de los impactos actuales y futuros del cambio climático en las especies de peces, basada en el conocimiento disponible. No obstante, este conocimiento sigue siendo limitado y frágil, ya que diversos estudios (Dubos et al., 2022; Oberdorff et al., 2015) han evidenciado respuestas divergentes incluso dentro de las mismas especies o grupos de especies. Asimismo, se trata de un campo de investigación reciente y complejo, cuya comprensión se ve aún más restringida por las lagunas en el conocimiento sobre la biología y ecología de muchas especies, así como por los efectos concurrentes de otras presiones. Estas incertidumbres no son solo académicas: se traducen en amenazas para los medios de vida, la seguridad alimentaria y el bienestar de comunidades ribereñas e IP&LCs, poblaciones centrales en la conservación del bosque, que dependen de la pesca y de la salud de

los ecosistemas acuáticos. De ahí la importancia de fortalecer el monitoreo y la investigación coproducida, integrar conocimiento local y ciencia, y diseñar medidas adaptativas que consideren tanto la dinámica ecológica como las necesidades socioculturales (Figura 17).

2.3 Estrategias multiescalares para la adaptación

La gestión de los recursos de agua dulce en la Amazonía requiere intervenciones coordinadas en distintos niveles de gobernanza. El cambio climático, al interactuar con presiones existentes como la deforestación, las represas o la sobrepesca, plantea la urgencia de diseñar respuestas que salvaguarden tanto la biodiversidad como los medios de vida. En esta sección presentamos recomendaciones prácticas organizadas en tres escalas: local, nacional e internacional o transfronteriza.

2.3.1 Nivel local

Aquí presentamos buenas prácticas a ser implementadas por comunidades pesqueras, cooperativas, asociaciones, colonias y agencias ambientales estatales (subnacionales) y municipales (locales):

- **Programas de monitoreo comunitario:** Iniciativas lideradas por comunidades que integran conocimiento ecológico local para recopilar y analizar datos ambientales (niveles de agua, precipitación, poblaciones de peces). Estos datos son esenciales para identificar amenazas del cambio climático y fundamentar la gestión adaptativa y planes de contingencia.
- **Gestión pesquera adaptativa e informada por la amenaza:** Estrategia comunitaria que ajusta decisiones de manejo frente a variaciones climáticas y cambios en la productividad de especies. Incluye medidas como: ajustar esfuerzo pesquero según biomasa, modificar vedas en años de sequía, diversificar hacia especies pequeñas de rápida recuperación, cambiar zonas de pesca, mejorar la cadena productiva y agregar valor a productos, y reforzar regulaciones en periodos críticos, reduciendo la presión sobre poblaciones y manteniendo ingresos.
- **Protección duradera del agua dulce:** Los enfoques de conservación suelen ignorar la conectividad y procesos de los ecosistemas acuáticos, lo que limita su efectividad (Castello et al., 2013; Higgins et al., 2021; Leal et al., 2020). Es crucial proteger: i) lagos profundos de llanuras aluviales que mantienen biodiversidad en sequías; ii) ríos medianos y grandes de caudal libre, de alta productividad y baja cobertura de protección (Dubos et al., 2022; Frederico et al., 2021); iii) especies endémicas y amenazadas en la Amazonía andina, donde proliferan hidroeléctricas (Dagosta et al., 2021). Los modelos comunitarios de gobernanza resultan más efectivos al combinar conservación y beneficios socioeconómicos (J. V. Campos-Silva et al., 2018, 2021; Medeiros-Leal et al., 2021).
- **Restauración de ecosistemas:** La reforestación, revegetación y restauración de humedales son claves para sostener biodiversidad y productividad pesquera (Arantes et al., 2019; Sweeney & Newbold, 2014). Zonas de amortiguamiento riparias de 50-100 m ayudan a conservar especies amenazadas (Dala-Corte et al., 2020). Los humedales recuperados funcionan como amortiguadores frente a inundaciones y sequías al retener agua y estabilizar flujos (Simpson et al., 2024). Además, reconectar llanuras aluviales y mejorar hábitats en arroyos incrementa la resiliencia frente a caudales extremos o disminuidos (Palmer et al., 2008).

2.3.1 Nivel nacional

Aquí presentamos recomendaciones de buenas prácticas para ser aplicadas por organismos nacionales como Ministerios de Pesca, Medio Ambiente y Seguridad Social en los diferentes países amazónicos:

➤ **Áreas de conservación y territorios indígenas:**

Deben priorizarse en zonas proyectadas como hábitats críticos para especies con mayor amenaza, manteniendo ríos de flujo libre y regímenes naturales para absorber perturbaciones (Palmer et al., 2008). Existen mecanismos útiles como Otras Medidas Efectivas de Conservación Basadas en Área (OMECS), caudales ecológicos, reservas de agua que pueden mejorar la representatividad de ecosistemas de agua dulce críticos en los sistemas de áreas protegidas. Asimismo, se debe mejorar el manejo de las áreas protegidas y conservadas para incluir objetivos de conservación relacionados al agua dulce de manera explícita. Otros mecanismos legales van creciendo en importancia en la región. Un ejemplo destacado es el reconocimiento de los derechos de los ríos, que incluyen caudal ecológico, restauración y protección contra contaminación (International Rivers, 2023), aplicado al río Marañón con las mujeres Kukama como guardianas.



➤ **Colaboración con entidades de adaptación climática:**

Requiere trabajo conjunto con financiadores internacionales (e.g., *Green Climate Fund*, Banco Interamericano de Desarrollo-BID, Banco Mundial, *Global Environmental Facility-GEF*, entre otros) para crear planes nacionales de adaptación pesquera y garantizar que los recursos lleguen al nivel local e indígena.

➤ **Planes participativos de adaptación:**

Los países deben desarrollar planes inclusivos con acciones concretas que contemplen: i) protección de la biodiversidad de agua dulce mediante soluciones basadas en la naturaleza (SbN) y especies vulnerables; ii) control de presiones como deforestación, represas, oleoductos, minería y especies introducidas; iii) consolidación de planes de adaptación a nivel de cuenca, incluso transfronterizos, y capacitación de profesionales en procesos ecosistémicos (Phiri et al., 2023).

➤ **Investigación prioritaria para la gestión:**

Es clave estudiar la capacidad de adaptación diferencial de las especies, el rol de refugios en la conservación de diversidad íctica y los mecanismos de gestión más adecuados para especies con distintas tolerancias al cambio climático (Ogutú-Ohwayo et al., 2016).

2.3.3 Nivel internacional y transfronterizo

Para facilitar la gestión colaborativa y la protección de los cursos de agua compartidos y la biodiversidad de agua dulce entre los países amazónicos, las siguientes organizaciones, redes, y convenciones pueden ser beneficiosos: Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA); Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), específicamente su Comité de Pesca (COFI); Alianza de Aguas Amazónicas; Asociación Mundial para el Agua (GWP); Convenio de las Naciones Unidas sobre el Derecho de los Usos de los Cursos de Agua Internacionales no Relacionados con la Navegación (UNWC); Convenio sobre la Protección y Utilización de los Cursos de Agua Transfronterizos y los Lagos Internacionales; Convención de Ramsar sobre los Humedales de Importancia Internacional; Convención sobre las Especies Migratorias (CMS); el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) y los mecanismos de la UNESCO —en particular Sitios de Patrimonio Mundial y Reservas de la Biosfera—, aplicables a paisajes fluviales y humedales amazónicos. Aquí presentamos algunas recomendaciones específicas:

- **Planificación estratégica de la conservación:** Debe ser acordada entre países e incluir: i) creación y expansión de ríos transfronterizos protegidos y corredores de conservación de agua dulce, evaluando vulnerabilidad, irremplazabilidad y representatividad bajo escenarios de cambio climático (Frederico et al., 2021; Jezequel et al., 2020); ii) planes de desarrollo que consideren la conectividad longitudinal, vertical y lateral a nivel de cuenca, abarcando todo el ciclo de vida de las especies (Grill et al., 2015), como los bagres migratorios que requieren coordinación multinacional; iii) restauración estratégica de vegetación mediante “reforestación inteligente” en áreas clave de precipitación que sustentan la evapotranspiración regional.
- **Compromiso de políticas internacionales:** Implica fortalecer políticas transfronterizas a través de espacios como la OTCA, y comprometerse con acuerdos globales para reducir emisiones y amenazas al agua dulce, redirigiendo inversiones hacia actividades libres de carbono (Costa et al., 2024; Fernandes et al., 2024). Además, supone asumir compromisos específicos para aumentar la representatividad de los ecosistemas de aguas continentales en áreas protegidas y conservadas, por ejemplo, integrar explícitamente las aguas continentales en la Meta 3 del Marco Global de Biodiversidad de Kunming-Montreal (30x30) y adherir al Freshwater Challenge para proteger, restaurar y gestionar ríos, humedales y acuíferos de manera efectiva. Los compromisos internacionales pueden incluir la alineación de criterios para la priorización de áreas de conservación y corredores de conectividad hídrica, gestión de pesquerías, navegación fluvial, entre otros, de manera que se pueda realizar una planificación del desarrollo a nivel de cuenca (o subcuenca) con un enfoque de la montaña al mar.
- **Iniciativas de monitoreo sistémico:** Requieren datos de largo plazo ($\geq$ cinco ciclos anuales) sobre poblaciones y dinámica pesquera para establecer enfoques armonizados entre países amazónicos. Incluyen encuestas de captura, programas estandarizados como las Encuestas de Evaluación de Capturas (CAS, por sus siglas en inglés), estudios limnológicos, identificación de zonas de desove y estimación de tamaños poblacionales efectivos. Estos sistemas deben integrarse con el monitoreo comunitario local.

2.4 Conclusiones

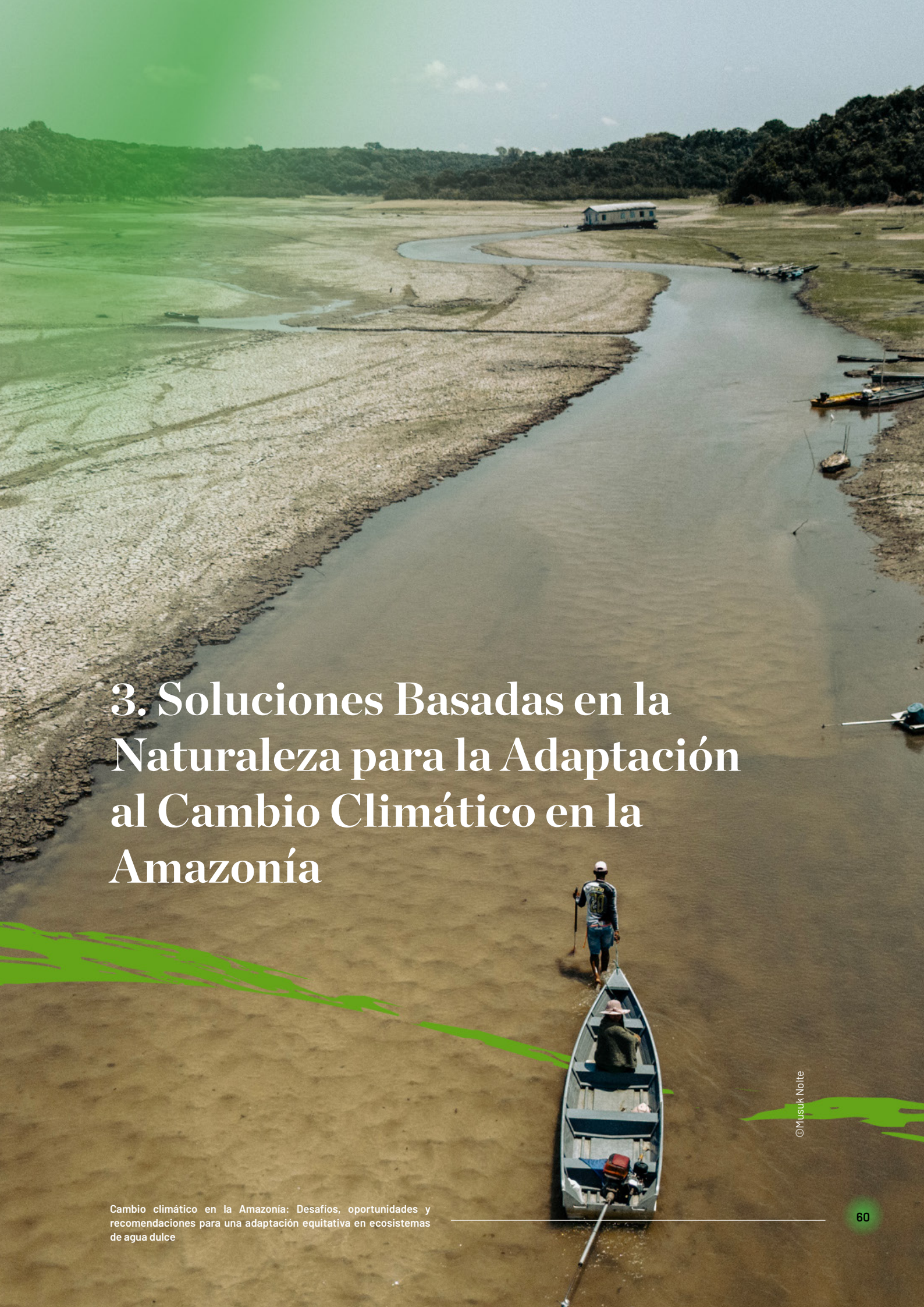
El análisis presentado en este capítulo muestra que el cambio climático está transformando de manera profunda los ecosistemas de agua dulce amazónicos, alterando la temperatura, los

regímenes hidrológicos y los procesos ecológicos de los que dependen peces, tortugas, mamíferos acuáticos y otras especies. Estas modificaciones tienen efectos en cascada sobre la reproducción, la migración, la alimentación, la supervivencia y la salud fisiológica de las poblaciones acuáticas, comprometiendo también la seguridad alimentaria y cultural de millones de personas que dependen de la pesca, y que son claves para la conservación y manejo del bosque.

Estos impactos no ocurren de forma aislada: interactúan con presiones concurrentes como la deforestación, la construcción de represas, la contaminación por petróleo y mercurio, la introducción de especies y la sobrepesca. El resultado es un escenario complejo donde las respuestas de las especies son heterogéneas y, en muchos casos, difíciles de predecir, lo que incrementa la incertidumbre para la gestión y conservación.

Ante esta situación, se vuelve imperativo avanzar hacia estrategias de adaptación integradas y multiescalares. A nivel local, el empoderamiento comunitario mediante el monitoreo participativo, la gestión pesquera adaptativa y la restauración de hábitats críticos se perfilan como acciones prioritarias. A nivel nacional, se requiere fortalecer los marcos de conservación, asegurar la inclusión de la biodiversidad de agua dulce en los planes de adaptación climática y conservación de la biodiversidad, y promover investigación aplicada que oriente la toma de decisiones. Finalmente, a nivel internacional, la cooperación transfronteriza y los compromisos en foros multilaterales resultan esenciales para mantener la conectividad ecológica de la cuenca y salvaguardar especies migratorias de gran escala.

Los hallazgos de este capítulo subrayan que la adaptación de la biodiversidad amazónica al cambio climático es inseparable de la adaptación de las comunidades humanas. La protección de peces y ecosistemas de agua dulce no solo es un asunto ecológico, sino también una condición necesaria para la seguridad hídrica, alimentaria y cultural de la región.

An aerial photograph of a wide, shallow river in the Amazon. The river is a muddy brown color and flows from the top right towards the bottom center. On the left bank, there is a large, flat, light-colored area that appears to be a dry riverbed or a large sandbar. In the foreground, a small blue boat with a person inside is moving towards the center. Another person is standing on the riverbank near the boat. In the background, there is a small white building on the right bank and a dense forest of green trees on the left bank. The sky is a pale blue with some light clouds. The overall scene depicts a natural landscape in the Amazon region.

3. Soluciones Basadas en la Naturaleza para la Adaptación al Cambio Climático en la Amazonía



En la Amazonía, los impactos del cambio climático ya se sienten y continuarán intensificándose, y las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) ofrecen un camino práctico para la adaptación. A nivel global, cerca del 60% de las respuestas de adaptación documentadas desde 2014 se orientan a amenazas relacionadas con el agua, y se destaca que el agua será central para un desarrollo resiliente al clima (IPCC, 2022). Las SbN protegen, conservan, restauran y gestionan ecosistemas para reducir la exposición y la amenaza frente a impactos (e.g., amortiguar inundaciones, sequías y erosión). Además, algunas SbN secuestran o evitan emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), contribuyendo a la mitigación climática en sentido estricto. Según estimaciones citadas por el IPCC y ONU-Medio Ambiente, estas acciones podrían aportar una fracción sustantiva de la mitigación global requerida hacia 2030 para cumplir el Acuerdo de París, con buena relación costo-efectividad y cobeneficios para biodiversidad (IPCC, 2022; Severin & Michalková, 2023; UNEP, 2022).

En la cuenca amazónica, las SbN incluyen la conservación y protección de ecosistemas intactos (i.e., en áreas protegidas), la reforestación y revegetación ribereña, la restauración de humedales y la reconexión de planicies inundables. La conservación/protección es, en términos de superficie, la intervención más extendida y de mayor impacto, porque mantiene los servicios ecosistémicos que amortiguan picos de caudal, regulan el clima local, sostienen hábitats y resguardan la calidad y disponibilidad de agua. Estas acciones disminuyen la exposición (e.g., atenuando crecidas) y la amenaza (e.g., asegurando medios de vida, acceso a agua y sistemas agroecológicos diversificados). No obstante, la creciente intermitencia de extremos puede saturar o dañar SbN mal ubicadas o poco robustas (e.g., incendios en reforestaciones recientes o inundaciones que arrasan plántulas). Por ello, el diseño y manejo deben reconocer la dinámica hidrológica y geomorfológica y la diversidad social amazónica, y priorizar enfoques integrados y liderados localmente (IPCC, 2022; UNEP, 2022).

3.1 Paisajes de análisis

En este capítulo proponemos un listado de SbN ajustado para los paisajes y comunidades en la cuenca Amazónica, y estimamos su potencial de implementación. Con este fin, adoptamos un marco metodológico que divide la cuenca en paisajes hidrogeomorfológicos (Jézéquel et al., 2022), que comparten características similares, y que tienen el potencial de responder a las SbN de manera similar. Con fines operativos, agregamos estas unidades en cuatro grandes grupos (Figura 21).

3.1.1 Paisaje Axial

El paisaje axial corresponde a los grandes ríos principales, como el Amazonas, Negro y Madeira, que recorren largas distancias atravesando diferentes regiones. Son ríos anchos, de caudales muy altos, que transportan enormes volúmenes de agua y sedimentos. Sus márgenes están rodeadas por extensas planicies de inundación, fundamentales para regular inundaciones y mantener la fertilidad del suelo. La conectividad de estos ríos con sus zonas inundables es clave para la biodiversidad y el equilibrio hidrológico regional.

3.1.2 Paisaje Andino

El paisaje andino abarca las cabeceras de los ríos en las estribaciones de los Andes, donde predominan pendientes pronunciadas, suelos frágiles, cauces estrechos y rápidos, con alta energía fluvial. Estas zonas son cruciales para el suministro de agua y sedimentos a toda la cuenca, pero también son las más vulnerables a deslizamientos, erosión y alteraciones del ciclo hídrico asociadas a la pérdida de cobertura vegetal. La conservación de los bosques montanos y de los páramos en estas áreas es clave para la estabilidad hidrológica de los ríos amazónicos. Este paisaje se caracteriza por ríos andinos pequeños y medianos, con suelos de origen volcánico ricos en sedimentos y una marcada variabilidad altitudinal, que va aproximadamente de los 1,000 a los 5,000 m.s.n.m. En él encontramos humedales altoandinos de importancia ecológica, así como las nacientes de grandes ríos amazónicos que drenan los Andes (Ucayali, Marañón, Napo, Putumayo, Japurá, entre otros), caracterizados por aguas rápidas, fuertes pendientes y rocas sedimentarias mezcladas con otros tipos de sustrato.

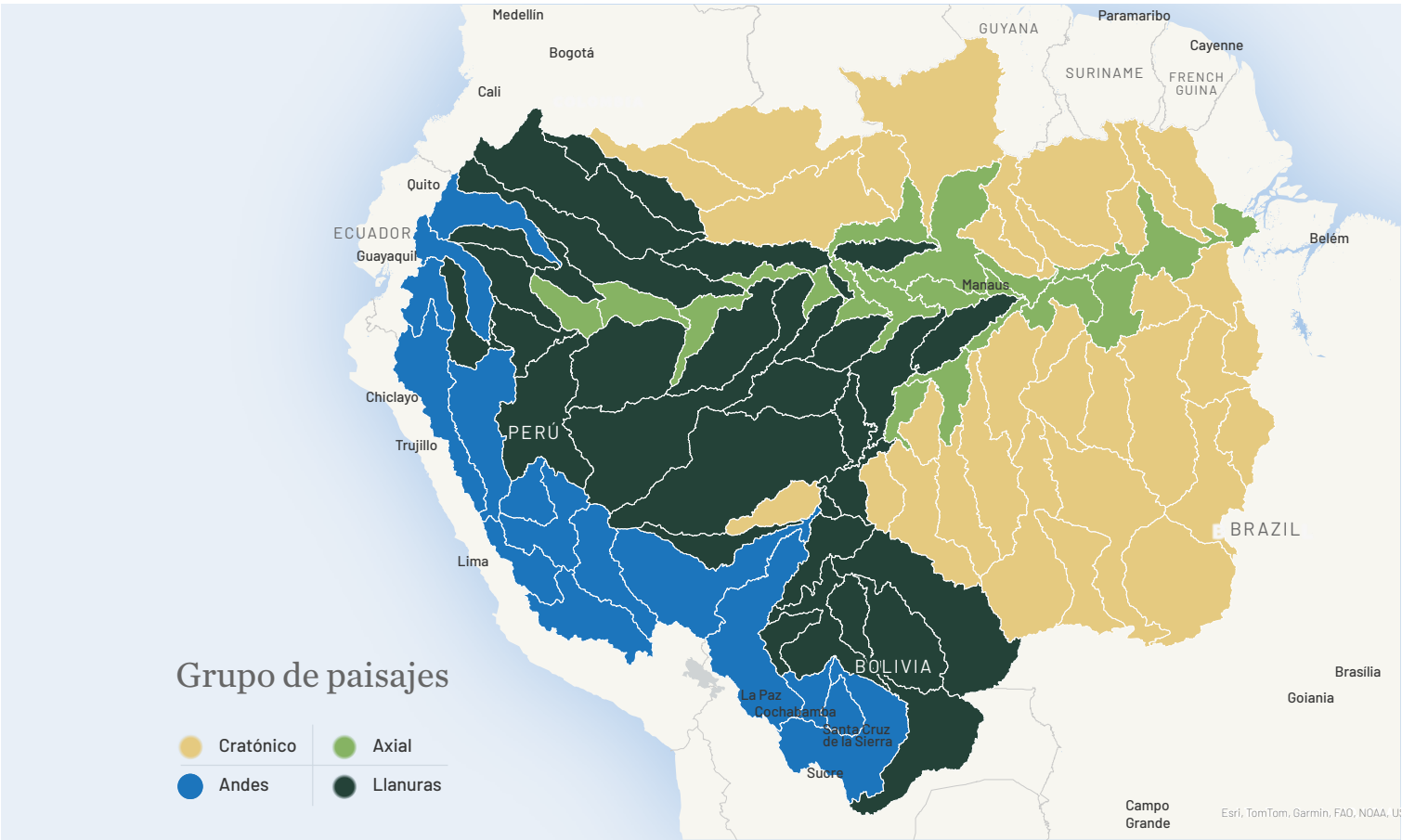
3.1.3 Paisaje de Llanuras

Las llanuras intermedias, entre los Andes y los grandes ríos troncales, forman un paisaje de alta biodiversidad con numerosos meandros, lagos, humedales y áreas de inundación estacional. Estos sistemas actúan como amortiguadores naturales, absorbiendo el exceso de agua en época de lluvias y liberándola gradualmente en la estación seca. La integridad de estos ecosistemas es fundamental para la seguridad alimentaria local, especialmente para comunidades que dependen de la pesca y la agricultura tradicional. Subcuencas bajas y centrales (Purús, Juruá, Javari), sobre depósitos aluviales y rocas sedimentarias mixtas.

3.1.4 Paisaje Cratónico

Este paisaje se desarrolla sobre antiguos macizos rocosos (cratones) y se caracteriza por ríos de poca pendiente, sinuosos, que atraviesan planicies estables y suelos pobres en nutrientes. Aunque las corrientes son más lentas, estas zonas cumplen una función esencial como reguladoras del flujo de agua en época de lluvias y como filtros naturales que retienen sedimentos. Los ecosistemas aquí son frágiles y sensibles a la deforestación, pero son vitales para la recarga de acuíferos. Subcuencas de los escudos Guayanés y Brasileiro, con rocas cristalinas impermeables; aguas claras y, en el caso del alto río Negro, aguas negras.

Figura 18 Grupos de paisajes agregados según atributos geomorfológicos a macroescala (Jézéquel et al., 2022).



La agregación de los paisajes nos permite mapear tipologías de SbN para reducir impactos de inundaciones y sequías sobre paisajes con comportamientos hidrológicos comparables. En las secciones siguientes, presentamos para cada grupo de paisaje (i) las tipologías de SbN para la Amazonía, (ii) una propuesta de implementación y potenciales impactos, (iii) consideraciones clave para la implementación de SbN, y (iv) adaptación equitativa como elemento fundamental para la adaptación de SbN.

3.2 Tipologías de SbN para la Amazonía

Las SbN en la cuenca amazónica abarcan un abanico amplio de intervenciones que van desde la protección de hábitats críticos hasta la gestión sostenible de sistemas productivos. Todas ellas buscan reducir la exposición a sequías e inundaciones, al tiempo que fortalecen la biodiversidad y generan beneficios directos para las comunidades, aumentando la resiliencia a múltiples escalas (Vigerstol et al., 2023).

Una primera categoría corresponde a la **protección y manejo de hábitats**, como bosques, humedales

y páramos, cuya conservación previene su conversión a otros usos y mantiene procesos ecológicos esenciales. Al conservar estas áreas, se asegura la infiltración del agua y la recarga de acuíferos, se amortiguan las crecidas y se reduce la exposición a inundaciones. Además, generan ingresos locales a través de actividades diversificadas y contribuyen al almacenamiento de carbono.

La **restauración de hábitats naturales**, en particular bosques amazónicos y páramos andinos, refuerza la regulación hídrica y la resiliencia ecosistémica. Intervenciones como la regeneración natural asistida, la reforestación de franjas ribereñas, el control de erosión en laderas y la rehabilitación de turberas altoandinas aumentan la intercepción del dosel, la materia orgánica del suelo y la infiltración, estabilizando suelos y elevando el caudal base en épocas secas. Al mismo tiempo, reducen la escorrentía rápida, los picos de crecida y la carga de sedimentos, protegiendo infraestructuras y medios de vida. Estos procesos favorecen la recuperación de la biodiversidad, la conectividad ecológica y la captura de carbono, tanto en biomasa como en suelos orgánicos de páramo, generando beneficios hidrológicos y climáticos a escala de cuenca.

Las SbN también se extienden a los sistemas productivos. La **gestión agrícola regenerativa** no se limita a un conjunto de prácticas, sino que adopta un enfoque sistémico que integra ciencia y conocimiento local para regenerar suelos, restaurar biodiversidad y construir resiliencia climática. Incluye técnicas como cultivos de cobertura, terrazas, agroforestería o zanjas de infiltración, que mejoran la humedad del suelo, aumentan la infiltración y reducen la escorrentía, con beneficios directos para la productividad agrícola y la seguridad alimentaria. Este enfoque ofrece un “triple logro”: (i) Naturaleza: menos deforestación, ecosistemas restaurados, suelos y fuentes de agua más saludables; (ii) Agricultura: mayor productividad, menores costos y cadenas de valor más resilientes; (iii) Comunidades: medios de vida más robustos, seguridad alimentaria e inclusión social. En paralelo, la **gestión ganadera sostenible**, como el pastoreo rotacional o los sistemas silvopastoriles, reducen la compactación del suelo, aumentan la infiltración y ayudan a estabilizar pastizales frente a fenómenos climáticos extremos.

La **restauración de planicies inundables y ríos** buscan recuperar la capacidad natural de estos ecosistemas para almacenar agua, filtrar contaminantes y regular caudales. Al rehabilitar su hidrología, vegetación y suelos, los humedales pueden almacenar excedentes en temporadas de lluvia e incrementar el caudal base en épocas secas, lo que disminuye tanto la amenaza de sequías como de inundaciones. De forma complementaria, la restauración fluvial, que incluye la creación de meandros y estanques, restablece funciones ecosistémicas críticas y asegura hábitats para especies acuáticas vulnerables.

En conjunto, estas tipologías conforman un portafolio diverso de soluciones que, además de mitigar amenazas climáticas, aportan beneficios colaterales como mejora de la calidad del agua, almacenamiento de carbono, regulación de la temperatura y oportunidades socioeconómicas para comunidades locales. Implementadas de manera estratégica, representan un eje central para la adaptación de la Amazonía frente a un futuro de mayor incertidumbre climática (Tabla 2).

Tabla 2 | Tipología, manejo de amenazas y cobeneficios de SbN en la región Amazónica

Tipología	 Amenazas manejadas	 Beneficios adicionales	 Cobeneficios
Protección y manejo de hábitats: Evitar la pérdida de bosques, humedales y pastizales críticos.	- Sequía: mantiene infiltración y recarga de acuíferos. - Inundación: reduce escorrentía y retrasa caudales máximos.	Diversificación de medios de vida; fortalecimiento de la adaptación.	Mejora de la calidad del agua; recreación; almacenamiento de carbono.
Restauración de hábitats naturales (bosques y páramos)	- Sequía: mejora la retención hídrica del suelo, la recarga y el caudal base. - Inundación: incrementa la interceptación y la rugosidad, disminuye la escorrentía y los picos de crecida; reduce erosión y deslizamientos.	Recuperación de biodiversidad; suelos más estables; provisión de agua regulada para consumo y riego; menor riesgo de incendios altoandinos.	Captura y almacenamiento de carbono (biomasa y suelos de páramo); polinización; conectividad ecológica; mejor calidad de agua aguas abajo.
Gestión agrícola regenerativa: Agricultura sostenible (suelo, cultivos, escorrentía) alineada con procesos ecológicos.	- Sequía: aumenta humedad del suelo. - Inundación: mejora infiltración y reduce escorrentía.	Seguridad alimentaria; mayor productividad y estabilidad de ingresos.	Ambos escenarios apuntan a un aumento del estrés hídrico, afectando ecosistemas, comunidades locales y economías dependientes del agua.
Gestión ganadera sostenible: Técnicas de pastoreo y praderas que reducen impactos ambientales.	- Sequía: aumenta humedad del suelo. - Inundación: mejora infiltración y reduce escorrentía.	Mayor seguridad alimentaria; ingresos ganaderos estables.	Captura de carbono; mejor calidad del agua.

3.3 Propuesta de Implementación de SbN en la cuenca Amazónica

Considerando los impactos proyectados del cambio climático en la cuenca amazónica—en particular la reducción del caudal y sus efectos sobre comunidades, ecosistemas y actividades productivas—identificamos áreas prioritarias para implementar cuatro SbN para las que existe información espacial consistente a escala de cuenca: (i) protección y gestión de hábitats, que contribuye a manejar sequías e inundaciones con cobeneficios en calidad de agua, recreación y almacenamiento de carbono; (ii) gestión agrícola regenerativa, que aumenta la humedad del suelo en sequía, mejora la infiltración y reduce la escorrentía en inundación, con cobeneficios en seguridad alimentaria, mayor productividad y estabilidad de ingresos, además de mejoras en la calidad del agua y del aire; (iii) gestión ganadera sostenible, que mejora la infiltración y la estabilidad de suelos frente a sequías e inundaciones, aportando seguridad alimentaria e ingresos más estables, además de captura de carbono y mejor calidad de agua; y (iv) restauración de planicies y ríos, que incrementa la retención y recarga en sequías y disipa energía en crecidas, mejorando el acceso al agua y reduciendo amenazas para asentamientos, con cobeneficios en diversidad de hábitats y carbono. Seleccionamos este subconjunto porque contábamos con capas comparables para su priorización; otras SbN mencionadas en el documento no disponían de datos homogéneos para el mapeo regional. La propuesta se fundamenta en el marco de *Accelerating Adaptation* (Vigerstol et al., 2023) y en la tipología/ecorregiones de agua dulce (Jézéquel et al., 2022).

A partir de los mapas de amenaza climática presentados en el primer capítulo de este informe, priorizamos implementaciones de SbN relacionadas con de protección de hábitat, gestión agropecuaria sostenible y restauración de ecosistemas estratégicos. El objetivo es doble: reducir las amenazas asociadas a sequías e inundaciones y fortalecer los medios de vida locales al salvaguardar la biodiversidad amazónica. Presentamos a continuación los resultados detallados de esta priorización, mostrando las áreas de mayor potencial de implementación en la cuenca amazónica y destacando cómo estas acciones pueden contribuir a la adaptación al cambio climático y a la sostenibilidad de largo plazo.

3.3.1 Protección de hábitat

En la cuenca amazónica, la protección de ecosistemas naturales amenazados, como bosques, humedales y páramos constituye una medida central para la adaptación al cambio climático. Esta estrategia busca evitar la conversión y degradación de estos entornos, manteniendo sus funciones hidrológicas esenciales y su capacidad reguladora frente a eventos extremos.

Desde una perspectiva de reducción de amenazas, la protección de hábitats ofrece un doble beneficio. Durante episodios de inundación, contribuye a reducir y retrasar la escorrentía superficial, disminuyendo los caudales máximos y limitando la exposición de personas e infraestructuras. En





©Musuk Nolte

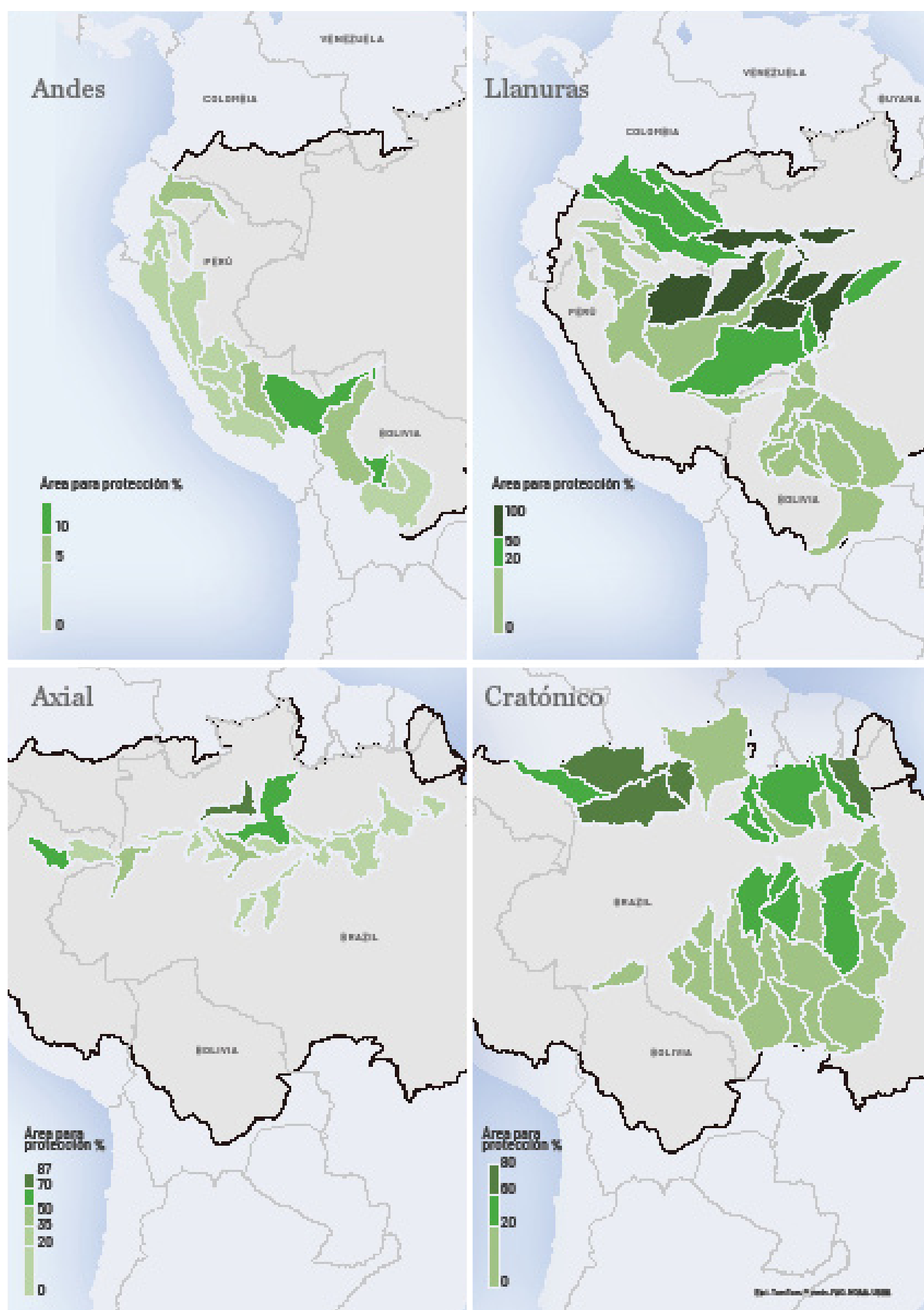
periodos de sequía, favorece la infiltración, conserva la humedad del suelo, mantiene los caudales base y contribuye a la recarga de acuíferos, asegurando un suministro más estable de agua dulce.

En un contexto en el que las proyecciones muestran descensos significativos del caudal durante la estación seca, el mayor valor adaptativo de estas medidas radica en su capacidad de atenuar la escasez y mejorar la disponibilidad relativa de agua en los momentos más críticos del año, reduciendo picos de déficit y ampliando ventanas de acceso, según su diseño, localización y escala de implementación. De este modo, pueden contribuir a fortalecer la resiliencia ecológica de los ecosistemas y la seguridad hídrica de las comunidades locales, sin que ello implique garantizar abastecimiento bajo sequías extremas como las de 2023–2024.

La Figura 19 ilustra la distribución espacial de las áreas con mayor potencial para implementar SbN de protección, organizadas por grupo de paisaje geomorfológico. El mapa destaca la ubicación y la extensión de estas áreas prioritarias, lo que permite comprender mejor dónde las medidas de protección podrían reportar los mayores beneficios hidrológicos.

Las áreas de protección potenciales se superponen significativamente con las áreas en las que se prevén mayores cambios en los caudales estacionales: más del 98 % de los paisajes intactos coinciden con áreas en las que se prevé una reducción de los caudales estacionales de al menos el 10 %. La gran mayoría (90 %) de estas áreas se encuentran dentro de los tipos de paisaje cratónico y de llanura, en elevaciones bajas a medias, en grandes afluentes aguas arriba del cauce principal del Amazonas.

Figura 19. Distribución espacial del potencial de protección para los diferentes paisajes geomorfológicos



3.3.2 Gestión agrícola regenerativa

La adopción de buenas prácticas agrícolas representa una estrategia clave para fortalecer la resiliencia de los sistemas de producción y restaurar áreas degradadas, especialmente en las subcuencas del sur de la cuenca Amazónica. Estas prácticas incluyen la gestión sostenible del suelo (e.g., labranza reducida, protección de suelos y construcción de terrazas), la diversificación de cultivos y vegetación mediante sistemas agroforestales, cultivos intercalados, franjas de amortiguamiento y coberturas vegetales, así como el manejo de la escorrentía con zanjas, estanques y humedales artificiales.

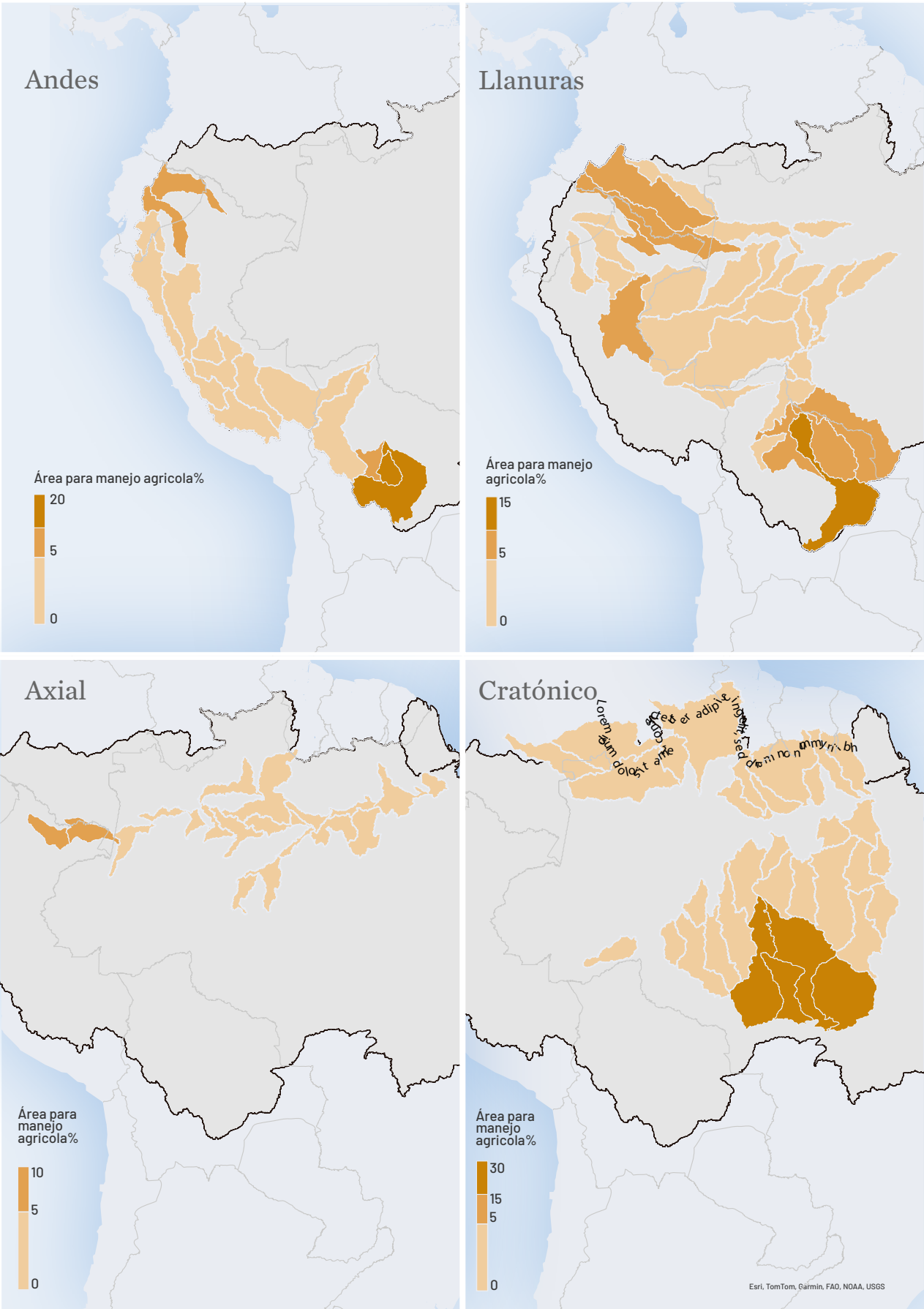
Aunque el alcance espacial de esta SbN es más limitado en comparación con otras medidas, sus impactos pueden ser particularmente significativos a escala local, sobre todo en las cabeceras del Escudo Cratónico y en las llanuras bajas. En estas zonas, las buenas prácticas agrícolas no solo mejoran la infiltración y la retención de humedad, sino que también reducen la erosión, estabilizan los caudales estacionales y fortalecen la conectividad ecológica. De esta manera, contribuyen a que las comunidades agrícolas enfrenten mejor la variabilidad climática y aseguren su seguridad hídrica.

La Figura 20 ilustra la distribución espacial de las áreas con mayor potencial para implementar SbN de gestión agrícola regenerativa, organizadas por grupo de paisaje geomorfológico. El mapa identifica la ubicación y la extensión de estas áreas prioritarias. Esta integración visual permite identificar con mayor precisión los lugares en los que la aplicación de buenas prácticas agrícolas podría generar los mayores beneficios hidrológicos y de adaptación.

Aunque su alcance espacial dentro de la cuenca es más limitado en comparación con otras SbN, con menos superposición espacial con las áreas de mayores reducciones previstas (más del 20 %) en el caudal estacional de los ríos, la implementación de SbN agrícolas puede tener un gran impacto local, especialmente en las cabeceras del escudo cratónico y las llanuras bajas. En estos entornos, donde se prevé que las reducciones del caudal fluvial sean significativas (superiores al 10 %), las buenas prácticas agrícolas no solo mejoran la infiltración del suelo y la retención de humedad, sino que también reducen la erosión, estabilizan los caudales estacionales y promueven la conectividad ecológica. Esto ayuda a las comunidades agrícolas a adaptarse de manera más eficaz a los cambios en la disponibilidad de agua como consecuencia del cambio climático.



Figura 20 | Distribución espacial del potencial de gestión agrícola regenerativa por paisajes geomorfológicos y su coincidencia con cambios de caudal proyectados.



3.3.3 Gestión ganadera sostenible

En la cuenca amazónica, el pastoreo ocupa una superficie significativamente mayor que la agricultura, lo que le otorga un papel central en las dinámicas de uso del suelo y en la gestión de los recursos naturales. Por ello, mejorar las prácticas de manejo ganadero constituye una oportunidad estratégica para implementar SbN con impacto a escala de cuenca. Estas medidas no solo pueden fortalecer la resiliencia de los sistemas de producción frente al cambio climático, sino también contribuir directamente a la conservación de los recursos hídricos y del suelo.

Entre las prácticas más eficaces destacan el pastoreo rotacional, el uso de cercas para controlar la presión sobre determinadas áreas, la integración de forrajes, árboles y ganado a través de sistemas silvopastoriles, y el manejo sostenible de pasturas mediante la plantación de especies forrajeras, la resiembra estratégica y la creación de franjas de amortiguamiento. Estas prácticas reducen la compactación del suelo, aumentan la infiltración y la retención de humedad, y ayudan a estabilizar la superficie. Como resultado, tienen un alto potencial para mitigar amenazas asociadas tanto a inundaciones, al ralentizar la escorrentía y estabilizar los suelos, como a sequías, al favorecer la infiltración, mantener la humedad y reducir la evaporación.

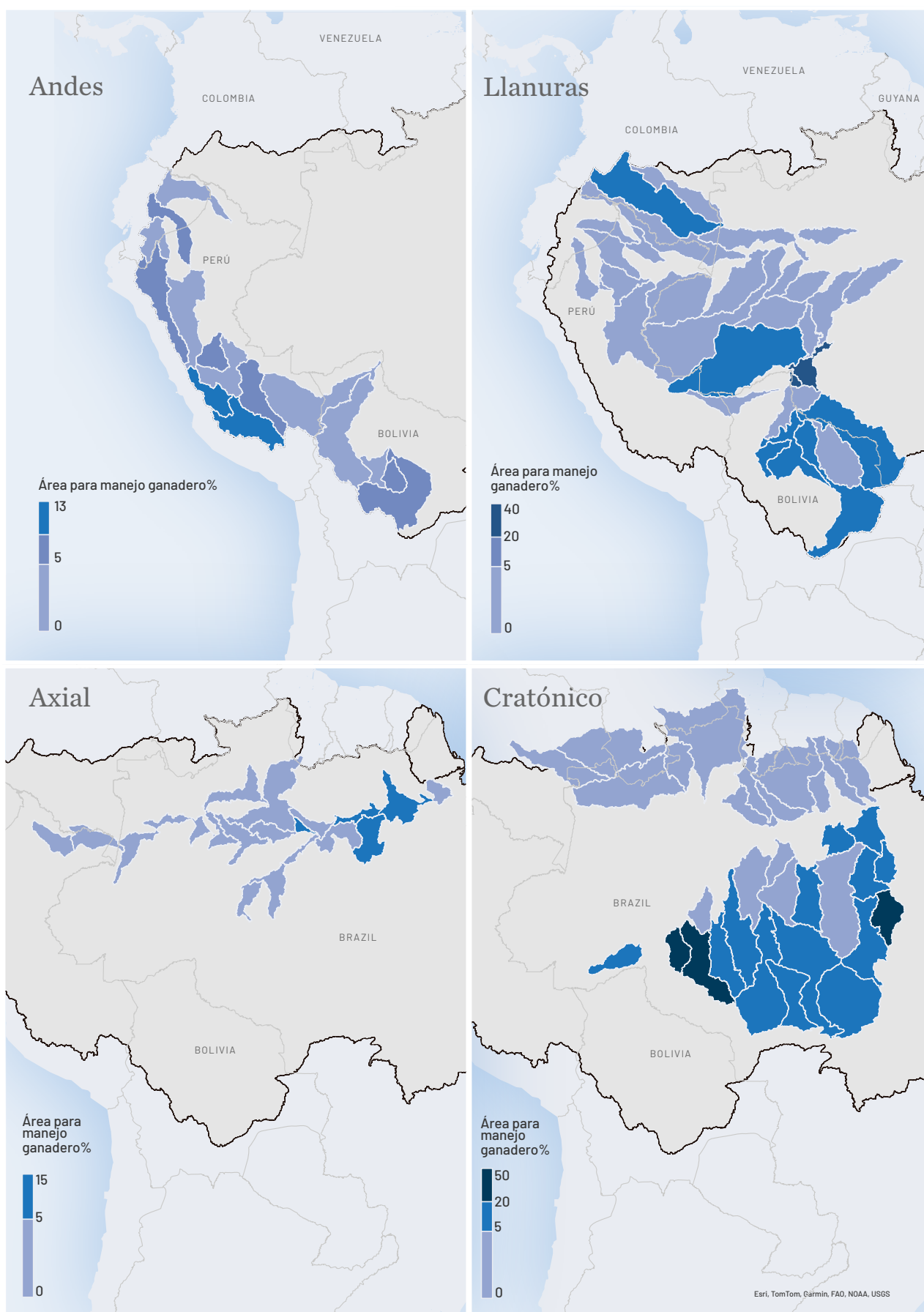
Más allá de los beneficios hidrológicos, estas medidas aportan cobeneficios socioeconómicos fundamentales: protegen la base ecológica de la ganadería, mejoran la productividad, refuerzan la seguridad alimentaria y generan ingresos sostenibles para las comunidades locales.

La Figura 24 ilustra la distribución espacial de las áreas con mayor potencial para implementar SBN de gestión ganadera sostenible, organizadas por grupo de paisaje geomorfológico. El mapa señala la ubicación y la extensión de estas zonas prioritarias. Este análisis visual combinado permite identificar con mayor precisión los sitios en los que una mejor gestión del pastoreo podría reportar los mayores beneficios hidrológicos y reforzar la adaptación al clima a escala de cuenca.

Las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) en áreas ganaderas muestran una superposición espacial significativa con las zonas de amenaza climática, ya que más del 85 % de todos los pastizales coinciden con zonas en las que se prevé una reducción superior al 10 % en el caudal estacional. Aunque su extensión es más limitada, más del 10 % de los pastizales se encuentran en zonas en las que se prevé una reducción más severa del caudal estacional (superior al 20 %).



Figura 25 | Distribución espacial del potencial de gestión ganadera sostenible por paisajes geomorfológicos y su coincidencia con cambios de caudal proyectados.



3.3.4 Restauración en planicies inundables.

En la cuenca amazónica, restaurar la capacidad de retención de las planicies inundables y reconectar estos sistemas con el cauce principal permite recuperar procesos hidrológicos y ecológicos esenciales a gran escala. Las intervenciones típicas incluyen la reconfiguración de cauces, la remoción de sedimentos acumulados, la estabilización de meandros y otras acciones orientadas a restablecer la funcionalidad natural del sistema fluvial.

Desde la perspectiva de la reducción de amenazas, estas medidas ofrecen beneficios múltiples. Frente a inundaciones, incrementan la infiltración, reducen y ralentizan la escorrentía, disminuyen y retrasan los caudales pico, disipan la energía de las crecidas y habilitan el almacenamiento temporal del exceso de agua. En condiciones de sequía, favorecen la infiltración, aumentan la capacidad de almacenamiento y promueven la recarga de los acuíferos, estabilizando los caudales base.

Además de los efectos hidrológicos, la restauración fluvial puede generar ingresos para las comunidades (e.g., trabajos de restauración, turismo de naturaleza), reducir costos de seguros asociados a daños por inundaciones y mejorar la seguridad y el acceso al agua dulce.

Mediante el análisis de planicies inundables, mapeadas como Áreas Fluviales Activas (ARA) en las subcuencas del Putumayo, Napo, Marañón y Ucayali, se identificaron oportunidades de restauración en las cabeceras de los ríos de la Amazonía andina, aplicando el enfoque metodológico descrito anteriormente. Las ARA se definen como el corredor fluvial funcional, el espacio esencial para los procesos de formación de hábitat y los regímenes de perturbación del río, que incluye el cauce activo y las zonas adyacentes (ribera y llanura aluvial) donde operan las dinámicas hidrogeomorfológicas que sostienen la integridad del sistema (Smith et al., 2008). Dado que el análisis de ARA aún no ha sido desarrollado para la totalidad de la cuenca amazónica, el presente ejercicio se concentró en las subcuencas andinas mencionadas como zonas demostrativas. Estas cuencas fueron seleccionadas por su representatividad en cuanto a gradiente altitudinal, presión de uso del suelo y disponibilidad de información hidrológica y climática. Los resultados obtenidos constituyen, por tanto, una aplicación piloto del enfoque de restauración en planicies inundables, que evidencia tanto su potencial ecológico como su viabilidad técnica y estratégica para orientar la expansión del análisis y la planificación de intervenciones de restauración en el resto de la cuenca amazónica una vez se disponga del análisis ARA integral.

En los Andes, las llanuras aluviales desempeñan un papel ecológico y social especialmente relevante, ya que proporcionan servicios ecosistémicos esenciales, como la ralentización de la escorrentía, la recarga de aguas subterráneas y la atenuación de crecidas, al tiempo que constituyen hábitats críticos para peces, aves y otras especies asociadas a los humedales andino-amazónicos.

La Figura 22 ilustra la distribución espacial de las tierras de cultivo y pastizales dentro de las zonas prioritarias para las llanuras aluviales. Se observa que la mayoría (78%) de las áreas agrícolas se ubican en regiones donde se proyecta una reducción superior al 10% en los caudales de la estación seca, lo que indica que la restauración de estas planicies podría tener un impacto significativo en la mitigación de las amenazas climáticas relacionadas con el déficit hídrico y en la mejora de la resiliencia de los sistemas productivos y ecológicos locales.

Figura 22 | Distribución espacial del potencial de restauración de planicies inundables y ríos por paisajes geomorfológicos y su coincidencia con cambios de caudal proyectados.

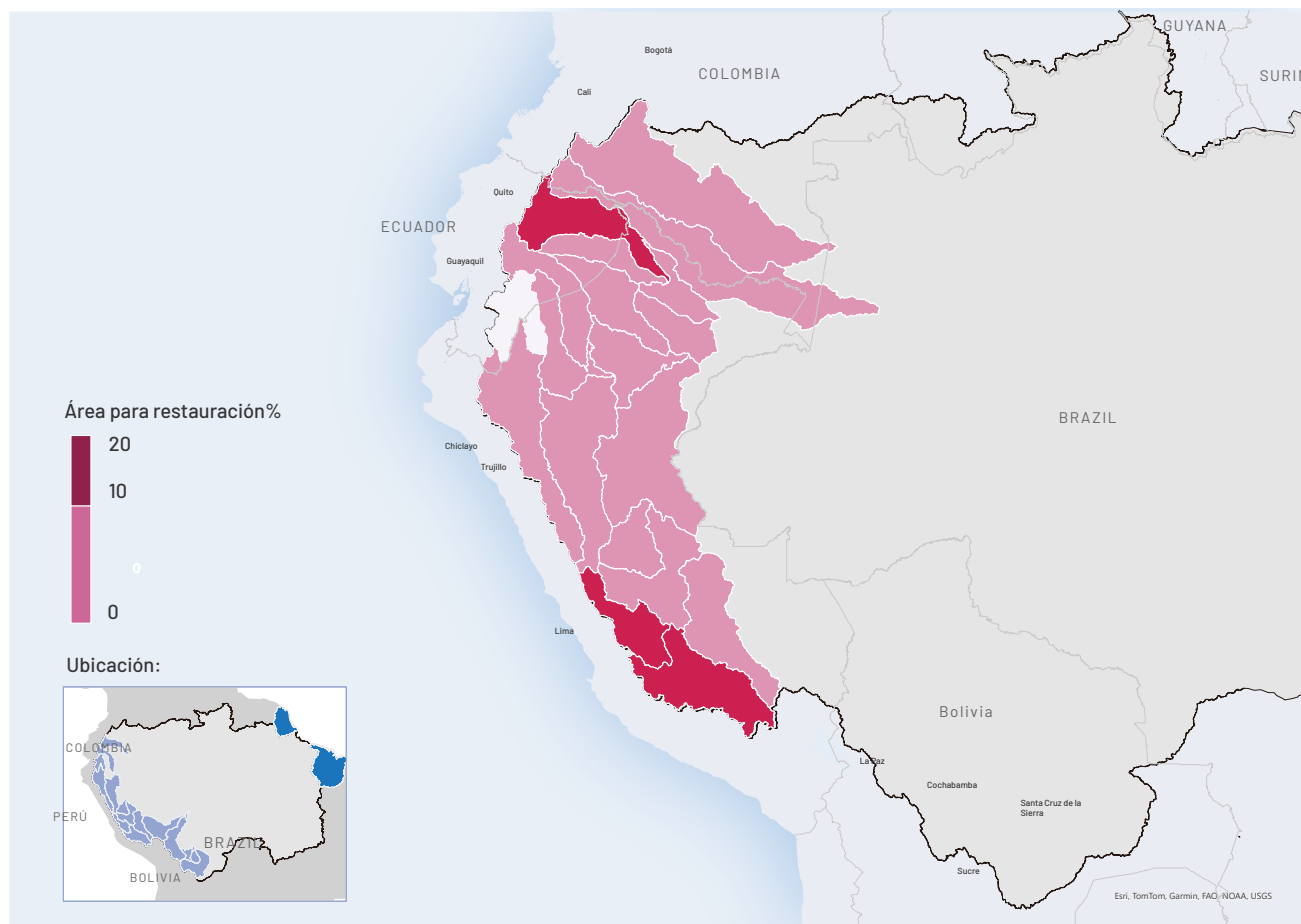
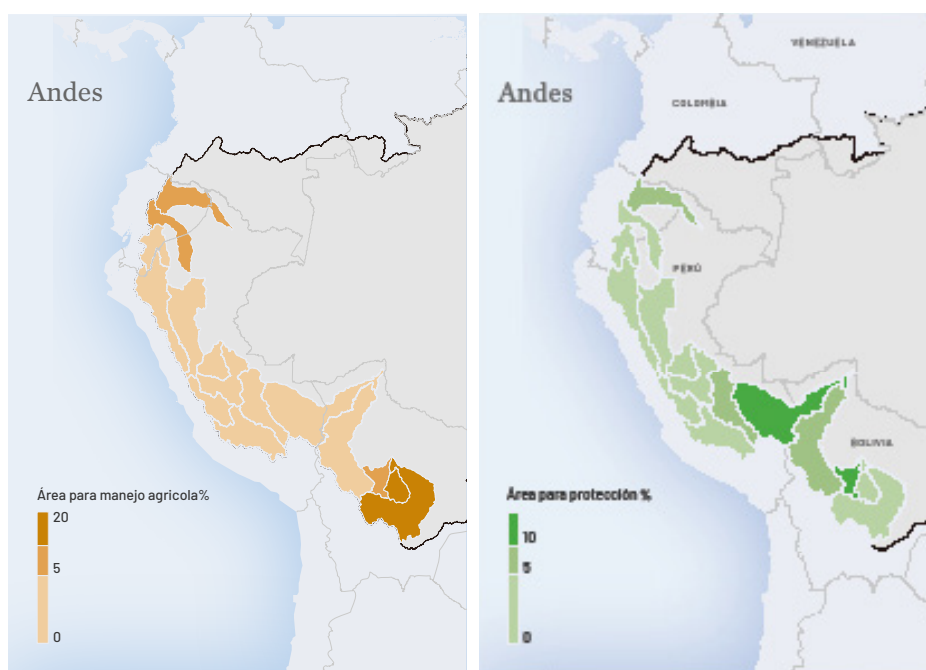


Figura 23 | Oportunidades de protección y manejo en subcuencas Andinas.



3.4 Consideraciones clave para la implementación de SbN

La efectividad de las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) en la cuenca amazónica no depende únicamente de su identificación espacial o de su potencial hidrológico, sino también de cómo se implementan en la práctica. Para ello, es necesario considerar varios factores interrelacionados que van desde estándares internacionales hasta esquemas de financiamiento, gobernanza y participación comunitaria.

3.4.1 Normas y estándares internacionales

La implementación de SbN requiere marcos de referencia que aseguren su eficacia, transparencia y credibilidad. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) ha desarrollado un Estándar Global para SbN (UICN, 2020) que establece ocho criterios esenciales, entre ellos: ganancia neta de biodiversidad, viabilidad económica y gobernanza inclusiva. Estos criterios son fundamentales en la Amazonía, donde existe el riesgo de que intervenciones mal diseñadas – por ejemplo, proyectos de reforestación con especies no nativas o monocultivos – generen más impactos negativos que beneficios. Adoptar estos estándares asegura consistencia, rendición de cuentas y resultados positivos tanto para los ecosistemas como para las comunidades.

3.4.2 Escalabilidad y rentabilidad

Un rasgo distintivo de las SbN es su potencial para generar beneficios desde escalas locales hasta regionales. Intervenciones relativamente simples, como restaurar franjas ribereñas o mejorar la gestión del pastoreo, pueden implementarse rápidamente y a un costo menor que la infraestructura gris tradicional. Al mismo tiempo, las SbN pueden expandirse gradualmente para cubrir territorios más amplios. Esta escalabilidad es clave para un contexto amazónico donde los recursos financieros son limitados y donde muchas comunidades enfrentan amenazas inmediatas. Además, al generar cobeneficios como el almacenamiento de carbono, la mejora de la calidad del agua o el fortalecimiento de la soberanía alimentaria, las SbN se vuelven inversiones costo-efectivas y atractivas para donantes y gobiernos.

3.4.3 Complementariedad con otras soluciones y planificación a escala de paisaje

Las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN), como la protección y restauración de humedales, bosques ribereños y prácticas agropecuarias mejoradas, ofrecen múltiples beneficios para la resiliencia ecológica y humana, pero no deben considerarse sustitutas absolutas de otras medidas. Su mayor impacto se alcanza cuando se integran en un mosaico de soluciones complementarias, que incluya infraestructura apropiada, marcos normativos de protección, tecnologías y sistemas de alerta temprana, así como conocimientos y prácticas tradicionales (e.g., chagras resilientes, escuelas flotantes o viviendas palafíticas en zonas inundables). La resiliencia humana depende en gran medida de la salud de los ecosistemas; sin embargo, incluso con ecosistemas en buen estado, el cambio climático seguirá generando impactos, por lo que no es prudente depender exclusivamente de SbN. Evitar la falsa dicotomía entre lo “verde”, lo “gris” y lo “institucional” y promover arreglos integrados y adaptativos, con participación de actores locales e indígenas y coordinación multinivel, permite diseñar respuestas más robustas y coherentes con la complejidad socioecológica del territorio.

3.4.4 Monitoreo, investigación y fortalecimiento de capacidades

La sostenibilidad de las SbN depende de sistemas robustos de monitoreo y evaluación. Es esencial desarrollar indicadores estandarizados que permitan medir impactos en caudales, biodiversidad, almacenamiento de carbono y beneficios sociales. La inversión en investigación aplicada es asimismo prioritaria, especialmente para entender cómo responderán las especies y ecosistemas amazónicos bajo escenarios de cambio climático. Además, se requiere fortalecer las capacidades técnicas tanto de autoridades como de comunidades locales, a través de formación, intercambio de experiencias y acceso a tecnología de monitoreo.

Estas acciones garantizan no solo la efectividad, sino también la legitimidad de las intervenciones.



3.4.5 Gobernanza inclusiva y participación comunitaria

En la Amazonía, donde los pueblos indígenas y comunidades locales son los principales guardianes de los territorios, la gobernanza inclusiva es un requisito indispensable. La implementación de SbN debe contemplar procesos participativos que promuevan el liderazgo comunitario desde el diseño hasta el monitoreo, garantizando que el conocimiento tradicional y las prioridades locales guíen las decisiones. La transparencia y la equidad en los mecanismos de gobernanza son fundamentales para generar confianza y asegurar la sostenibilidad a largo plazo. Esto implica también abordar barreras sociales y económicas que limitan la participación de comunidades y grupos vulnerables, asegurando que las SbN no solo protejan ecosistemas, sino también fortalezcan los derechos y medios de vida de quienes los habitan.

3.4.6 Financiamiento sostenible y colaboración intersectorial

La implementación de SbN requiere mecanismos de financiamiento de largo plazo que reconozcan la gama completa de cobeneficios que generan. Esto incluye integrar a los sectores público y privado, así como aprovechar instrumentos financieros innovadores como Fondos de Agua, pagos por servicios ecosistémicos o bonos verdes. La colaboración intersectorial es clave: la convergencia entre ministerios, ONGs, empresas y comunidades permite no solo diversificar las fuentes de financiamiento, sino también integrar las SbN en políticas más amplias de adaptación y desarrollo.

3.4.7 Concienciación y participación pública

Finalmente, la expansión de las SbN depende de un cambio cultural que valore su potencial. Es necesario invertir en campañas de sensibilización y narrativas que traduzcan los beneficios técnicos en historias tangibles de resiliencia y bienestar. Mostrar ejemplos exitosos, como la restauración de turberas altoandinas o la gestión comunitaria de riberas, puede movilizar apoyo social y político, además de atraer nuevas inversiones. El intercambio de conocimientos entre comunidades, instituciones y países es un mecanismo poderoso para escalar buenas prácticas.

3.5 Adaptación equitativa como elemento fundamental de la implementación de acciones de adaptación climática

Los pueblos indígenas y comunidades locales (IP&LC por sus siglas en inglés) de la cuenca del Amazonas han desempeñado un papel fundamental en la conservación de la naturaleza y la biodiversidad durante miles de años. Se estima que actualmente las tierras indígenas protegen alrededor del 27,5% de la Amazonía (RAISG, 2020). pero se enfrentan a amenazas relacionadas con el cambio climático, así como con la invasión de tierras, el desarrollo extractivo, la falta de voz en las decisiones políticas e incluso la violencia. La sequía, las inundaciones y los incendios forestales provocados por el clima reducen la disponibilidad de alimentos de la agricultura, la pesca y la caza, así como los problemas de transporte para las comunidades ribereñas donde los niveles muy altos o bajos de los ríos dificultan viajar fuera de la comunidad. acceder a los mercados para comprar y vender productos, acceder a escuelas y servicios de salud, lo que afecta a las comunidades que ya enfrentan presiones significativas del desarrollo con impactos ambientales y sociales negativos (OTCA, 2018)

The Nature Conservancy (TNC) tiene una larga y profunda historia de trabajo en la Amazonía con pueblos indígenas, así como con comunidades locales, sin embargo, el cambio climático trae nuevos desafíos y exige diferentes enfoques para trabajar en el terreno y promover estrategias de adaptación climática en las comunidades y al mismo tiempo conservar la biodiversidad.

El trabajo de adaptación de TNC utiliza el poder de la naturaleza para ayudar a las poblaciones vulnerables al clima, reducir la amenaza que experimentan debido a los impactos del cambio climático y fomentar la resiliencia a largo plazo tanto en los sistemas humanos como en los naturales. A través de resultados positivos para la naturaleza, buscamos promover estructuras de gobernanza que sean justas y equitativas, incorporar información climática y socioeconómica en todo nuestro trabajo, para brindar beneficios directos y medibles a las personas, en particular a las más amenazadas por los impactos climáticos.

Utilizando un marco de creación colectiva con pueblos indígenas y comunidades locales e implementando proyectos basados en la naturaleza en comunidades asociadas, nos esforzamos por aumentar la resiliencia de estas comunidades frente al cambio climático y apoyar los derechos y protecciones soberanos. Creemos que podemos apoyar a las comunidades en su relación continua con la naturaleza.

El trabajo de adaptación climática equitativa en TNC promueve los siguientes cuatro principios:

Figura 24. Principios de adaptación climática equitativa de TNC (Morchain, 2023)



1. Asegurar que todo nuestro trabajo de adaptación sea positivo para la naturaleza, estamos decididos a producir resultados positivos para la naturaleza, al mismo tiempo que beneficiamos a las comunidades vulnerables al clima. En la búsqueda de este principio, promovemos el amplio uso de SbN (Soluciones basadas en Naturaleza) como una respuesta de adaptación y nos comprometemos a evitar la mala adaptación (consecuencias perjudiciales no deseadas de las acciones de adaptación en la naturaleza o las personas) y a identificar sus amenazas.
2. Integrar información climática y socioeconómica en todo el trabajo de adaptación e incorporar múltiples fuentes de conocimiento en el diseño, la implementación y la supervisión & evaluación de las SbN. Esto asegura que las acciones de conservación superen la prueba del tiempo y continúen generando impacto a mediano y largo plazo, evitando la mala adaptación. Al evaluar las necesidades y opciones de adaptación y priorizar las áreas de trabajo, debemos utilizar las ciencias naturales y sociales, los datos y las proyecciones climáticas y el conocimiento local, así como los datos socioeconómicos críticos. Los equipos globales trabajan para asegurarse de que esta información esté fácilmente disponible y sea utilizable por los equipos de TNC.
3. Asegurar que las personas y la equidad sean un elemento central de todo el trabajo de adaptación garantiza que las SbN y otras medidas de adaptación reconozcan las injusticias sistémicas, respondan a las realidades sociopolíticas y promuevan la justicia y la equidad. Reconocemos que el cambio climático afecta a las personas de manera diferente, por ejemplo, en función de su género, raza, capacidad física, ingresos, educación, etc., y por lo tanto priorizamos el apoyo a las poblaciones que son más vulnerables al clima y tienen menos capacidades de adaptación.

Debido a que en TNC la adaptación se trata de que las personas y la naturaleza prosperen frente a los impactos climáticos, colaboramos con socios y comunidades para promover resultados de desarrollo social positivos para la naturaleza.

4. Invertir en el desarrollo de capacidades y habilidades de liderazgo en nuestras iniciativas de adaptación garantiza la viabilidad y sostenibilidad a largo plazo de la adaptación basada en la naturaleza dentro de la gran diversidad de geografías donde trabajamos. Trabajaremos para fortalecer las capacidades en geografías donde las necesidades de adaptación superan las habilidades de adaptación del personal y los socios, asegurando así que podamos contribuir a desarrollar la resiliencia humana y del ecosistema, responder a los impactos climáticos y ayudar a aliviar la pobreza en los lugares donde las necesidades son mayores. Las “soluciones” que no logran abordar las brechas de capacidad y no apoyan la gobernanza adaptativa local son de poco valor en un mundo turbulento y dinámico.

Estos cuatro principios que guían el trabajo de adaptación de TNC, en conjunto, ayudan a definir y brindar cohesión a los esfuerzos de adaptación en nuestra organización.

3.6 Conclusiones

La evaluación realizada en este capítulo muestra que las Soluciones Basadas en la Naturaleza representan una estrategia central para enfrentar la creciente amenaza del cambio climático en la cuenca amazónica. Entre los hallazgos más relevantes destaca que la protección de los ecosistemas naturales intactos constituye la medida con mayor potencial de adaptación, tanto por su extensión espacial como por su capacidad para mantener los procesos hidrológicos esenciales. Más de 1.3 millones de kilómetros cuadrados en la cuenca presentan todavía una baja influencia del desarrollo humano, lo que convierte a estas áreas en reservas estratégicas que deben ser priorizadas para la protección mediante distintos mecanismos de conservación.

En paralelo, el capítulo resalta el papel de la gestión agrícola y ganadera como herramientas específicas para fortalecer la adaptación en paisajes productivos, sobre todo en la región sur de la cuenca, donde estas actividades son más intensivas. Aunque su extensión espacial es limitada en comparación con las áreas naturales que podrían protegerse, la adopción de buenas prácticas agrícolas y de manejo del pastoreo puede generar impactos significativos a nivel local, reduciendo la erosión, estabilizando los caudales estacionales y mejorando la conectividad ecológica. Es crucial, además, que estas mejoras se orienten explícitamente a evitar nuevas fronteras de deforestación, en especial asociadas a cultivos de alta huella como la soya, mediante criterios de “cero deforestación” en cadenas de suministro, ordenamiento del uso del suelo, restauración de franjas ribereñas y humedales, y la intensificación sostenible en áreas ya convertidas. Dado que el pastoreo ocupa una superficie mucho más extensa que la agricultura, se reconoce aquí un margen de acción particularmente importante para introducir prácticas sostenibles que contribuyan a la seguridad alimentaria y la conservación de los recursos hídricos, apoyadas por monitoreo, verificación y trazabilidad que reduzcan fugas y presiones indirectas sobre los bosques.

**+ de 1.3
millones**

de kilómetros cuadrados en la cuenca presentan todavía una baja influencia del desarrollo humano, lo que convierte a estas áreas en reservas estratégicas que deben ser priorizadas para la protección mediante distintos mecanismos de conservación.



El análisis realizado muestra que las reducciones en los caudales durante la estación seca serán significativas y generalizadas en la cuenca, con disminuciones medias proyectadas cercanas al 15%. Este hallazgo indica que las SbN tendrán un mayor potencial adaptativo en la gestión del agua a escala estacional, garantizando la disponibilidad en momentos críticos más que modificando las tendencias anuales generales. De hecho, la coincidencia entre las áreas de mayor reducción estacional de caudales y las oportunidades para implementar SbN sugiere que casi 300,000 km² de paisajes naturales y productivos podrían desempeñar un papel central en la mitigación de la amenaza climática asociada a la sequía.

Asimismo, el análisis adicional en las subcuencas andino-amazónicas

mostró que la restauración de planicies inundables puede ser particularmente importante en estas regiones, donde más de la mitad de las tierras agrícolas se localizan dentro de llanuras de inundación. Dado que cerca del 78% de estas áreas coincide con zonas donde se espera una reducción de más del 10% en los caudales de la estación seca, la restauración en cabeceras andinas se perfila como una intervención prioritaria para reforzar la seguridad hídrica y reducir la vulnerabilidad de comunidades y ecosistemas.

El potencial de las SbN no se limita a la identificación de áreas prioritarias, sino que depende de su adecuada implementación. Para ello, este capítulo subraya varias consideraciones críticas. En primer lugar, es indispensable alinear las intervenciones con estándares reconocidos internacionalmente, como el Estándar Global para SbN de la UICN, que establece principios de ganancia neta de biodiversidad, viabilidad económica y gobernanza inclusiva. Estos criterios permiten asegurar resultados consistentes y evitar prácticas mal diseñadas que podrían generar impactos negativos.

En segundo lugar, se destaca la escalabilidad y rentabilidad de las SbN. Su capacidad para producir beneficios a diferentes escalas—desde la restauración de franjas ribereñas en comunidades locales hasta la conservación de paisajes enteros— las convierte en inversiones estratégicas frente a la infraestructura gris tradicional. Además de ser más costo-efectivas, generan cobeneficios como el almacenamiento de carbono, la mejora de la calidad del agua y el fortalecimiento de medios de vida locales.

En tercer lugar, la evidencia ratifica que las SbN logran su mayor impacto cuando se insertan en un mosaico de soluciones complementarias a escala de paisaje. Más que oponer “verde”, “gris” e “institucional”, se requiere su integración estratégica: protección y restauración de humedales, bosques ribereños y prácticas agropecuarias mejoradas, combinadas con infraestructura

apropiada, marcos normativos, tecnologías y sistemas de alerta temprana, y conocimientos y prácticas tradicionales (e.g., chagras resilientes, escuelas flotantes, viviendas palafíticas). Esta articulación reduce amenazas, mitiga impactos y fortalece la resiliencia en el mediano y largo plazo, a la vez que genera cobeneficios. Aun con ecosistemas sanos, el cambio climático seguirá produciendo eventos extremos; por ello, las SbN no son suficientes por sí solas y deben coordinarse con acciones de salud, protección social, ayuda humanitaria y desarrollo, garantizando participación efectiva y acceso directo a recursos por parte de pueblos indígenas, comunidades locales y pequeños productores, principales custodios de las SbN en el territorio.

La efectividad también depende de un monitoreo robusto y del fortalecimiento de capacidades locales y nacionales. Establecer indicadores estandarizados, invertir en investigación aplicada y garantizar formación técnica son pasos fundamentales para consolidar la credibilidad y la eficacia de las intervenciones. De forma explícita, se requiere una gobernanza inclusiva y multinivel, basada en derechos, con participación vinculante de pueblos indígenas y comunidades locales, reglas claras de gestión, transparencia y acceso equitativo a la información y al financiamiento. Aquí, el conocimiento tradicional y la participación de comunidades indígenas y locales resultan insustituibles, no solo porque aportan información detallada de los ecosistemas, sino porque garantizan la apropiación social de las medidas implementadas.

De igual importancia es el diseño de mecanismos financieros sostenibles. Fondos de Agua – fideicomisos público-privados que invierten en conservación aguas arriba para asegurar cantidad y calidad de agua—, pagos por servicios ecosistémicos (PSE) –incentivos condicionados a prácticas de conservación—, o MERESE en Perú –marco legal para retribución por servicios ecosistémicos vía tarifas y convenios— son ejemplos que movilizan recursos de largo plazo y articulan la colaboración entre gobiernos, sector privado, sociedad civil y comunidades. A la par, los fondos indígenas, como el Fondo Podáali en Brasil, canalizan financiamiento directo y con gobernanza propia hacia iniciativas lideradas por pueblos indígenas, fortaleciendo el manejo territorial, la conservación y la adaptación basada en el conocimiento local. Estos mecanismos, junto con marcos de gobernanza inclusiva y transparentes y el respeto al consentimiento libre, previo e informado, ayudan a asegurar la continuidad y efectividad de las SbN más allá de proyectos puntuales.

Los resultados y consideraciones aquí presentados muestran que las SbN no son únicamente intervenciones ambientales, sino estrategias integrales de adaptación climática y desarrollo sostenible. Su implementación efectiva puede reducir amenazas asociadas a la variabilidad hidrológica, proteger la biodiversidad acuática y fortalecer la seguridad hídrica y alimentaria de millones de personas en la cuenca amazónica. Al mismo tiempo, generan cobeneficios que contribuyen a los compromisos globales de biodiversidad y mitigación y a la construcción de comunidades más resilientes e inclusivas. La clave radica en priorizar la protección de paisajes intactos, acompañarla con prácticas productivas sostenibles y restaurar ecosistemas estratégicos, todo ello dentro de marcos de gobernanza participativa y financiamiento de largo plazo.

Finalmente, el éxito de las SbN en la Amazonía requiere una amplia concienciación social y participación pública. Es necesario comunicar sus beneficios de manera clara y accesible, utilizando ejemplos concretos que demuestren su efectividad en la práctica. La construcción de coaliciones entre múltiples actores y el intercambio de experiencias entre países y comunidades son elementos esenciales para escalar estas soluciones y consolidarlas como un pilar de la adaptación climática regional.

Cuadro de texto 3 | Estudio de caso: Fondo de Agua de Quito (FONAG)

El Fondo para la Protección del Agua (FONAG) fue creado en el año 2000 con el liderazgo de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito - EPMAAPS y con apoyo de The Nature Conservancy. Al Fondo se han unido además la Empresa Eléctrica de Quito, empresas privadas y otras ONGs locales. El propósito del Fondo es asegurar la conservación y restauración de las fuentes hídricas de Quito. Su modelo de acción colectiva se basa en la gobernanza multisectorial y en el financiamiento sostenible a través de usuarios de agua, lo que ha permitido desarrollar intervenciones de largo plazo para la seguridad hídrica.

Una de sus iniciativas más emblemáticas ha sido la restauración de turberas altoandinas, ecosistemas críticos que almacenan agua como “esponjas naturales”, regulan los caudales y aseguran la disponibilidad de agua durante la estación seca. En 2016, FONAG y la EPMAAPS iniciaron un proyecto en la turbera de Puglllohuma (14 ha), ubicada en el Área de Conservación Hídrica Antisana, parte de la cuenca del río Napo que conecta los Andes con la Amazonía.

La intervención incluyó dos componentes:

1. Restauración activa mediante el bloqueo de más de 150 zanjas de drenaje con presas de madera, lo que permitió retener agua durante más tiempo y crear condiciones adecuadas para la regeneración natural de la vegetación.
2. Monitoreo hidrológico y ecológico, que documentó la recuperación del nivel freático, la retención hídrica prolongada y la recuperación gradual de la cobertura vegetal.

Los resultados iniciales demostraron un suministro de agua más estable y continuo para comunidades rurales y para los 2,2 millones de habitantes de Quito. Al mismo tiempo, las turberas restauradas fortalecieron la resiliencia climática frente a inundaciones y sequías, y contribuyeron al almacenamiento de carbono y a la conservación de biodiversidad altoandina.

El caso de FONAG demuestra el potencial de los Fondos de Agua como mecanismos de financiamiento y gobernanza para implementar Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN), al articular múltiples actores y coinvertir en conservación con beneficios compartidos para la seguridad hídrica, la biodiversidad y la adaptación al cambio climático.



Cuadro de texto 4 | Estudio de caso: Comunidad indígena Tandachiridú, Resguardos Yurayaco y Niñeras, cuenca alta del río Caquetá

En el marco del proyecto AAA, se desarrolló un proceso participativo con las comunidades indígenas Inga de los resguardos Yurayaco y Niñeras, pertenecientes a la organización Tandachiridú, en la cuenca alta y baja del río Caquetá. En estos dos resguardos, TNC y Tandachiridú implementaron una serie de talleres en cada comunidad para lograr la identificación y la percepción de amenaza climática en cada resguardo. Para este ejercicio se analizaron amenazas climáticas para las chagras, la caza, la pesca y los recursos hídricos, entre otros, y en los mismos talleres se identificaron y priorizaron Soluciones basadas en la Naturaleza y el Conocimiento Tradicional Indígena (SbNCTI) como estrategias de adaptación al cambio climático.

Los talleres permitieron construir un lenguaje común entre el conocimiento científico y el indígena, abordando amenazas climáticas como sequías, lluvias intensas y aumento de temperatura. A partir de este diálogo, se comprendieron las amenazas del cambio climático y se plantearon medidas de adaptación coherentes con sus planes de manejo territorial y los sistemas de conocimiento indígena.

En Niñeras, se priorizaron acciones como la restauración ribereña y la reforestación, la rotación de cultivos, el establecimiento de huertas medicinales y chagras comunitarias, así como el fortalecimiento del intercambio de saberes sobre fertilización y manejo de plagas. En Yurayaco, el énfasis estuvo en la actualización del plan de manejo, el desarrollo de proyectos productivos, brigadas de medicina tradicional, monitoreo de agua y restauración de áreas degradadas.



La experiencia mostró que las necesidades de adaptación varían según la ubicación territorial: Yurayaco, en el piedemonte, parte alta de la cuenca del río Caquetá, enfrenta retos distintos a Niñeras, ubicada en la planicie en la parte baja. Asimismo, se evidenció la importancia de profundizar en la inclusión de género, ya que, aunque las mujeres participaron activamente, su voz estuvo menos representada en los espacios de discusión, lo que sugiere la necesidad de mecanismos específicos para garantizar su liderazgo en procesos futuros.

Este caso ilustra cómo las SbN construidas a partir de los sistemas de conocimiento indígena pueden fortalecer la resiliencia comunitaria y territorial, ofreciendo soluciones contextualizadas y culturalmente apropiadas para enfrentar las amenazas crecientes del cambio climático en la Amazonía andina.

4. Recomendaciones

4.1 Recomendaciones a Nivel de Paisaje

De manera transversal a todos los paisajes, se recomienda (i) fortalecer y/o crear mecanismos financieros específicos para la adaptación climática, con acceso directo para Pueblos Indígenas y Comunidades Locales, así como para pequeños productores, y (ii) crear conjuntamente, entre comunidades y gobiernos locales, planes de preparación, respuesta y recuperación frente a eventos extremos, articulados con sistemas de alerta temprana y protocolos de emergencia.

4.1.1 Paisaje Axial

- La protección de bosques, humedales, páramos, llanuras de inundación naturales existentes y evitar su degradación es clave para mantener sus funciones como reguladores de agua y almacenes de carbono. La protección de estos ecosistemas permite mantener la capacidad de almacenamiento de agua y amortiguar sequías e inundaciones extremas. Ecosistemas como las turberas amazónicas desempeñan un papel crucial como sumideros de carbono, con mayor capacidad incluso que los bosques. Esto debe incluir el fortalecimiento y apoyo a la protección de territorios indígenas, otras medidas efectivas de conservación basadas en área y de áreas protegidas que constituyen más del 50% del territorio de la Amazonía.
- Enfocarse en los marcos regulatorios internacionales que limitan los impactos del desarrollo de las industrias a lo largo del río: transporte marítimo, desarrollo vial, forestación a gran escala y desarrollo agrícola.
- Enfatizar las políticas de tratamiento de aguas residuales en las zonas urbanas, así como en la calidad del agua relacionada con el transporte fluvial, lo que agrava los efectos del cambio climático tanto en la productividad pesquera como en la salud humana.
- Dentro de los centros urbanos, formular políticas de adaptación urbana, especialmente en los problemas de cantidad de agua, con el aumento del ciclo de inundaciones y sequías.
- Promover programas de conservación de corredores ribereños y moratorias a la expansión de infraestructura sobre áreas de inundación natural.
- Fortalecer o crear mecanismos financieros dedicados a la adaptación (fondos climáticos, canjes por naturaleza, pagos por servicios ecosistémicos, microcrédito resiliente), garantizando acceso directo y simplificado para IP&LCs y pequeños productores.
- Cocrear planes de preparación, respuesta y recuperación ante eventos extremos (inundaciones/sequías) con participación de comunidades ribereñas, autoridades locales y operadores de transporte fluvial, integrando sistemas de alerta temprana y protocolos de continuidad de medios de vida.



Fortalecer los derechos territoriales de los pueblos indígenas como estrategia de conservación efectiva de humedales y zonas de amortiguamiento hídrico.

4.1.2 Paisaje Andino

- Incorporar mecanismos de protección como reservas fluviales o biocorredores. Se puede priorizar en los ríos como Napo, Marañón, Ucuyali, en donde TNC ha identificado ya portafolios de áreas críticas.
- Fortalecer la protección y restauración de páramos y bosques montanos, promoviendo esquemas de conservación comunitaria que aseguren el abastecimiento de agua a largo plazo, aseguren la regulación hídrica y la prevención de deslizamientos.
- Conservación y restauración de páramos y bosques en sitios como la cuenca el río Paute podría apoyar a la regulación de energía nacional de Ecuador, o Ancash en Perú, evitando una mayor vulnerabilidad socioeconómica en poblaciones locales por falta de alternativas energéticas nacionales.
- Fortalecer la gobernanza de cuencas a través de mecanismos participativos, asegurando la coordinación entre gobiernos locales, comunidades y usuarios del agua, como es el caso de manejo comunitario pesquero.
- Impulsar, diseñar e implementar mecanismos financieros basados en servicios ecosistémicos y enfocados en conservación de fuentes de agua y que proveen recursos para adaptación (Fondos de Agua, Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémico -MERESE, ventanas subnacionales de fondos climáticos) para financiar SbNs como restauración de páramos/bosques y prácticas productivas resilientes en comunidades.
- Evaluar rigurosamente nuevos proyectos hidroeléctricos en zonas con alta variabilidad climática, priorizando estudios de impacto ambiental y escenarios de sequías prolongadas que podrían comprometer la viabilidad de estas infraestructuras, así como afectar la conectividad de los ríos que es necesaria para mantener ecosistemas acuáticos resilientes.
- Desarrollar SbN como alternativa a la infraestructura gris para la regulación hídrica, como la restauración de humedales altoandinos y la implementación de sistemas de cosecha de agua de lluvia.
- Cocrear planes comunitarios de preparación, respuesta y recuperación ante deslizamientos, avenidas torrenciales

y sequías, con rutas de evacuación, protocolos de abastecimiento de agua y activación de sistemas de alerta temprana.

4.1.3 Paisaje de Llanuras

- Fortalecer los derechos territoriales de los pueblos indígenas como estrategia de conservación efectiva de humedales y zonas de amortiguamiento hídrico, considerando que en este paisaje existen más de 8 millones de hectáreas correspondientes a 18 territorios indígenas en la Provincia de Amazonas en Colombia, cerca de 3 millones de hectáreas y más de 20 territorios indígenas en Pastaza, Ecuador; con aproximadamente 12 millones de hectáreas y 893 territorios indígena en Loreto, Perú; más de 38 millones de hectáreas, con 138 territorios indígenas en Amazonas, Brasil, 500 mil hectáreas, correspondientes a 20 territorios indígenas en Upper Upper Takutu-Upper Essequibo, Guyana y aproximadamente 3 millones de hectáreas, que comprenden 13 territorios indígenas afectados en Amazonas, Venezuela.
- Apoyar y escalar sistemas agrícolas tradicionales, como la agroforestería indígena, que integran cultivos, pesca y gestión de ciclos de inundación de forma sostenible.
- Implementar programas de monitoreo comunitario de biodiversidad y calidad del agua, promoviendo la gobernanza local de los recursos.
- Garantizar la participación de pueblos indígenas en la planificación territorial y las políticas de adaptación climática, reconociendo su conocimiento ancestral en la gestión de las dinámicas fluviales.
- Fomentar alianzas entre gobiernos locales, comunidades indígenas y productores agrícolas para la protección de zonas inundables y la producción sostenible en territorios de llanura, considerando que para el escenario SSP3-7.0, las reducciones de caudal de hasta -20% en gran parte de la cuenca amazónica, donde se localizan múltiples cultivos y áreas de riego, representan una amenaza directa para la agricultura. La menor disponibilidad de agua superficial, junto con la alteración de los regímenes hidrológicos estacionales, limita el acceso al recurso hídrico justo cuando más se necesita, afectando los calendarios de siembra, el rendimiento de los cultivos y la estabilidad de los sistemas de riego.
- Protección de humedales para mantener la biodiversidad y la capacidad de almacenamiento de agua.
- Políticas que conserven el área activa del río (ARA), permitiendo el máximo movimiento del río.
- Incorporar sistemas de alerta temprana para escasez de agua y de inundaciones tanto para cultivos como para uso de agua el hogar desde las comunidades y pueblos indígenas
- Promover mecanismos de cosecha de agua domésticos para apoyar en la hidratación del ganado y para el riego de cultivos de menor escala.
- Zonas de amortiguamiento hídrico y proyectos de manejo pesquero sostenible que respeten los ciclos naturales de inundación.

- Establecer mecanismos financieros específicos para IP&LCs y pequeños productores (e.g, capital semilla, seguros paramétricos, incentivos por conservación de llanuras aluviales) que apoyen SbN, agroforestería indígena y monitoreo comunitario.
- Cocrear planes de preparación, respuesta y recuperación frente a crecidas y estiajes, incluyendo alertas comunitarias, protocolos para pesca y agricultura en periodos críticos, y redes de apoyo intercomunitario, para reducir pérdidas y acelerar la recuperación.

4.1.4 Paisaje Cratónico

- Priorizar la política de ríos con flujo libre y conectividad: una política energética que favorezca la producción de energía eólica y solar en lugar de la hidroeléctrica
- Promover mecanismos financieros basados en la naturaleza para moderar las inundaciones y mejorar la retención de agua en el paisaje.
- Implementar sistemas agroforestales adaptados que respeten la conectividad hídrica y promuevan la infiltración de agua.
- Promover prácticas agrícolas y ganaderas sostenibles, como sistemas agroforestales y silvopastoriles que mantengan la cobertura vegetal, favorezcan la infiltración de agua y reduzcan la compactación del suelo.
- Establecer áreas de protección hídrica estratégica en las cabeceras y márgenes fluviales, especialmente en las zonas de transición entre Brasil, Guyana y Surinam, para preservar la calidad del agua y conservar corredores de biodiversidad.
- Impulsar la restauración de áreas inundables degradadas, asegurando la funcionalidad de las planicies aluviales como esponjas naturales que regulen las inundaciones y aporten resiliencia ante sequías.
- Desarrollar políticas pesqueras integradas que protejan los ciclos de reproducción de las especies acuáticas, asegurando medios de vida sostenibles para las comunidades locales que dependen de la pesca.

4.2 Recomendaciones generales para la cuenca Amazónica para promover una adaptación equitativa que apoye la resiliencia ecosistémica y socio-económica en la cuenca amazónica

A continuación se presentan recomendaciones generales para toda la cuenca tomando en cuenta los resultados del análisis técnico realizado: I4.2.1 Soluciones basadas en naturaleza (SbN) y conectividad ecológica

- Fortalecer esquemas de conservación existentes, como áreas protegidas y otras formas de conservación, esenciales para mantener la integridad de la cuenca, los servicios ecosistémicos y la biodiversidad.

- Mantener la conectividad fluvial y ecológica mediante la conservación de ríos de flujo libre, planicies inundables, corredores de conectividad, y protección de hábitats críticos para especies de agua dulce que permiten el movimiento de sedimentos, nutrientes y biodiversidad.
- Proteger y restaurar ecosistemas estratégicos como cabeceras de cuencas, páramos, humedales y planicies de inundación, que funcionan como amortiguadores frente a eventos extremos, estabilizan flujos y almacenan agua.
- Incorporar soluciones basadas en naturaleza y promover su implementación (conservación y restauración de bosques, humedales, planicies inundables, y otros ecosistemas estratégicos) por medio de políticas e instrumentos de planificación territorial y de financiamiento climático.
- Integrar SbN con infraestructura: combinar soluciones basada en la naturaleza con infraestructura (ej. Infraestructura de tratamiento y abastecimiento de agua, energía, riego) para lograr un impacto sistémico en la adaptación al cambio climático.

4.2.2 Producción sostenible y medios de vida

- Promover prácticas agrícolas y ganaderas regenerativas, como sistemas agroforestales, silvopastoriles y cercas vivas (reforestación), que mantengan la conectividad riparia, que disminuyan la deforestación, favorezcan la infiltración de agua y reduzcan la compactación del suelo, incorporando prácticas de cosecha de agua que consideren conocimientos locales y tradicionales.
- Desarrollar políticas pesqueras integradas, lideradas por las comunidades y adaptativas, que protejan los ciclos reproductivos de especies acuáticas, ajusten el esfuerzo pesquero según condiciones climáticas, y aseguren medios de vida sostenibles.
- Implementar zonas de amortiguamiento hídrico y manejo pesquero sostenible, respetando los ciclos naturales de inundación.

4.2.3. Reducción de presiones para aumentar resiliencia

- Incorporar consideraciones ambientales y climáticas en proyectos de infraestructura, evitando construcciones que afecten la conectividad longitudinal y lateral de los ríos.
- Mejorar la calidad del agua, reduciendo la contaminación por mercurio, hidrocarburos, aguas residuales y residuos sólidos para mantener ecosistemas más saludables y resilientes.
- Implementar programas de manejo de riego en áreas agrícolas con riego intensivo, para controlar la extracción y recarga de agua y asegurar la sostenibilidad del balance hídrico en las cuencas.

4.2. 4. Monitoreo e información

- Implementar y fortalecer programas de monitoreo comunitario de biodiversidad, pesca, cantidad y calidad del agua, integrando conocimiento ecológico local y ciencia occidental para generar información que sustente la gestión adaptativa.

- Implementar sistemas de alerta temprana para la gestión de inundaciones y sequías a escala local (comunitaria), nacional y regional.
- Implementar y fortalecer sistemas de monitoreo hidrológico y ecosistémico de largo plazo, mediante el fortalecimiento de agencias e instituciones técnicas y académicas en la cuenca, con el fin de contar con información robusta sobre amenazas climáticas que respalden la toma de decisiones a múltiples escalas.

4.2.5. Gobernanza , cooperación regional y financiamiento

- Fortalecer la gobernanza multi-actor de las cuencas mediante mecanismos participativos que articulen a gobiernos locales, usuarios del agua, productores agrícolas, pueblos indígenas y comunidades locales, entre otros, con el fin de fomentar la resiliencia climática y promover alianzas para la protección y restauración de áreas clave en la cuenca.
- Promover la gestión colaborativa de cursos de agua compartidos entre países amazónicos, incluyendo planificación estratégica para ríos y humedales transfronterizos, manejo pesquero conjunto y control de contaminación frente a escenarios de cambio climático.
- Apoyar mecanismos regionales de cooperación en temas de cambio climático, como la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA), y compromisos internacionales como la Meta 3 del Marco Global de Biodiversidad (30x30), la iniciativa Freshwater Challenge y promover una integración de los Planes Nacionales de Adaptación (NAPs) con un abordaje transfronterizo, considerando la dinámica de cuenca, paisajes y comunidades
- Aumentar la financiación climática para proyectos de SbN y adaptación y garantizar que exista financiación directa a los pueblos indígenas y comunidades locales. Colaborar con entidades de financiamiento climático y agencias de desarrollo (Green Climate Fund, Banco Mundial, GEF, CAF, Bancos Nacionales y Subnacionales) para financiar estrategias de adaptación basadas en la naturaleza, asegurando que los recursos lleguen a pueblos indígenas y comunidades locales garantizando que ellos definan sus prioridades de adaptación considerando sus necesidades.
- Promover mecanismos financieros de largo plazo que involucren la participación del sector privado, el sector público, cooperación y organizaciones de la sociedad civil mediante esquemas de acción colectiva y financiamiento sostenible (ej. Fondos de Agua, Fondos de Conservación).

4.2.6. Asegurar una adaptación equitativa:

- Impulsar la co-creación de planes comunitarios de preparación, respuesta y recuperación ante riesgos hídricos, inseguridad alimentaria entre otros.
- Promover los principios de Adaptación Liderada Localmente, para garantizar la toma de decisiones al nivel local, abordar las desigualdades estructurales, garantizar un financiamiento accesible y predecible, e invertir en el fortalecimiento de capacidades y conocimientos locales, asegurando que las comunidades más afectadas lideren y se beneficien directamente de los esfuerzos de adaptación.

- Apoyar procesos inclusivos y participativos para la construcción de instrumentos políticos (ej. Planes Nacionales de Adaptación, planificación territorial y políticas de adaptación climática), que incluyan la cosmovisión, los medios de vida locales y las estrategias de adaptación tradicionales de pueblos indígenas y comunidades locales.
- Apoyar y escalar sistemas agrícolas tradicionales, como la agroforestería indígena, que integran cultivos, y gestión de ciclos de sequía e inundación de forma sostenible.
- Apoyar la protección legal de la tenencia de la tierra de los pueblos indígenas: Fortalecer los derechos territoriales de los pueblos indígenas como estrategia de conservación efectiva de humedales y zonas de amortiguamiento hídrico.
- Reconocer el rol clave en la dinámica territorial que los Pueblos Indígenas y Comunidades Locales desempeñan en la conservación de la Amazonia y abordar los impactos humanitarios de la crisis climática mediante un enfoque holístico y de colaboración, por ejemplo de instituciones de conservación, desarrollo y ayuda humanitaria, a fin de mejorar la resiliencia comunitaria; el bienestar público, físico y mental; y garantizar medios de vida adaptados al clima.

Las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) son esenciales para fortalecer y aumentar la resiliencia. Para que contribuyan efectivamente a la adaptación al cambio climático, es necesario adoptar enfoques integrales que consideren también las condiciones sociales y políticas, y que prioricen la reducción de la vulnerabilidad de las poblaciones más expuestas. Al incorporar principios de equidad, justicia y, en particular, de Adaptación Liderada Localmente, estos esfuerzos potencian la resiliencia climática de las personas y los ecosistemas.

5. Referencias Bibliográficas

- Abell, R., Thieme, M. L., Revenga, C., Bryer, M., Kottelat, M., Bogutskaya, N., Coad, B., Mandrak, N., Balderas, S. C., Bussing, W., Stiassny, M. L. J., Skelton, P., Allen, G. R., Unmack, P., Naseka, A., Ng, R., Sindorf, N., Robertson, J., Armijo, E., ... Petry, P. (2008). Freshwater ecoregions of the world: A new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservation. *BioScience*, 58(5), 403–414. <https://doi.org/10.1641/B580507>
- Anderson, E. P., Jenkins, C. N., Heilpern, S., Maldonado-Ocampo, J. A., Carvajal-Vallejos, F. M., Encalada, A. C., Rivadeneira, J. F., Hidalgo, M., Cañas, C. M., Ortega, H., Salcedo, N., Maldonado, M., & Tedesco, P. A. (2018). Fragmentation of Andes-to-Amazon connectivity by hydropower dams. *Science Advances*, 4(1), 1–8. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aao1642>
- Aragão, L. E. O. C., Anderson, L. O., Fonseca, M. G., Rosan, T. M., Vedovato, L. B., Wagner, F. H., Silva, C. V. J., Silva Junior, C. H. L., Arai, E., Aguiar, A. P., Barlow, J., Berenguer, E., Deeter, M. N., Domingues, L. G., Gatti, L., Gloor, M., Malhi, Y., Marengo, J. A., Miller, J. B., ... Saatchi, S. (2018). 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nature Communications*, 9(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/S41467-017-02771-Y;TECHMETA=134;SUBJMETA=106,172,4081,4113,47,682,694,704;KWRD=CARBON+CYCLE,CLIMATE-CHANGE+MITIGATION,ENVIRONMENTAL+IMPACT>
- Arantes, C. C., Winemiller, K. O., Asher, A., Castello, L., Hess, L. L., Petrere, M., & Freitas, C. E. C. (2019). Floodplain land cover affects biomass distribution of fish functional diversity in the Amazon River. *Scientific Reports*, 9, 16684. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52243-0>
- Azevedo-Santos, V. M., Garcia-Ayala, J. R., Fearnside, P. M., Esteves, F. A., Pelicice, F. M., Laurance, W. F., & Benine, R. C. (2016). Amazon aquatic biodiversity imperiled by oil spills. *Biodiversity and Conservation*, 25(13), 2831–2834. <https://doi.org/10.1007/s10531-016-1192-9>
- Barthem, R. B., Goulding, M., Leite, R. G., Canas, C., Forsberg, B., Venticinque, E., Petry, P., Ribeiro, M. L. D. B., Chuctaya, J., & Mercado, A. (2017). Goliath catfish spawning in the far western Amazon confirmed by the distribution of mature adults, drifting larvae and migrating juveniles. *Scientific Reports*, 7, 41784. <https://doi.org/10.1038/srep41784>
- Beveridge, C. F., Espinoza, J. C., Athayde, S., Correa, S. B., Couto, T. B. A., Heilpern, S. A., Jenkins, C. N., Piland, N. C., Utsunomiya, R., Wongchuig, S., & Anderson, E. P. (2024). The Andes–Amazon–Atlantic pathway: A foundational hydroclimate system for social–ecological system sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 121(22). <https://doi.org/10.1073/pnas.2306229121>
- Bodmer, R., Mayor, P., Antunez, M., Chota, K., Fang, T., Puertas, P., Pittet, M., Kirkland, M., Walkey, M., Rios, C., Perez-Peña, P., Henderson, P., Bodmer, W., Bicerra, A., Zegarra, J., & Docherty, E. (2018). Major shifts in Amazon wildlife populations from recent intensification of floods and

drought. *Conservation Biology*, 32(2), 333–344. <https://doi.org/10.1111/COBI.12993>;CTYPE:STRING:JOURNAL

- Braz-Mota, S., & Val, A. L. (2024). Fish mortality in the Amazonian drought of 2023: the role of experimental biology in our response to climate change. *Journal of Experimental Biology*, 227(17), jeb247255. <https://doi.org/10.1242/jeb.247255>
- Brum, S., Rosas-Ribeiro, P., Amaral, R. de S., de Souza, D. A., Castello, L., & da Silva, V. M. F. (2021). Conservation of Amazonian aquatic mammals. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 31(5), 1068–1086. <https://doi.org/10.1002/AQC.3590>
- Butorac, D., Santos, P., Phouvin, P., & Guegan, F. (2020). Freshwater fisheries conservation can increase biodiversity. *PLOS ONE*, 15(5), e0233775. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0233775>
- Caldas, B., Thieme, M. L., Shahbol, N., Coelho, M. E., Grill, G., Van Damme, P. A., Aranha, R., Cañas, C., Fagundes, C. K., Franco-León, N., Herrera-Collazos, E. E., Jézéquel, C., Montoya, M., Mosquera-Guerra, F., Oliveira-da-Costa, M., Paschoalini, M., Petry, P., Oberdorff, T., Trujillo, F., ... de Brito Ribeiro, M. C. L. (2023). Identifying the current and future status of freshwater connectivity corridors in the Amazon Basin. *Conservation Science and Practice*, 5(1). <https://doi.org/10.1111/csp2.12853>
- Camacho Guerreiro, A. I., Amadio, S. A., Fabré, N. N., & da Silva Batista, V. (2021). Exploring the effect of strong hydrological droughts and floods on populational parameters of *Semaprochilodus insignis* (Actinopterygii: Prochilodontidae) from the Central Amazonia. *Environment, Development and Sustainability*, 23(3), 3338–3348. <https://doi.org/10.1007/S10668-020-00721-1>;METRICS
- Camillo, C. S., Valenzuela, N., & Johnson, S. A. (2022). Effects of semi-constant temperature on embryonic and hatchling phenotypes of six-tubercled Amazon River turtles, *Podocnemis sextuberculata*. *Journal of Thermal Biology*, 108, 306–4565. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103292>
- Campos-Silva, J. V., Hawes, J. E., Andrade, P. C. M., & Peres, C. A. (2018). Unintended multispecies co-benefits of an Amazonian community-based conservation programme. *Nature Sustainability*, 1(11), 650–656. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0170-5>
- Campos-Silva, J. V., Peres, C. A., Hawes, J. E., Haugaasen, T., Freitas, C. T., Ladle, R. J., & Lopes, P. F. M. (2021). Sustainable-use protected areas catalyze enhanced livelihoods in rural Amazonia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(40). <https://doi.org/10.1073/pnas.2105480118>
- Carvalho, R. L., Resende, A. F., Barlow, J., Franca, F. M., Moura, M. R., Maciel, R., Alves-Martins, F., Shutt, J., Nunes, C. A., Elias, F., Silveira, J. M., Stegmann, L., Baccaro, F. B., Juen, L., Schietti, J., Aragao, L. E. O. C., Berenguer, E., Castello, L., Costa, F. R. C., & Feitosa, Y. (2023). Pervasive gaps in Amazonian ecological research. *Current Biology*, 33(16), 3495–3504.e4. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2023.06.077>
- Castello, L., & Macedo, M. N. (2016). Large-scale degradation of Amazonian freshwater ecosystems. *Global Change Biology*, 22(3), 990–1007. <https://doi.org/10.1111/gcb.13173>
- Castello, L., McGrath, D. G., Hess, L.

- L., Coe, M. T., Lefebvre, P. A., Petry, P., Macedo, M. N., Reno, V. F., & Arantes, C. C. (2013). The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. *Conservation Letters*, 6(4), 217-229. <https://doi.org/10.1111/conl.12008>
- Clarke, B., Barnes, C., Rodrigues, R., Zachariah, M., Stewart, S., Raju, E., Baumgart, N., Heinrich, D., Libonati, R., Santos, D., Albuquerque, R., Alves, L. M., Pinto, I., Otto, F., Kimutai, J., Philip, S., Kew, S., & Bazo, J. (2024). Climate change, not El Niño, main driver of extreme drought in highly vulnerable Amazon River Basin. <https://doi.org/10.25561/108761>
- Costa, G., Weiss, B., Piedade, M. T. F., Ferreira, E. J., & Maltchik, L. (2024). Structure and vulnerability of the ichthyochory network in wetland forests of Central Amazonia. *Ecology of Freshwater Fish*. <https://doi.org/10.1111/eff.12780>
- Crampton, W. (2011). An Ecological Perspective on Diversity and Distributions. In J. Albert (Ed.), *Historical Biogeography of Neotropical Freshwater Fishes* (pp. 165-189). University of California Press. <https://doi.org/10.1525/CALIFORNIA/9780520268685.001.0001>
- da Silva, I. B., Fagundes, C. K., de Oliveira, G. L., Ribeiro Gonçalves, G. S., Silva, D. de P., & Maschio, G. F. (2025). Drifting survival: Impacts of climate change on the distribution of continental chelonians in the Amazon. *Journal for Nature Conservation*, 84, 126850. <https://doi.org/10.1016/J.JNC.2025.126850>
- Dagosta, F. C. P., de Pinna, M., Peres, C. A., & Tagliacollo, V. A. (2021). Existing protected areas provide a poor safety-net for threatened Amazonian fish species. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 31(5), 1167-1189. <https://doi.org/10.1002/aqc.3461>
- Dala-Corte, R. B., Melo, A. S., Siqueira, T., Bini, L. M., Martins, R. T., Cunico, A. M., Pes, A. M., Magalhaes, A. L. B., Godoy, B. S., Leal, C. G., Monteiro-Junior, C. S., Stenert, C., Castro, D. M. P., Macedo, D. R., Lima-Junior, D. P., Gubiani, E. A., Massariol, F. C., Teresa, F. B., Becker, F. G., & Roque, F. de O. (2020). Thresholds of freshwater biodiversity in response to riparian vegetation loss in the Neotropical region. *Journal of Applied Ecology*, 57(7), 1391-1402. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13657>
- Dalagnol, R., Borma, L. de S., Mateus, P., & Rodriguez, D. A. (2017). Assessment of climate change impacts on water resources of the Purus Basin in the southwestern Amazon. *Acta Amazonica*, 47(3), 213-226. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201601993>
- de Souza, S. S., Bruce, K. H. R., da Costa, J. C., Pereira, D., da Silva, G. S., & Val, A. L. (2024). Effects of climate change and mixtures of pesticides on the Amazonian fish *Colossoma macropomum*. *Science of The Total Environment*, 922, 171379. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171379>
- Draper, F. C., Roucoux, K. H., Lawson, I. T., Mitchard, E. T. A., Honorio Coronado, E. N., Lähteenoja, O., Montenegro, L. T., Sandoval, E. V., Zarate, R., & Baker, T. R. (2014). The distribution and amount of carbon in the largest peatland complex in Amazonia. *Environmental Research Letters*, 9(12). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/12/124017>
- Dubos, N., Lenormand, M., Castello, L., Oberdorff, T., Guisan, A., & Luque, S. (2022). Protection gaps in Amazon floodplains will increase with climate

- change: Insight from the world's largest scaled freshwater fish. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 32(11), 1830–1841. <https://doi.org/10.1002/aqc.3877>
- Eisemberg, C. C., Machado Balestra, R. A., Famelli, S., Pereira, F. F., Diniz Bernardes, V. C., & Vogt, R. C. (2016). Vulnerability of giant South American turtle (*Podocnemis expansa*) nesting habitat to climate-change-induced alterations to fluvial cycles. *Tropical Conservation Science*, 9(4). https://doi.org/10.1177/1940082916667139/ASSET/73A2960B-EDE7-4911-A1A9-E8F18A27BE75/ASSETS/IMAGES/LARGE/10.1177_1940082916667139-FIG7.JPG
- Espejo, J. C., Messinger, M., Roman-Danobeytia, F., Ascorra, C., Fernandez, L. E., & Silman, M. (2018). Deforestation and forest degradation due to gold mining in the Peruvian Amazon: A 34-year perspective. *Remote Sensing*, 10(12), 1903. <https://doi.org/10.3390/rs10121903>
- Espinoza, J. C., Jimenez, J. C., Marengo, J. A., Schongart, J., Ronchail, J., Lavado-Casimiro, W., & Ribeiro, J. V. M. (2024). The new record of drought and warmth in the Amazon in 2023 related to regional and global climatic features. *Scientific Reports* 2024 14:1, 14(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58782-5>
- Feng, D., Raoufi, R., Beighley, E., Melack, J. M., Goulding, M., Barthem, R. B., Venticinque, E., Canas, C., Forsberg, B., & Sorribas, M. V. (2020). Future climate impacts on the hydrology of headwater streams in the Amazon River Basin: Implications for migratory goliath catfishes. *Hydrological Processes*, 34(26), 5402–5416. <https://doi.org/10.1002/hyp.13952>
- Fernandes, S., Athayde, S., Harrison, I., & Perry, D. (2024). Connectivity and policy confluences: a multi-scalar conservation approach for protecting Amazon riverine ecosystems. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 22(2), 129–136. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2024.02.002>
- Finer, M., & Ariñez, A. (2024). Agriculture in the Amazon: New data reveals key patterns of crops & cattle pasture. <https://www.maaprogram.org/maap-214-agriculture-in-the-amazon-new-data-reveals-key-patterns-of-crops-cattle-pasture/>
- Fleischmann, A. S., Papa, F., Hamilton, S. K., Fassoni-Andrade, A., Wongchuig, S., Espinoza, J. C., Paiva, R. C. D., Melack, J. M., Fluet-Chouinard, E., Castello, L., Almeida, R. M., Bonnet, M. P., Alves, L. G., Moreira, D., Yamazaki, D., Revel, M., & Collischonn, W. (2023). Increased floodplain inundation in the Amazon since 1980. *Environmental Research Letters*, 18(3). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acb9a7>
- Fraser, B. (2014). Amazon oil spill has killed tons of fish, sickened native people. <https://www.scientificamerican.com/article/oil-spill-in-amazon-sickens-villagers-kills-fish/>
- Frederico, R. G., Dias, M. S., Jezequel, C., Tedesco, P. A., Hugueny, B., Zuanon, J., Torrente-Vilara, G., Ortega, H., Hidalgo, M., Martens, K., Maldonado-Ocampo, J., & Oberdorff, T. (2021). The representativeness of protected areas for Amazonian fish diversity under climate change. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 31(5), 1158–1166. <https://doi.org/10.1002/aqc.3528>
- Freitas, C. E. C., Siqueira-Souza, F. K., Humston, R., & Hurd, L. E. (2013). An

initial assessment of drought sensitivity in Amazonian fish communities. *Hydrobiologia*, 705(1), 159-171. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1394-4>

- Fritz, B., Peregovich, B., da Silva Tenorio, L., da Silva Alves, A. C., & Schmidt, M. (2024). Mercury and CO2 emissions from artisanal gold mining in Brazilian Amazon rainforest. *Nature Sustainability*, 7(1), 15-22. <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01242-1>
- Furtado, M. da S. C., Queiroz, J. C. B., Bentes, B., Gouveia, N. de A., de Lima, M. J. A., Ruffino, M. L., & Isaac, V. (2024). How does climate change affect small scale fisheries? A case study of the Lower Amazon in Brazil. *Fisheries Management and Ecology*, 31(1), e12654. <https://doi.org/10.1111/FME.12654>
- Galappaththi, E. K., Susarla, V. B., Loutet, S. J. T., Ichien, S. T., Hyman, A. A., & Ford, J. D. (2022). Climate change adaptation in fisheries. *Fish and Fisheries*, 23(1), 4-21. <https://doi.org/10.1111/FAF.12595>
- Galvis, S. R. (2019). The Amazon biome in the face of mercury contamination: An overview of mercury trade, science, and policy in the Amazonian countries.
- Garnett, S. T., Burgess, N. D., Fa, J. E., Fernández-Llamazares, Á., Molnár, Z., Robinson, C. J., Watson, J. E. M., Zander, K. K., Austin, B., Brondizio, E. S., Collier, N. F., Duncan, T., Ellis, E., Geyle, H., Jackson, M. V., Jonas, H., Malmer, P., McGowan, B., Sivongxay, A., & Leiper, I. (2018). A spatial overview of the global importance of Indigenous lands for conservation. *Nature Sustainability*, 1(7). <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0100-6>
- Gatti, L. V., Basso, L. S., Miller, J. B., Gloor, M., Gatti Domingues, L., Cassol, H. L. G., Tejada, G., Aragão, L. E. O. C., Nobre, C., Peters, W., Marani, L., Arai, E., Sanches, A. H., Corrêa, S. M., Anderson, L., Von Randow, C., Correia, C. S. C., Crispim, S. P., & Neves, R. A. L. (2021). Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. *Nature*, 595(7867), 388-393. https://doi.org/10.1038/S41586-021-03629-6;SUBJ_META=106,4113,47,704;KWRD=CARBON+CYCLE
- Gerson, J. R., Szponar, N., Zambrano, A. A., Bergquist, B., Broadbent, E., Driscoll, C. T., Erkenswick, G., Evers, D. C., Fernandez, L. E., Hsu-Kim, H., Inga, G., Lansdale, K. N., Marchese, M. J., Martinez, A., Moore, C., Pan, W. K., Purizaca, R. P., Sánchez, V., Silman, M., ... Bernhardt, E. S. (2022). Amazon forests capture high levels of atmospheric mercury pollution from artisanal gold mining. *Nature Communications*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-27997-3>
- Gilbert, M., Nicolas, G., Cinardi, G., Van Boeckel, T. P., Vanwambeke, S. O., Wint, G. R. W., & Robinson, T. P. (2018). Global distribution data for cattle, buffaloes, horses, sheep, goats, pigs, chickens and ducks in 2010. *Scientific Data*, 5, 180227. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.227>
- Grill, G., Lehner, B., Lumsdon, A. E., Macdonald, G. K., Zarfl, C., & Reidy Liermann, C. (2015). An index-based framework for assessing patterns and trends in river fragmentation and flow regulation by global dams at multiple scales. *Environmental Research Letters*, 10(1), 15001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/1/015001>
- Higgins, J., Zablocki, J., Newsock, A., Krolopp, A., Tabas, P., & Salama, M. (2021). Durable freshwater protection: A framework for establishing and maintaining long-term protection for freshwater ecosystems and the values

- they sustain. *Sustainability*, 13(4), 1950. <https://doi.org/10.3390/su13041950>
- IDB, & RTI. (2014). HydroBID: A Modular Simulation Tool for Water Resources Management in Latin America and the Caribbean. Inter-American Development Bank (IDB), RTI International. <https://www.iadb.org/en/topics/water-and-sanitation/initiatives/hydrobid>
 - IFPRI. (2024). Global Spatially-Disaggregated Crop Production Statistics Data for 2020 Version 2.0 (Vol. V4).
 - INPE. (2024). Terrabrasilis: Queimadas – BDQueimadas. <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/#graficos>
 - International Rivers. (2023). Protecting Biodiversity From Harmful Financing: No Go Areas For The International Banking Sector. <https://www.internationalrivers.org/wp-content/uploads/>
 - IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, & B. Rama, Eds.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
 - Jézéquel, C., Oberdorff, T., Tedesco, P. A., & Schmitt, L. (2022). Geomorphological diversity of rivers in the Amazon Basin. *Geomorphology*, 400. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.108078>
 - Jézéquel, C., Tedesco, P. A., Bigorne, R., Maldonado-Ocampo, J. A., Ortega, H., Hidalgo, M., Martens, K., Torrente-
 - Vilara, G., Zuanon, J., Acosta, A., Agudelo, E., Barrera Maure, S., Bastos, D. A., Bogotá Gregory, J., Cabeceira, F. G., Canto, A. L. C., Carvajal-Vallejos, F. M., Carvalho, L. N., Cella-Ribeiro, A., ... Oberdorff, T. (2020). A database of freshwater fish species of the Amazon Basin. *Scientific Data*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0436-4>
 - Jezequel, C., Tedesco, P. A., Darwall, W., Dias, M. S., Frederico, R. G., Hidalgo, M., Hugueny, B., Maldonado-Ocampo, J., Martens, K., Ortega, H., Torrente-Vilara, G., Zuanon, J., & Oberdorff, T. (2020). Freshwater fish diversity hotspots for conservation priorities in the Amazon Basin. *Conservation Biology*, 34(4), 956–965. <https://doi.org/10.1111/cobi.13466>
 - Jung, E. H., Brix, K. V., Richards, J. G., Val, A. L., & Brauner, C. J. (2020). Reduced hypoxia tolerance and survival at elevated temperatures may limit the ability of Amazonian fishes to survive in a warming world. *Science of The Total Environment*, 748, 141349. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141349>
 - Latrubesse, E. M., Arima, E. Y., Dunne, T., Park, E., Baker, V. R., D'Horta, F. M., Wight, C., Wittmann, F., Zuanon, J., Baker, P. A., Ribas, C. C., Norgaard, R. B., Filizola, N., Ansar, A., Flyvbjerg, B., & Stevaux, J. C. (2017a). Damming the rivers of the Amazon basin. *Nature* 2017 546:7658, 546(7658), 363–369. <https://doi.org/10.1038/nature22333>
 - Latrubesse, E. M., Arima, E. Y., Dunne, T., Park, E., Baker, V. R., D'Horta, F. M., Wight, C., Wittmann, F., Zuanon, J., Baker, P. A., Ribas, C. C., Norgaard, R. B., Filizola, N., Ansar, A., Flyvbjerg, B., & Stevaux, J. C. (2017b). Damming the rivers of the Amazon basin. *Nature* 2017 546:7658, 546(7658), 363–369. <https://doi.org/10.1038/nature22333>

- Leal, C. G., Lennox, G. D., Ferraz, S. F. B., Ferreira, J., Gardner, T. A., Thomson, J. R., Berenguer, E., Lees, A. C., Hughes, R. M., MacNally, R., Aragao, L. E. O. C., de Brito, J. G., Castello, L., Garrett, R. D., Hamada, N., Juen, L., Leitao, R. P., Louzada, J., Morello, T. F., & Barlow, J. (2020). Integrated terrestrial-freshwater planning doubles conservation of tropical aquatic species. *Science*, 370(6520), 117-121. <https://doi.org/10.1126/science.aba7580>
- Lovejoy, T. E., & Nobre, C. (2019). Amazon tipping point: Last chance for action. *Science Advances*, 5(12). <https://doi.org/10.1126/SCIADV.ABA2949/ASSET/3449824F-9738-416E-A017-314AB8A4B2F2/ASSETS/GRAPHIC/ABA2949-FB.JPEG>
- Malhi, Y., Roberts, J. T., Betts, R. A., Killeen, T. J., Li, W., & Nobre, C. A. (2008). Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science*, 319(5860), 169-172. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1146961/SUPPL_FILE/MALHI_SOM.PDF
- Marengo, J. A., & Espinoza, J. C. (2016). Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: Causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology*, 36(3), 1033-1050. <https://doi.org/10.1002/joc.4420>
- Marmontel, M., Fleischmann, A., Val, A., & Forsberg, B. (2024). Safeguard Amazon's aquatic fauna against climate change. *Nature*, 625(7995), 450. <https://doi.org/10.1038/D41586-024-00114-8;SUBJMETA=106,172,694,704;KWRD=CLIMATE+CHANGE,ENVIRONMENTAL+SCIENCES>
- Mataveli, G., Jones, M. W., Carmenta, R., Sanchez, A., Dutra, D. J., Chaves, M., de Oliveira, G., Anderson, L. O., & Aragao, L. E. O. C. (2024). Deforestation falls but rise of wildfires continues degrading Brazilian Amazon forests. *Global Change Biology*, 30(2). <https://doi.org/10.1111/gcb.17202>
- Medeiros-Leal, W. M., Castello, L., Freitas, C. E. C., & Siqueira-Souza, F. K. (2021). Single-Species Co-management Improves Fish Assemblage Structure and Composition in a Tropical River. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 604170. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.604170>
- Miranda, L. N. L. (2024). Do rio para o prato: socioecologia do consumo de peixe na Amazônia? [Universidade Federal de Minas Gerais]. <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/80091>
- Moberg, T., Abell, R., Dudley, N., Harrison, I., Kang, S., Rocha Loures, F., Shahbol, N., Thieme, M., & Timmins, H. (2024). Designing and managing protected and conserved areas to support inland water ecosystems and biodiversity. IUCN, International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/ZOKC6253>
- Morchain, D. (2023). Una narrativa compartida de adaptación.
- Oberdorff, T., Jezequel, C., Campero, M., Carvajal-Vallejos, F., Cornu, J. F., Dias, M. S., Duponchelle, F., Maldonado-Ocampo, J. A., Ortega, H., Renno, J.-F., & Tedesco, P. A. (2015). How vulnerable are Amazonian freshwater fishes to ongoing climate change? *Journal of Applied Ichthyology*, 31, 4-9. <https://doi.org/10.1111/jai.12971>
- Ogutu-Ohwayo, R., Natugonza, V., Musinguzi, L., Olokotum, M., & Naigaga, S. (2016). Implications of climate variability and change for African lake ecosystems, fisheries productivity,

and livelihoods. *Journal of Great Lakes Research*, 42(3), 498–510. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2016.03.004>

- OTCA. (2018). Strategic action program : regional strategy for integrated water resources management in the Amazon Basin. ACTO.
- Palmer, M. A., Reidy Liermann, C. A., Nilsson, C., Florke, M., Alcamo, J., Lake, P. S., & Bond, N. (2008). Climate change and the world's river basins: Anticipating management options. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(2), 81–89. <https://doi.org/10.1890/060148>
- Paredes-Beltran, B., Sordo-Ward, A., & Garrote, L. (2021). Dataset of Georeferenced Dams in South America (DDSA). *Earth System Science Data*, 13(2), 213–229. <https://doi.org/10.5194/ESSD-13-213-2021>
- Peluso, L. M., Mateus, L., Penha, J., Bailly, D., Cassemiro, F., Suarez, Y., Fantin-Cruz, I., Kashiwaqui, E., & Lemes, P. (2022). Climate change negative effects on the Neotropical fishery resources may be exacerbated by hydroelectric dams. *Science of The Total Environment*, 828, 154485. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154485>
- Petrere Jr., M. (1978). Pesca e esforço de pesca no Estado do Amazonas. II - Locais, aparelhos de captura e estatísticas de desembarque. *Acta Amazonica*, 8(3 suppl 2). <https://doi.org/10.1590/1809-439219780832s005>
- Phiri, H., Mushagalusa, D., Katongo, C., Sibomana, C., Ajode, M. Z., Muderhwa, N., Smith, S., Ntakimazi, G., De Keyser, E. L. R., Nahimana, D., Mulungula, P. M., Haambiya, L. H., Isumbisho, P. M., Limbu, P., Kimirei, I. A., Marwa, N. B., Mlingi, R. J., & Mangaza, A. M. (2023). Lake Tanganyika: Status, challenges, and opportunities for research collaborations. *Journal of Great Lakes Research*, 49(6), 1224–1237. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2023.07.009>
- Rahel, F. J., & Olden, J. D. (2008). Assessing the effects of climate change on aquatic invasive species. *Conservation Biology*, 22(3), 521–533. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00950.x>
- RAISG. (2020). Territorios Indígenas. Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada. <https://www.amazoniasocioambiental.org/es/mapas/#!/descargas>
- RAISG. (2021). Territorios Indígenas y Áreas Naturales Protegidas. Atlas Digital 2020: Amazonía Bajo Presión. https://atlas2020.amazoniasocioambiental.org/posts/territorios-indigenas?utm_source=chatgpt.com
- Ramírez, A., Gutiérrez-Fonseca, P. E., Kelly, S. P., Engman, A. C., Wagner, K., Rosas, K. G., & Rodríguez, N. (2018). Drought facilitates species invasions in an urban stream: Results from a long-term study of tropical island fish assemblage structure. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 6(AUG), 324301. <https://doi.org/10.3389/FEVO.2018.00115/BIB-TEX>
- Rodrigues-Filho, C. A. S., Costa, F. R. C., Schietti, J., Nogueira, A., Leitão, R. P., Menger, J., Borba, G., Gerolamo, C. S., Avilla, S. S., Emilio, T., de Castilho, C. V., Bastos, D. A., Rocha, E. X., Fernandes, I. O., Cornelius, C., Zuanon, J., Souza, J. L. P., Utta, A. C. S., & Baccaro, F. B. (2024). Multi-Taxa Responses to Climate Change in the Amazon Forest. *Global Change Biology*, 30(11), e17598. <https://doi.org/10.1111/GCB.17598;PAGEGROUP:STRING:PUBLICATION>

- Ropke, C., Cella-Ribeiro, A., Ferreira, F. C., de Araujo, T. R., da Costa Doria, C. R., Gusmao, F., Lonardoní, A., & Torrente-Vilara, G. (2024). The seasonal rate of discharge change as the primary trigger synchronizing freshwater fish reproduction in an Amazonian River. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. <https://doi.org/10.1007/s11160-024-09891-x>
- Ropke, C., Pires, T. H. S., Zuchi, N., Zuanon, J., & Amadio, S. (2022). Effects of climate-driven hydrological changes in the reproduction of Amazonian floodplain fishes. *Journal of Applied Ecology*, 59(4), 1134–1145. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14126>
- Severin, A., & Michalková, M. (2023). Nature-based Solutions for Climate Adaptation: Wetlands, Peatlands and Grasslands (Issue Policy Brief).
- Shah, J., Hu, J., Edelenbosch, O. Y., & van Vliet, M. T. H. (2025). Global dataset combining open-source hydropower plant and reservoir data. *Scientific Data*, 12(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/S41597-025-04975-0;SUBJMETA>
- Siebert, S., Henrich, V., Frenken, K., & Burke, J. (2013). Global Map of Irrigation Areas – version 5. <https://www.fao.org/aquastat/en/geospatial-information/global-maps-irrigated-areas/latest-version/>
- Silva, F., Barata, C., Rodriguez, V., Brum, S., Estupiñan, G., Nunes, E., & Doria, C. (2025). Amazon Fisheries: Mapping management and monitoring initiatives.
- Simpson, M., Eldred, M., Jayakody, S., & Mackenzie, L. (2024). Scaling up wetland conservation and restoration to deliver the Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework: Guidance on including wetlands in NBSAPs. <https://doi.org/10.69556/strp.tr12.24>
- Smith, M. P., Schiff, R., Olivero, A., & MacBroom, J. (2008). *The Active River Area: A Conservation Framework for Protecting Rivers and Streams*. The Nature Conservancy, April.
- Sonter, L. J., Herrera, D., Barrett, D. J., Galford, G. L., Moran, C. J., & Soares-Filho, B. S. (2017). Mining drives extensive deforestation in the Brazilian Amazon. *Nature Communications*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-017-00557-w>
- SPA. (2021). ¿Qué es la Amazonía y por qué es importante? Panel Científico Por La Amazonía- La Amazonía Que Queremos. <https://www.sp-amazon.org/es/sobre-la-amazonia>
- Spracklen, D. V., Arnold, S. R., & Taylor, C. M. (2012). Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests. *Nature*, 489(7415), 282–285. <https://doi.org/10.1038/NATURE11390>
- Sweeney, B. W., & Newbold, J. D. (2014). Streamside forest buffer width needed to protect stream water quality, habitat, and organisms: A literature review. *Journal of the American Water Resources Association*, 50(3), 560–584. <https://doi.org/10.1111/jawr.12203>
- Tisseuil, C., Cornu, J. F., Beauchard, O., Brosse, S., Darwall, W., Holland, R., Hugueny, B., Tedesco, P. A., & Oberdorff, T. (2013). Global diversity patterns and cross-taxa convergence in freshwater systems. *Journal of Animal Ecology*, 82(2), 365–376. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12018>
- Tobes, I., Ramos-Merchante, A., Araujo-Flores, J., Pino-Del-Carpio, A., Ortega, H., & Miranda, R. (2021). Fish ecology of the alto madre de dios river basin (Peru): Notes on electrofishing surveys,

elevation, palm swamp and headwater fishes. *Water*, 13(8), 1038. <https://doi.org/10.3390/w13081038>

- UICN. (2020). Estándar Global de la UICN para soluciones basadas en la naturaleza: un marco sencillo para la verificación, diseño y ampliación del uso de las SbN: primera edición. IUCN, International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.08.es>
- UNEP. (2022). Overview of Nature-based Solutions.
- UNEP-WCMC, & IUCN. (2022). Protected Planet: The World Database on Protected Areas (WDPA) and World Database on Other Effective Area-based Conservation Measures (WD-OECM). <https://doi.org/www.protectedplanet.net>
- Val, A. L., & Wood, C. M. (2022). Global change and physiological challenges for fish of the Amazon today and in the near future. *Journal of Experimental Biology*, 225(10), jeb216440. <https://doi.org/10.1242/jeb.216440>
- Vigerstol, K., Karres, N., Kang, S., Lilly, N., & Massey-Bierman, M. (2023). Accelerating Adaptation: The Promise and Limitations of Nature-based Solutions in the Race to Adapt to Increasing Floods and Droughts.
- Walker, W. S., Gorelik, S. R., Baccini, A., Aragon-Osejo, J. L., Josse, C., Meyer, C., Macedo, M. N., Augusto, C., Rios, S., Katan, T., de Souza, A. A., Cuellar, S., Llanos, A., Zager, I., Mirabal, G. D., Solvik, K. K., Farina, M. K., Moutinho, P., & Schwartzman, S. (2020). The role of forest conversion, degradation, and disturbance in the carbon dynamics of Amazon indigenous territories and protected areas. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(6), 3015–3025. https://doi.org/10.1073/PNAS.1913321117/SUPPL_FILE/PNAS.1913321117.SAPP.PDF
- Xiao, W., Zhang, Y., Chen, X., Sha, A., Xiong, Z., Luo, Y., Peng, L., Zou, L., Zhao, C., & Li, Q. (2024). The Easily Overlooked Effect of Global Warming: Diffusion of Heavy Metals. *Toxics*, 12(6), 400. <https://doi.org/10.3390/toxics12060400>
- Zhang, W., ElDidi, H., Masuda, Y. J., Meinzen-Dick, R. S., Swallow, K. A., Ringler, C., DeMello, N., & Aldous, A. (2023). Community-Based Conservation of Freshwater Resources: Learning from a Critical Review of the Literature and Case Studies. *Society & Natural Resources*, 36(6), 733–754. <https://doi.org/10.1080/08941920.2023.2191228>



© Carolina Torres Dumont/TNC Photo Contest 2022

Cambio climático en la Amazonía:

Desafíos, oportunidades y recomendaciones para una adaptación equitativa en ecosistemas de agua dulce