

Red de monitoreo fluvial

en escenarios actuales y futuros

Mensajes clave

- Los ríos amazónicos conectan los Andes con el Atlántico, transportando agua, sedimentos, minerales y nutrientes, al tiempo que sustentan la biodiversidad, la energía, el transporte y otras funciones.
- A lo largo de los ríos, el balance hídrico es el resultado de complejas interacciones entre la atmósfera y la superficie, y entre la superficie y las aguas subterráneas.
- Actualmente, los países monitorean los ríos mediante estaciones hidrológicas y de calidad del agua, pero sin un debate regional amplio sobre la densidad espacio-temporal de los datos recopilados. Sin embargo, los forzamientos externos actuales y futuros, como las actividades antropogénicas y el cambio climático, introducen perturbaciones en los parámetros fluviales medidos.
- Los países deben abordar las siguientes preguntas: *¿Qué procesos modifican los parámetros hidrológicos y de calidad del agua de los ríos? ¿Es necesario que los diseños de monitoreo tengan en cuenta las interacciones entre la atmósfera y la superficie y entre las aguas superficiales y subterráneas? ¿Qué medidas técnicas y reglamentos se requieren para monitorear de manera óptima los procesos hidrológicos y de calidad del agua actuales y futuros?*

Río Tigre



Procesos hidrológicos complejos

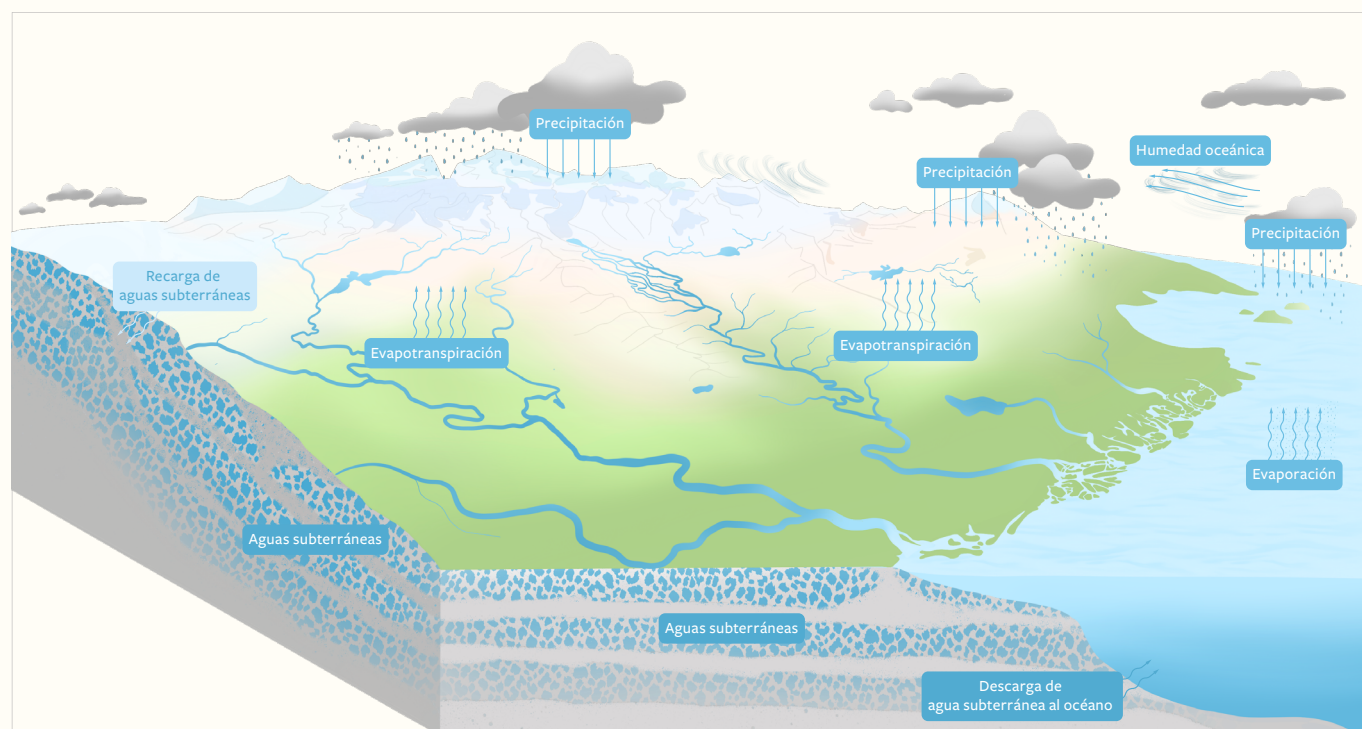
La cuenca del río Amazonas, la mayor cuenca hidrográfica del mundo, se extiende por ocho países, desde los Andes hasta el océano Atlántico (aproximadamente 6,1 millones de km²). Con un caudal medio anual de entre 206.000 y 210.000 m³/s, aporta alrededor del 20 % del agua dulce mundial a los océanos. La hidrología de la cuenca refleja interacciones complejas entre altas tasas de precipitación con gran variabilidad espacial y temporal, influencias oceánicas, densos bosques tropicales, topografía diversa, extensas llanuras aluviales y grandes cambios estacionales en el almacenamiento y la descarga de agua dulce^{1,2}. Las altas precipitaciones en la región son el resultado de interacciones complejas entre procesos a gran escala y locales, en particular el suministro de humedad oceánica y la evapotranspiración forestal (Fig. 1). Estos mecanismos regulan las precipitaciones, no solo a nivel local, sino también regional. Ejemplos de este mecanismo son los «ríos voladores» del Amazonas, que transportan la humedad más allá de la cuenca y sustentan la agricultura y la energía hidroeléctrica en toda Sudamérica. La región también es importante a nivel mundial por su rica biodiversidad³ y su papel clave en la regulación del clima, ya que ha actuado como un importante sumidero de carbono en las últimas décadas⁴.

La llanura aluvial del Amazonas es la más grande y con mayor biodiversidad de la Tierra, aproximadamente una sexta parte de la diversidad arbórea amazónica depende de los hábitats de la llanura aluvial⁵. La deforestación en curso (incluida la degradación de la

llanura aluvial), los incendios forestales y el cambio climático amenazan con empujar a partes del bosque hacia un «punto de no retorno», con la posible savanización y el cambio de estas regiones a fuentes de carbono⁴. Además, los cambios antropogénicos (especialmente la deforestación), combinados con el cambio climático, ya están alterando el ciclo del agua y los parámetros hidrológicos y de calidad del agua medidos, incluido el transporte de sedimentos (Fig. 2). A largo plazo, estos cambios podrían socavar la prestación de servicios ecosistémicos críticos por parte de la región y afectar a las economías y sociedades dentro y fuera de la cuenca del Amazonas.

Varios estudios han sugerido que las aguas subterráneas de la cuenca del Amazonas desempeñan un papel importante en los ciclos hidrológicos y ecológicos^{2,6,7}, e influyen en gran medida en los ecosistemas de la selva tropical y en la variabilidad climática, especialmente durante la estación seca, en la que la creciente frecuencia de sequías sin precedentes indica un posible punto de no retorno⁸. Las sequías perturban la navegación y el transporte, la agricultura y el suministro de energía. Para comprender mejor estos efectos y gestionar este recurso transfronterizo, se necesitan estudios más específicos que respondan a los cambios en el clima y el paisaje⁷. El Proyecto del Sistema Acuífero Amazónico de la OTCA (GEF 11108) aborda directamente las interacciones entre las aguas superficiales y subterráneas.

Figura 1. Procesos hidrológicos globales.²³



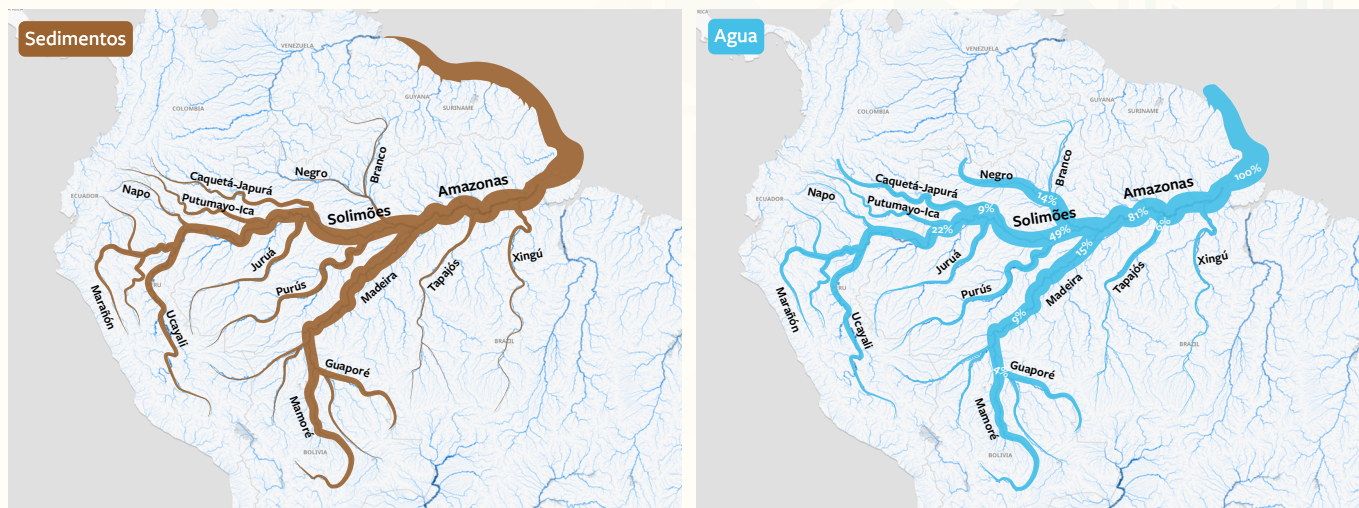


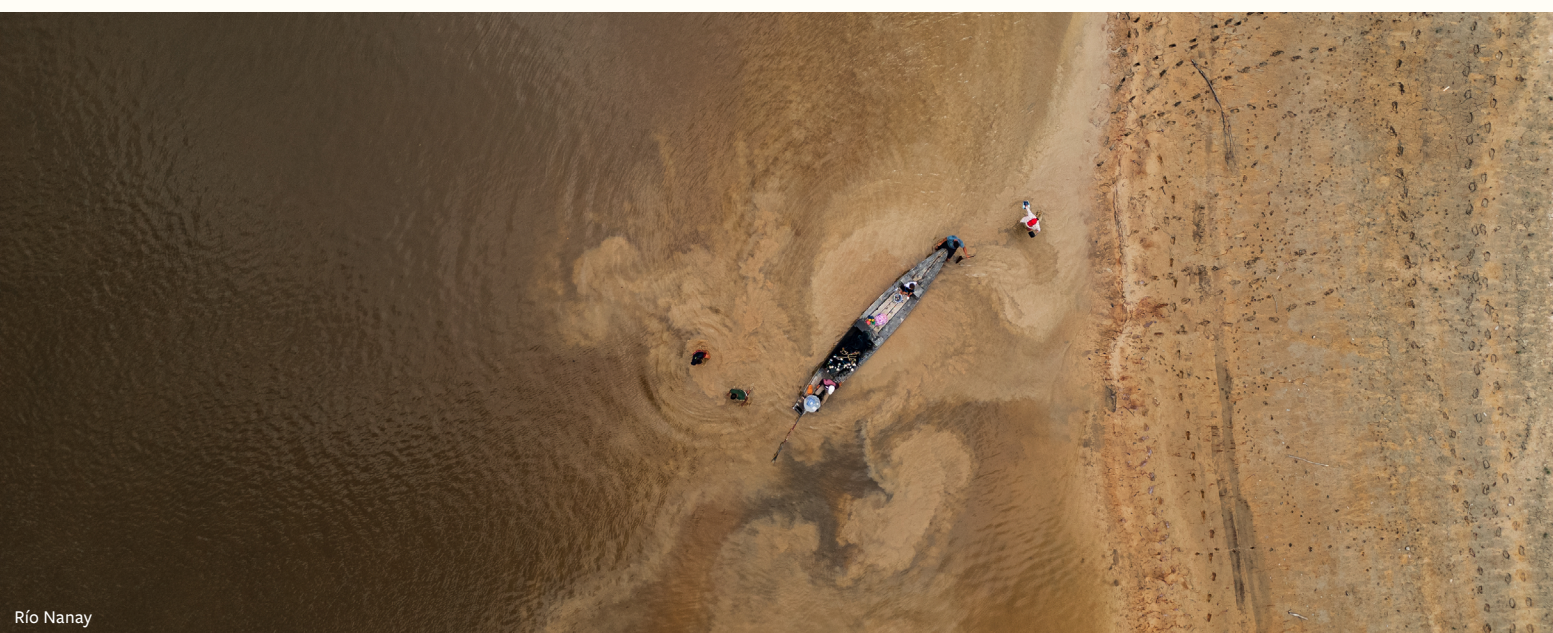
Figura 2. Procesos fluviales. ²²

Trayectorias del cambio climático

El cambio climático está intensificando el ciclo hidrológico global, alterando los patrones hidroclimáticos medios y extremos en todo el mundo. En la Amazonía, las temperaturas han aumentado $\sim 0,15^{\circ}\text{C}$ por década desde 1950, los regímenes de precipitaciones están cambiando y la estación seca se ha alargado $\sim 6,5$ días por década desde 1979 en el sur de la Amazonía⁹. También se prevé que el cambio climático aumente la frecuencia, la intensidad y el alcance de los fenómenos hidrológicos extremos en la cuenca del Amazonas. Existen pruebas observacionales de la intensificación de los fenómenos extremos en el caudal de los ríos, con tendencias a la disminución de los caudales bajos en el sur de la Amazonía y al aumento de las crecidas en toda la región¹⁰. Los estudios de modelización revelan tendencias a la baja en la disponibilidad futura de agua (precipitaciones, escorrentía, descarga), con impactos más fuertes en escenarios de altas emisiones y durante los meses de escasez de agua^{11,12}. Si bien los impactos climáticos varían mucho en el espacio, la Amazonía brasileña parece particularmente vulnerable a la disminución de la descarga fluvial anual¹³. Se prevén reducciones significativas en la descarga anual y

estacional de las subcuencas de Madeira, Purus, Tapajós y Xingú,¹¹ y las estimaciones recientes sugieren pérdidas del 14 al 20 % en la disponibilidad anual de agua para Abacaxis, Javari y Trombetas, y del 11 al 14 % para otras subcuencas importantes en escenarios de altas emisiones¹². En términos de fenómenos extremos, los modelos climáticos proyectan estaciones secas más largas, una reducción de las precipitaciones durante la estación seca y sequías más frecuentes en la mayor parte de la cuenca, excepto en la Amazonia occidental, donde pueden aumentar los episodios de lluvias y disminuir las sequías¹⁴.

En trabajos recientes se ha investigado el papel de las contribuciones del cambio climático y la deforestación en la cuenca del Amazonas, lo que pone de relieve la importancia de la deforestación en la reducción de las precipitaciones durante la estación seca en los últimos 35 años¹⁵. Como se observa en la Fig. 3, los patrones de precipitación previstos para 2030 y 2050 implican cambios sustanciales en la escorrentía y en la cantidad de agua en las estaciones de medición del Amazonas. Por lo tanto, es esencial un diseño de monitoreo coordinado a nivel regional.



CAMBIO ANTROPOGÉNICO

Las presiones derivadas de la minería aluvial, la agricultura, la ganadería, la deforestación y la explotación petrolera en la cuenca del Amazonas han aumentado en los últimos años, lo que amenaza los recursos hídricos y afecta a las comunidades ribereñas vulnerables. Las centrales hidroeléctricas alteran los regímenes de caudal debido a su funcionamiento¹⁶ y pueden modificar las condiciones límite del agua y los sedimentos si se ubican a lo largo de la transición entre los Andes y las tierras bajas¹⁷. Para minimizar daños adicionales, es necesario tener en cuenta los diversos impactos ambientales a escala de la cuenca.

DEPENDENCIA HIDRÁULICA: EL CASO DE UN SISTEMA DE MONITOREO REGIONAL

El sistema hidrológico del Amazonas sustenta a millones de personas y protege la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Esta dependencia hídrica es una relación compleja y recíproca en la que la propia existencia de la selva tropical depende de su ciclo hidrológico interno. Los «ríos voladores» dependen de la evaporación masiva de la vasta red fluvial del Amazonas y los densos bosques ilustran este vínculo. Cada año, la cuenca del Amazonas recicla una cantidad estimada entre el 24 % y el 35 % de su agua, que abastece a los glaciares tropicales, los páramos y las principales ciudades¹⁸. Estas conexiones trascienden las fronteras políticas y vinculan directamente

la salud del Amazonas con la seguridad alimentaria e hídrica del continente sudamericano.

La conectividad de la región es multifacética e implica dimensiones longitudinales, laterales, verticales, temporales, bioculturales y sociobioeconómicas¹⁸. Gran parte de la diversidad biológica se da de forma longitudinal (a lo largo del río) y lateral (desde el cauce del río hasta la llanura aluvial y el paisaje circundante), creando corredores ecológicos naturales con condiciones ambientales específicas que determinan dónde se encuentran las especies y facilitan su movimiento por el paisaje¹⁹. Un ejemplo de esta conectividad es el viaje migratorio de los bagres goliat (*Brachyplatystoma spp.*), que migran miles de kilómetros entre las tierras bajas amazónicas y los Andes, lo que representa la migración de agua dulce más larga conocida²⁰.

La dependencia de las poblaciones, las economías y los ecosistemas de los recursos hídricos es una parte fundamental de las conexiones multidimensionales que existen dentro de la cuenca, donde las comunidades humanas y los sistemas naturales están entrelazados con sus ríos. Los pueblos indígenas y las comunidades tradicionales dependen directamente de los ríos para su supervivencia económica, cultural y social. Por lo tanto, cualquier cambio en la calidad o la cantidad del agua amenaza directamente la salud y el modo de vida de estas comunidades.



Río Jurueña



Manaus

DESARROLLO DE PROTOCOLOS PARA UN ENTORNO CAMBIANTE

Como se observa en la Fig. 3, la estación de medición de Manacapuru ha registrado una disminución de la elevación de la superficie del agua en los últimos años, lo que tiene implicaciones para el transporte fluvial, que podrían intensificarse entre 2030 y 2050.

Dados los cambios heterogéneos en las precipitaciones provocados por el clima, el caudal de los ríos también variará. En respuesta a ello, la OTCA, junto con los países miembros, ha desarrollado el módulo de la Red de Monitoreo de ríos Amazónicos para analizar los regímenes fluviales y su correlación con fenómenos mesoescalares o regionales, en consonancia con los contextos de cambio global. De conformidad con las normas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), cuya experiencia en la normalización de procedimientos es reconocida, la OTCA ha elaborado un conjunto de recomendaciones sobre el monitoreo de los ríos. Estas recomendaciones fueron aprobadas por la Red Amazónica de Autoridades del Agua (RADA)

como sus Protocolos Regionales para la Red Hidrológica Amazónica (RHA) y la Red de Calidad del Agua (RCA). Los protocolos abarcan: 1) la adaptación, instalación y operación de las estaciones de monitoreo de la RHA y la RCA; 2) el análisis de campo y la recolección de muestras; 3) la verificación, el procesamiento, el almacenamiento, el suministro, la seguridad y la publicación de datos; 4) la orientación sobre los flujos y las responsabilidades para la implementación, operación y publicación de los datos de la RHA y la RCA. Estos protocolos concluyen con la indicación de los procesos para integrar los datos de cada país y su relación con las bases de datos interoperables del Observatorio Regional del Amazonas (ORA) en el contexto de los recursos hídricos regionales, lo que permite la planificación de escenarios a escala mesogeográfica y temporal y apoya la gestión sostenible y cooperativa de los ríos transfronterizos. Esta iniciativa reforzará el monitoreo tanto de las condiciones actuales como de los escenarios futuros.

Estación de Manacapuru - Elevación de la superficie del agua (cm)

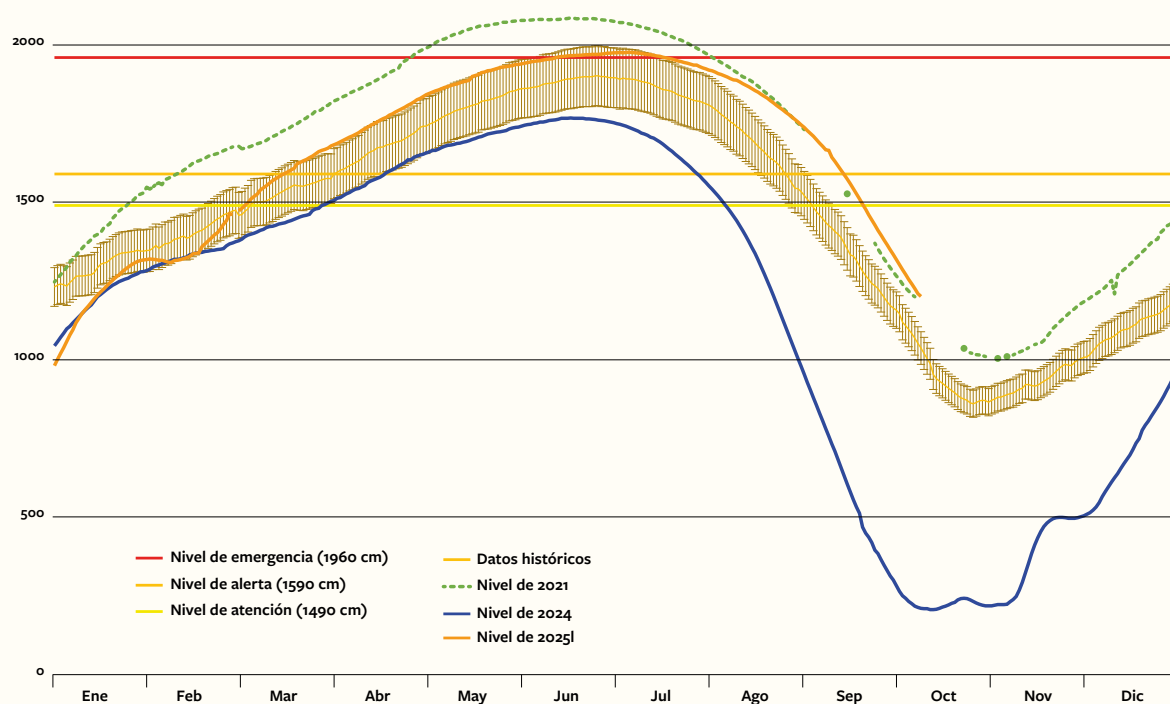


Figura 3. Elevación de la superficie del agua en la estación de Manacapuru

Recomendaciones

FORTALECER LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO MEDIANTE UN SISTEMA DE MONITOREO MEJORADO

Se espera que una adaptación climática cuidadosamente planificada ayude a los países a mitigar los daños asociados al cambio climático. Los países deben contribuir al desarrollo de un sistema mejorado de monitoreo de cuencas fluviales para (1) mejorar la detección de las tendencias climáticas, lo que permitirá respuestas de adaptación más eficientes; (2) comprender mejor los recursos hídricos disponibles, lo que, a su vez, mejorará los sistemas de gestión del agua; (3) tomar decisiones mejor informadas en materia de asignación de agua, diseño de infraestructuras y planificación agrícola y/o energética; (4) mejorar los sistemas de alerta hidrometeorológica en tiempo real para minimizar las pérdidas económicas durante episodios extremos de inundaciones o sequías; (5) desarrollar un sistema de modelización hidrológica transfronteriza que evalúe la respuesta de los ríos a los cambios globales; (6) complementar las mediciones in situ con estimaciones por teledetección de los parámetros hidrológicos y de calidad del agua, e (7) incluir una red de monitoreo de las aguas subterráneas y sus correlaciones con los procesos superficiales.

MANTENER LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Es fundamental que la región mantenga su compromiso con la mitigación del cambio climático, ya que se prevé que los efectos del clima sobre los recursos hídricos de la Amazonía se intensifiquen con el aumento de los niveles de calentamiento global. A largo plazo, las medidas ambiciosas aumentan las posibilidades de limitar el calentamiento global por debajo de los 2°C, lo que reduce el riesgo de efectos climáticos graves y mejora la eficacia de la adaptación climática del sector hídrico. En este sentido, las contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC) y las estrategias de desarrollo a largo plazo con bajas emisiones (LT-LEDS) son herramientas clave para promover una mitigación ambiciosa. Además, el control de la deforestación es fundamental para preservar los servicios ecosistémicos de la Amazonía, incluido el suministro de agua dulce en toda la cuenca y en toda América del Sur.

DISEÑAR EL SISTEMA REGIONAL EN TORNO A LA CONECTIVIDAD Y LOS PROCESOS DE ACOPLAMIENTO

El monitoreo regional debe diseñarse incluyendo las interacciones entre las aguas superficiales y subterráneas y la conectividad entre los Andes y el Atlántico (incluyendo Guyana, Surinam y Venezuela).



Tributario del Río Amazonas

Trayectorias Amazónicas

Las estaciones hidrológicas y de calidad del agua están ubicadas en toda la cuenca del Amazonas (Fig. 4). Algunas de las estaciones de medición se encuentran en regiones donde se prevén variaciones positivas y negativas en los patrones de precipitación para las trayectorias climáticas amazónicas de 2030 y 2050. Las precipitaciones

se convierten en escorrentía y, a continuación, en descarga de agua a lo largo de los ríos. Dependiendo de las trayectorias climáticas, algunas estaciones detectarán el aumento y la disminución de la magnitud de los parámetros hidrológicos.

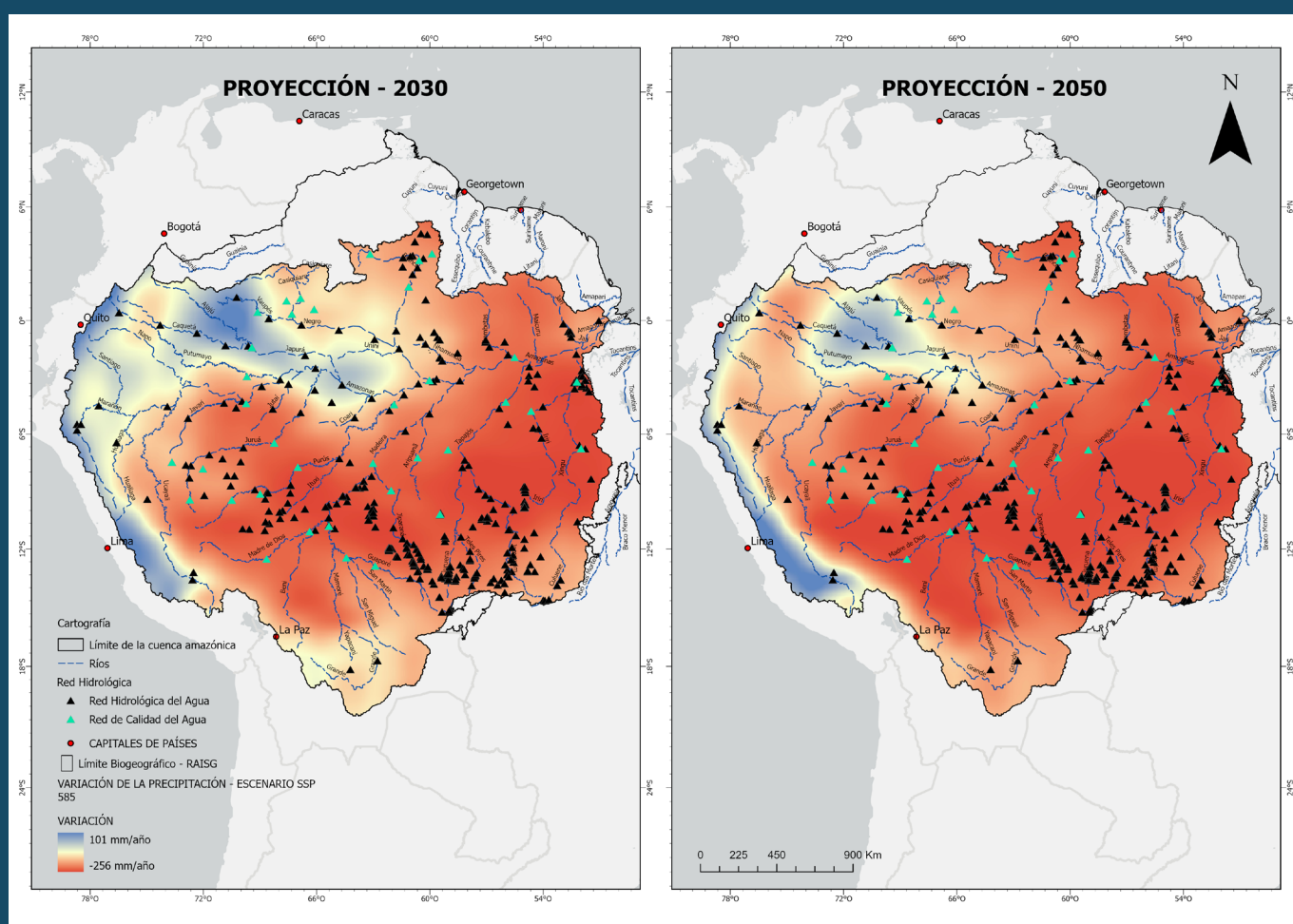


Figura 4. Media del conjunto multimodelo CMIP6 de la precipitación (mm/año) y cambio previsto en 2030 y 2050 para el escenario SSP-585 (altas emisiones) y la red fluvial del Amazonas (hidrología y calidad del agua).

Referencias

- 1 Siqueira et al. (2018). Toward continental hydrologic-hydrodynamic modeling in South America. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(9), 4815-4842.
- 2 Fassoni-Andrade et al. (2021). Amazon Hydrology from Space: scientific advances and future challenges. *Reviews of Geophysics*, 59(4).
- 3 De Almeida Mereles et al. (2025). Distribution of strontium isotopes (87Sr/86Sr) in surface waters of the Amazon basin: A basis for studies on provenance. *The Science of the Total Environment*, 965, 178630.
- 4 Brienen et al. (2015). Long-term decline of the Amazon carbon sink. *Nature*, 519(7543), 344-348.
- 5 Householder et al. (2024). One sixth of Amazonian tree diversity is dependent on river floodplains. *Nature Ecology & Evolution*, 8(5), 901-911.
- 6 Caldas et al. (2022). Identifying the current and future status of freshwater connectivity corridors in the Amazon Basin. *Conservation Science and Practice*, 5(1).
- 7 Frappart et al. (2018). The spatio-temporal variability of groundwater storage in the Amazon River Basin. *Advances in Water Resources*, 124, 41-52.
- 8 Flores et al. (2024). Critical transitions in the Amazon forest system. *Nature*, 626(7999), 555-564.
- 9 Marengo et al. (2018). Changes in climate and land use over the Amazon Region: Current and future variability and trends. *Frontiers in Earth Science*, 6.
- 10 Chagas et al. (2022). Climate and land management accelerate the Brazilian water cycle. *Nature Communications*, 13(1), 5136.
- 11 Brêda et al. (2020). Climate change impacts on South American water balance from a continental-scale hydrological model driven by CMIP5 projections. *Climatic Change*, 159(4), 503-522.
- 12 Santos da Silva et al. (2026). A Hydrological Model to Assess Current and Future Freshwater Availability: Application to Climate Change Impacts in the Amazon River Basin through Mid-Century. *Journal of Hydrology*, 664(B), 134473.
- 13 Almeida et al. (2021). Climate change may impair electricity generation and economic viability of future Amazon hydropower. *Global Environmental Change*, 71, 102383.
- 14 Duffy et al. (2015). Projections of future meteorological drought and wet periods in the Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(43), 13172-13177.
- 15 Franco et al. (2025). How climate change and deforestation interact in the transformation of the Amazon rainforest. *Nature Communications*, 16(1), 7944.
- 16 Hazas et al. (2022). Drought conditions enhance groundwater table fluctuations caused by hydropower plant management. *Water Resources Research*, 58(10).
- 17 Abad et al. (2024). River geomorphology and fish diversity around the Manseriche Gorge, the last ANDEAN crossing is in peril. *Water Resources Research*, 60(11).
- 18 Science Panel for the Amazon. (2024). Policy Brief: Conserving the Amazon's Freshwater Ecosystems' Health and Connectivity.
- 19 Macedo et al. (2015). State of the Amazon: Freshwater Connectivity and Ecosystem Health. WWF Living Amazon Initiative.
- 20 Barthem et al. (2017). Goliath catfish spawning in the far western Amazon confirmed by the distribution of mature adults, drifting larvae and migrating juveniles. *Scientific Reports*, 7(1), 41784.
- 21 Vilela, I. (2025). Global Climate Connection. Atmosphere, Ocean, and Amazon. *Amazon Trajectories No. 2*. [Policy Brief]. Amazon Cooperation Treaty Organization (ACTO).
- 22 Goulding et al. (2003). The Smithsonian Atlas of the Amazon. *Smithsonian Books*.
- 23 Corson-Dosch et al. (2023). The water cycle. *General Information Product*. U.S. Geological Survey.

SUGERENCIA DE CITACIÓN

Abad, J. et al. (2025). Red de monitoreo fluvial en escenarios actuales y futuros. *Trajectorias Amazónicas n° 7*. [Policy Brief]. Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA). Disponible en <https://www.oraotca.org/>

AVISO DE RESPONSABILIDAD

Este documento constituye una compilación técnico-informativa sobre un tema prioritario para la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA), elaborada con el propósito de subsidiar y enriquecer el debate regional. Las opiniones, análisis e interpretaciones aquí presentadas corresponden exclusivamente a sus autores. Su contenido no refleja necesariamente la posición oficial de la OTCA ni de sus Países Miembros. La información presentada ha pasado por curaduría técnica que respalda su credibilidad.

AUTORES

Jorge D. Abad (Consultor, Banco Mundial)
Sílvia Regina Santos da Silva (Centro de Ciencias Ambientales de la Universidad de Maryland)
Gabriela Flores (ASL, Banco Mundial)
Naziano Filizola (Universidad Federal de Amazonas)

COORDINACIÓN CIENTÍFICA ORA

Arnaldo Carneiro
arnaldo.carneiro@otca.org

COORDINACIÓN EDITORIAL ORA

Paula Drummond

PRODUCCIÓN CARTOGRÁFICA Y MODELADO ORA

Isabelle Vilela, Maycon Castro, Maria Fernanda Ribeiro, Mathias Alvarez, Rafaela Cipriano

DISEÑO, MAQUETACIÓN E ILUSTRACIONES

Patricia Sardá | Estúdio Abanico

FOTOGRAFÍAS

Rafa Neddermeyer/Agência Brasil, Sergio Amaral/OTCA, Mark Fox, Gino Tuesta, Adriano Gambarini

OBSERVATORIO REGIONAL AMAZÓNICO (ORA)

Es el centro de referencia de la OTCA que integra datos, prueba innovaciones y difunde información apoyando a los países miembros en la cooperación y la toma de decisiones.

ORGANIZACIÓN DEL TRATADO DE COOPERACIÓN AMAZÓNICA (OTCA)

La OTCA es una organización intergubernamental formada por ocho países amazónicos: Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, Perú, Surinam y Venezuela, que firmaron el Tratado de Cooperación Amazónica, convirtiéndose en el único bloque socioambiental de América Latina.

OTCA / ORA

SEPN 510, Bloco A, 3º andar - Asa Norte | Brasília (DF), Brasil, CEP: 70.750-52
ora@otca.org | <https://www.oraotca.org/>

