

POLICY BRIEF

CONSERVANDO LA SALUD Y LA CONECTIVIDAD DE LOS ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE DE LA AMAZONÍA

Andrea C. Encalada, Adalberto L. Val, Simone Athayde, Jhan Carlo Espinoza, Marcia Macedo, Miriam Marmontel, Guido Miranda, Maria Tereza Fernandez Piedade, Tiago da Mota e Silva & Julia Arieira

MENSAJES CLAVE

(i) Salvaguardar la biodiversidad y los servicios esenciales de los ecosistemas amazónicos de agua dulce. La Cuenca Amazónica desempeña un papel fundamental en el ciclo hidrológico, reciclando entre el 24% y el 35% de su agua anual y contribuyendo significativamente a las precipitaciones continentales a través de "ríos aéreos" que transportan 6.400 km³ de agua cada año. Esta cuenca también vierte anualmente una media de 1.122 megatoneladas (Mt) de sedimentos en suspensión, cruciales para la fertilidad del suelo y la función y los servicios ecosistémicos del océano Atlántico, como la pesca. Adicionalmente, los ecosistemas de agua dulce de la región cuentan con una notable biodiversidad, con unas 2.700 especies de peces, de las cuales 1.696 son endémicas¹. Estos ecosistemas son vitales para la subsistencia de las comunidades amazónicas, donde el consumo diario de pescado per cápita puede superar los 500 g, una de las tasas más altas del mundo.

(ii) Mantener la conectividad fluvial es crucial para preservar los ecosistemas amazónicos de agua dulce. Mantener la conectividad multidimensional de los ecosistemas amazónicos de agua dulce es crucial para preservar los procesos ecológicos, el reciclaje del agua, la diversidad biológica y cultural y la capacidad de resiliencia de toda la cuenca. Esta conectividad abarca dimensiones longitudinales, laterales, verticales, temporales, bioculturales y socioeconómicas. Numerosos factores de cambio en las aguas amazónicas perturban estas conexiones vitales. Es urgente una gestión comprehensiva y políticas regionales proactivas para proteger los ecosistemas amazónicos de agua dulce.

(iii) La rápida degradación de los ecosistemas amazónicos de agua dulce. Los ecosistemas amazónicos de agua dulce están experimentando una rápida degradación debido a una confluencia de factores, incluyendo la contaminación del agua, los derrames de petróleo, la minería informal e ilegal, la construcción de presas, los desvíos del agua, la deforestación, la sobrepesca y el cambio climático. Estos elementos no sólo destruyen conexiones ecológicas vitales dentro de los sistemas de agua dulce de la Amazonía, sino que también disminuyen drásticamente

su biodiversidad, funcionalidad y capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos esenciales.

(iv) Priorización de los corredores de cuencas hidrográficas de flujo libre en toda la cuenca amazónica. Las iniciativas de conservación, remediación y restauración deben ser mapeadas y priorizadas en toda la cuenca amazónica. Esto incluye el desarrollo de marcos de conservación especializados que garanticen la conectividad entre las áreas protegidas y las nuevas reservas fluviales a escala de toda la cuenca. Estos marcos deben abordar una serie de retos, como el seguimiento de las poblaciones de peces y garantizar la sostenibilidad de la pesca. Igualmente críticos son los programas de restauración destinados a regenerar y reconectar la vegetación ribereña y las llanuras aluviales con los ríos, arroyos y humedales. Por otra parte, la adopción de tecnologías innovadoras es crucial para desarrollar soluciones de tratamiento del agua más eficaces, que son vitales para mantener la calidad del agua, garantizar los caudales ecológicos y restablecer la salud de los ecosistemas de agua dulce.

(v) Búsqueda de la participación inclusiva y la gestión basada en la comunidad para el éxito de la conservación. La cuenca del Amazonas es el hogar de 48 millones de personas, incluida la población indígena de 2,2 millones. Es crucial reconocer a todos los habitantes, incluidos los Pueblos Indígenas y las Comunidades Locales (PICL), como gestores esenciales de los ecosistemas amazónicos de agua dulce. Existe evidencia convincente de que la gobernanza inclusiva y la co-administración no sólo mantienen la salud de los ecosistemas, sino que también impulsan las economías locales.

(vi) Garantizar la conectividad del agua dulce mediante la colaboración y el apoyo transnacional. Cada país amazónico debe desarrollar y aplicar políticas públicas nacionales para los ecosistemas de agua dulce, reconociendo los ríos, arroyos, vegetación ribereña y humedales no sólo como recursos, sino como ecosistemas únicos que proporcionan servicios esenciales. Asimismo, es crucial establecer acuerdos transnacionales entre los países amazónicos para preservar los corredores de flujo libre naturales de las cuencas hidrográficas.

RESUMEN GRÁFICO

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS PROPORCIONADOS POR LOS ECOSISTEMAS AMAZÓNICOS DE AGUA DULCE

MANTENIMIENTO DEL CICLO HIDROLÓGICO

Hasta el 50% de las precipitaciones se reciclan cerca de los Andes tropicales.

Los ríos aéreos transportan de 10 a 23 mil millones de litros de humedad de agua por día hacia el sur.

Los mayores sistemas acuíferos del mundo (2.7 millones de km²).

MANTENIMIENTO DEL HÁBITAT, DIVERSIDAD DE ESPECIES Y CICLO DE VIDA

El 30% de la Amazonía está formado por humedales e interfaces tierra-agua.

Aproximadamente 2.700 especies de peces, así como una diversidad de mamíferos acuáticos, invertebrados y plantas acuáticas y semiacuáticas.

223 especies de peces migratorios, sustentando la pesca en toda la cuenca.

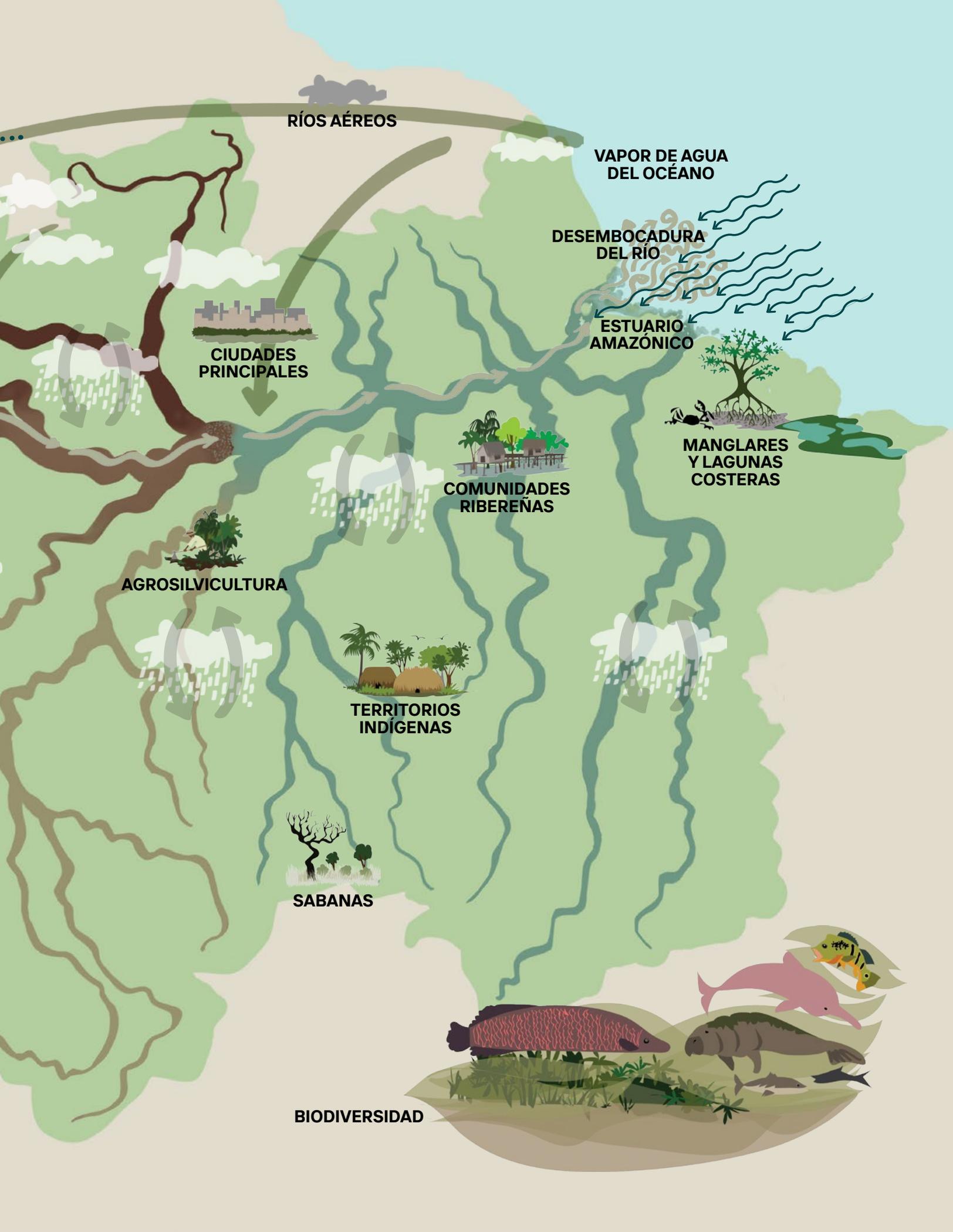
TRANSPORTE Y CICLO DE SEDIMENTOS Y NUTRIENTES

En el estuario del río Amazonas, la descarga fluvial es de 220.000 m³ por segundo.

Descarga de 1.122 megatoneladas de sedimentos en suspensión al año, en promedio.

Los bosques ribereños retienen los sedimentos, favorecen los procesos de sucesión y actúan como sistemas naturales de filtración.





RÍOS AÉREOS

VAPOR DE AGUA DEL OCEANO

DESEMBOCADURA DEL RÍO

ESTUARIO AMAZÓNICO

CIUDADES PRINCIPALES

MANGLALES Y LAGUNAS COSTERAS

COMUNIDADES RIBERENAS

AGROSILVICULTURA

TERRITORIOS INDÍGENAS

SABANAS

BIODIVERSIDAD

RECOMENDACIONES

(i) Detener la construcción de nuevas represas e implementar fuentes alternativas de energía renovable.

Adoptar una moratoria sobre la construcción de nuevas represas y considerar la eliminación de las represas obsoletas e ineficientes. Optimizar los esquemas hidroeléctricos existentes y llevar a cabo evaluaciones medioambientales estratégicas con otras fuentes de energía renovable, como la solar, la eólica, la hidrocíntrica y la aplicación de biomasa.

(ii) Expandir el tratamiento del agua y el control de la contaminación.

Invertir urgentemente en infraestructuras de tratamiento del agua, reforzar políticas de control de la contaminación, reforestar y regenerar la vegetación ribereña, ya que sirve como sistema de filtración natural, y fortalecer las labores de monitoreo para restablecer la conectividad de los cauces de agua.

(iii) Invertir en ciencia, tecnología, innovación y formación sobre ecosistemas acuáticos.

Invertir urgentemente en ciencia, tecnología e innovación para mejorar la cartografía y el monitoreo de los recursos y ecosistemas, proporcionando datos cruciales para apoyar la investigación interdisciplinaria y la gobernanza local para abordar los factores que provocan estrés y las soluciones relativas a los ecosistemas amazónicos de agua dulce.

(iv) Alinear las estrategias de reducción de la deforestación y la degradación con la política climática.

Integrar las políticas de mitigación y adaptación al

cambio climático en la planificación del desarrollo regional, alineándolas con estrategias para proteger y reducir la deforestación, incluida la de las zonas ribereñas y las llanuras aluviales, y la degradación de los bosques amazónicos y otros ecosistemas de agua dulce.

(v) Fortalecer a los Pueblos Indígenas y las Comunidades Locales en la gestión del agua dulce.

Fortalecer el liderazgo de los Pueblos Indígenas y las Comunidades Locales en las iniciativas de co-administración y conservación del agua dulce, respetando la diversidad cultural e integrando los conocimientos indígenas en las estructuras de gobernanza, los procesos de toma de decisiones y la innovación científica.

(vi) Establecer nuevos marcos de conservación.

Discutir y promover nuevos marcos de conservación diseñados específicamente para los ecosistemas de agua dulce, por ejemplo, la creación de Reservas Comunitarias Fluviales. Un marco de este tipo tiene más probabilidades de éxito si se desarrolla a través de asociaciones de colaboración basadas en la comunidad.

(vii) Fortalecer la gobernanza transnacional y la coordinación para la protección de los ríos.

Desarrollar y reforzar los acuerdos transnacionales de gobernanza existentes que permitan proteger los corredores de flujo libre de las cuencas hidrográficas. Los gobiernos nacionales deben unificar las políticas para mantener y restaurar la conectividad de los ecosistemas, reconociendo la importancia de la conservación basada en la comunidad.

A. LA CUENCA DEL AMAZONAS: LA MAYOR Y MÁS DIVERSA RED DE AGUA DULCE DEL PLANETA

Características, funciones y biodiversidad del agua dulce amazónica

Con una superficie de 7,3 millones de km² repartidos en ocho países, la cuenca del Amazonas es rica en biodiversidad moldeada por millones de años de cambios en las planicies aluviales y llanuras de inundación^{2,3,4}. En su estuario, el río Amazonas descarga 220.000 m³ por segundo⁵. Su compleja

red hidrológica incluye unas 15.000 subcuencas y diversos ecosistemas de agua dulce como lagos tectónicos, pantanos, praderas húmedas, pantanos andinos de agua dulce, turberas, manglares, lagunas de meandro, humedales ribereños y extensas llanuras aluviales^{6,7,8}.

Aproximadamente el 30% de la región amazónica está compuesta por humedales, que incluyen varios ecosistemas en la interfaz tierra-agua, que se distinguen por factores como la frecuencia y duración de las inundaciones^{9,10}, la variabilidad estacional de las precipitaciones^{11,12,13}, la profundidad

del agua, la química del agua, la vegetación y la fauna asociada ¹⁴. Las llanuras de inundación de los grandes ríos cubren unos 750.000 km², o el 11% de la Cuenca Amazónica ¹⁵. Estas llanuras de inundación son cruciales para el ciclo de nutrientes y el mantenimiento de la biodiversidad, ya que los ríos sedimentarios andinos crean fértiles várzeas de aguas blancas y los antiguos ríos de escudo forman igapós pobres en nutrientes ^{9,10}. En el estuario, la descarga del río crea entornos únicos en los que las aguas fluviales y marinas se mezclan, aportando abundantes nutrientes y sedimentos en el mar y sirviendo como fuente de criaderos, zonas de reproducción y áreas para el crecimiento y desarrollo de especies de peces de agua dulce, estuarinos y marinos ¹⁶. En consecuencia, los humedales costeros, como los manglares de Amapá, Pará y Maranhão, exigen acciones urgentes para la protección de la biodiversidad ^{14,16}.

La conectividad entre estos sistemas fluviales y humedales es esencial para la integridad ecológica y la resiliencia de la Amazonía, ya que regula los pulsos hidrológicos, asegura la distribución de las precipitaciones y la dispersión de las semillas, y garantiza la pesca y la alimentación ⁸. En última instancia, la esencia de la Amazonia depende de la interconexión de sus cauces, que facilitan el intercambio de agua, nutrientes, sedimentos y biodiversidad ¹⁷.

Las conexiones multidimensionales de la Amazonía

Podemos identificar distintas dimensiones de la conectividad hídrica dentro de la cuenca. Para los fines de este *policy brief*, consideramos seis dimensiones de conectividad a través de la cuenca, teniendo en cuenta aspectos ecológicos, estacionales y socioeconómicos:

1. Dimensión Longitudinal: *que une los Andes con el resto de la Amazonía y con el Océano Atlántico.* La transición Andes- Amazonía-Atlántico es una zona crucial de conexión hidrológica ¹⁸

(Figura 1). La región a los pies de los Andes experimenta altas tasas de precipitación (hasta 6.000 y 7.000 mm.año⁻¹) debido a las interacciones entre la circulación atmosférica regional y los contrastes de temperatura y humedad ^{19,20,21,22}. Estas lluvias generan erosión y aportan casi toda la carga de sedimentos en suspensión que se observa en la Cuenca Amazónica. Se estima que el río Amazonas exporta entre 550 y 1500 Mt.año⁻¹ de carga de sedimentos al Océano Atlántico ²³, siendo el 90% del total originado en los Andes ²⁴. Además, muchas especies dependen de esta zona de transición para sus ciclos vitales, incluidos los largos viajes migratorios relacionados con la reproducción de los peces que sustentan la pesca en toda la cuenca ²⁵.



FIGURA 1. El volcán Sangay, ubicado en los Andes ecuatorianos, y el río Upano, afluente de la cuenca del Marañón dentro de la cuenca del Amazonas, ejemplifican cuatro conexiones hidrológicas críticas entre los Andes y las planicies amazónicas: longitudinal, lateral, vertical y temporal (Foto: Jorge Juan Anhalzer).

2. Dimensión Lateral: *conectando ríos, bosques y humedales proporciona las condiciones necesarias para que prosperen numerosas especies.* Las fluctuaciones estacionales del nivel freático (Figura 2) crean corredores interconectados durante los periodos de aguas altas que facilitan la migración de especies y la dispersión de semillas entre ríos y lagos con la llanura de inundación. Estos corredores también sirven de refugio durante los periodos de caudal mínimo ²⁶, lo que permite a organismos como los peces y los mamíferos acuáticos buscar las condiciones óptimas para sobrevivir ^{27, 28, 29}. Además, las llanuras de inundación almacenan y transportan agua, sedimentos y nutrientes durante los periodos de aguas altas, sustentando así los recursos

pesqueros ²⁶. Por último, la interacción evolutiva entre peces-frutos arbóreos en la Amazonía pone de relieve el papel crítico de la conectividad río-llanura aluvial para la dinámica de reclutamiento y la diversidad de las plantas ^{30, 31}.

3. Dimensión Vertical: *abarca las interacciones entre humedales, ríos aéreos y aguas subterráneas.* Aproximadamente el 25-50% de la precipitación total anual observada en los Andes tropicales se origina en la transpiración de los árboles amazónicos ³². Parte de la humedad producida que llega al este de los Andes, entre 10 y 23 billones de litros por día ³⁶, es transportada hacia el sur por vientos que fluyen a baja altura,

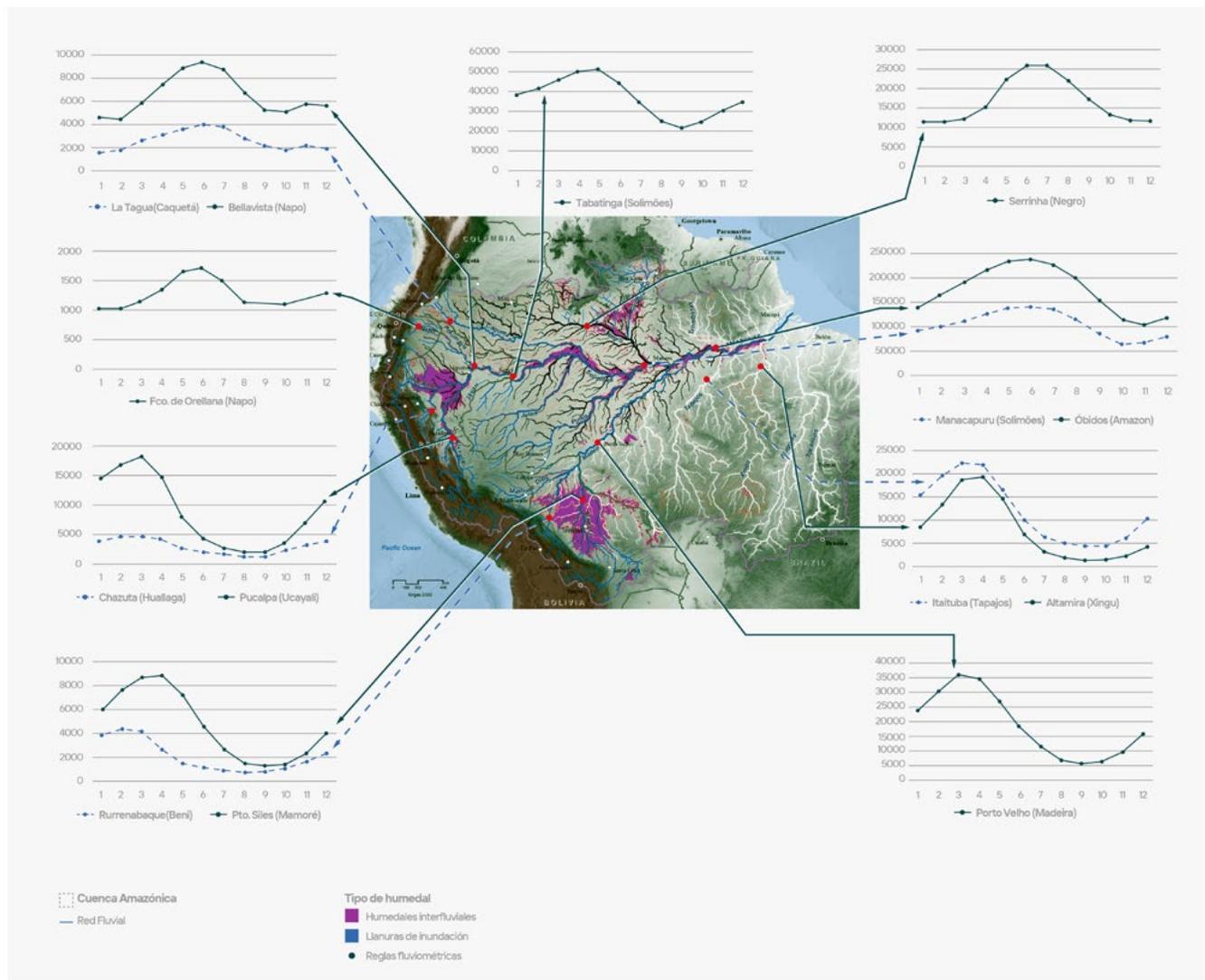


FIGURA 2. Ciclos estacionales de las descargas fluviales ($m^3 s^{-1}$). Las fluctuaciones en la descarga de los ríos provocan cambios estacionales pronunciados en el nivel del agua de los grandes ríos amazónicos, haciendo que se inunden las llanuras aluviales adyacentes ^{33, 34, 35}.

conocidos como “ríos aéreos”, que llegan hasta Argentina y abastecen de agua a otras grandes cuencas hidrográficas del continente, sustentando así la agricultura y suministrando agua potable ⁵. Además, las precipitaciones se infiltran en el suelo y contribuyen a la formación de grandes acuíferos como el sistema Alter do Chão-Içá, con una cantidad de recarga estimada en al menos 236.400 y 350.000 m³.año⁻¹ ^{4,37}.

4. Dimensión Temporal: *vinculando las respuestas de los ríos a lo largo del tiempo, donde los acontecimientos pasados han configurado la función y la diversidad fluvial actual y futura.* En la Amazonía, la conectividad temporal está vinculada fundamentalmente al complejo ciclo hidrológico de la región (**Figura 2**). Las tierras bajas, por ejemplo, están sujetas a un pulso de inundación anual, marcado por pronunciados periodos de aguas bajas y altas, mientras que la zona andino-amazónica experimenta caudales variables que pueden cambiar a diario ³⁸. Este régimen de inundación no sólo da forma a la morfología fluvial, como la formación de lagos en forma de meandro y canales fluviales principales, sino que también influye en comportamientos de organismos como las migraciones y la siembra de árboles, y afecta a los medios de vida de las personas a través de actividades como la agricultura de llanura aluvial y la navegación ³⁹. Por lo tanto, el momento y la previsibilidad del pulso de la inundación están íntimamente relacionados con otras dimensiones de la conectividad.

5. Dimensión Biocultural: *incorporando las relaciones entre las poblaciones humanas y los ríos, y los humedales y su biodiversidad acuática, observadas las tradiciones y creencias culturales.* Las poblaciones Indígenas poseen cosmovisiones (**Cuadro 1**), conceptualizaciones lingüísticas, conexiones espirituales y conocimientos experienciales de los ecosistemas amazónicos de agua dulce adquiridos a lo largo de muchos años ^{40,41}. Recientemente, los sistemas de conocimiento Indígenas y locales se han combinado con el

conocimiento científico y la tecnología para proteger y restaurar las aguas dulces y las cabeceras de cuenca a través de experiencias de cogestión y acuerdos pesqueros, incluyendo casos en los que los Indígenas han participado de forma significativa en los procesos de toma de decisiones ^{30,42}.

6. Dimensión Bioeconómica: *reconociendo la provisión de alimentos, transporte, agua potable y actividades económicas por parte de los ecosistemas de agua dulce.* Los peces son los principales proveedores de proteínas, micronutrientes e ingresos para los hogares rurales y urbanos de toda la Cuenca Amazónica ⁴³. Se calcula que la extracción total de pescado en la cuenca del Amazonas oscila entre 422.000 y 473.000 toneladas al año ⁴⁴. También existe una gran importancia de los ecosistemas de agua dulce para los cultivos y recursos agroforestales amazónicos de gran importancia económica, como el cacao, la palma de açai y muchos otros, que han sido domesticados o semidomesticados por los Pueblos Indígenas y las Comunidades Locales ⁴⁵. Asimismo, el transporte fluvial desempeña un papel crucial en el acceso a zonas remotas, permitiendo que servicios como la sanidad pública atiendan las demandas de las zonas rurales ⁴⁶. Y, por último, el ocio al aire libre y el turismo permiten a los visitantes compartir estas relaciones con los recursos de la cuenca hidrográfica.

Estas diferentes dimensiones de la conectividad del agua se enfrentan a importantes retos debido a la acción humana que promueve la fragmentación de los hábitats acuáticos, empujando así al bioma rápidamente hacia un punto de no retorno. Abogamos firmemente por iniciativas de conservación que garanticen una conectividad abierta dentro de la cuenca, teniendo en cuenta todas las dimensiones, y que al mismo tiempo garanticen la equidad y la inclusión en las conversaciones sobre planificación, políticas y prácticas.

CUADRO 1: INTEGRANDO LOS CONOCIMIENTOS TRADICIONALES EN LA CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE

Los conocimientos tradicionales aportan valiosas ideas para la conservación de los ecosistemas de agua dulce, orientan las prácticas de gestión sostenible y fomentan el respeto por los servicios que ofrecen estos ecosistemas. Este enfoque se deriva de la cosmovisión de muchos Pueblos Indígenas, que perciben los recursos naturales no como posesiones, sino como entidades habitadas por espíritus o guardianes, ya sean plantas, animales, minerales o rocas ⁴⁷.

Para los Mundurucu, interactuar con los bosques y los ríos también implica relacionarse con los espíritus que residen en ellos. Estas interacciones exigen negociar relaciones armoniosas e

intercambios respetuosos con todos los seres, lo que permite articular múltiples mundos coexistentes.

Los conocimientos tradicionales son cruciales para comprender procesos ecológicos complejos que de otro modo quedarían sin explicación, transmitidos de generación en generación. Un ejemplo pertinente es la identificación de una zona de desove en la cuenca del Beni, derivada de las observaciones de los pescadores de parejas de dorados cerca de la comunidad de Altamirani. Este conocimiento localizado facilitó la caracterización del área, llevando a la identificación de al menos otras 22 zonas potenciales de desove del dorado ⁴⁸. Estos conocimientos son vitales para las decisiones de gestión en estas regiones y subrayan la importancia de integrar las áreas protegidas con los conocimientos ecológicos tradicionales.

B. PRINCIPALES FACTORES DE FRAGMENTACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE

La fragmentación de los ecosistemas amazónicos de agua dulce es una de las principales razones de la pérdida de superficie acuática, hábitats, biodiversidad y, en consecuencia, de servicios ecosistémicos esenciales para el bienestar de las poblaciones humanas. Esta fragmentación se produce debido a las actividades humanas que, provocan barreras físicas que alteran el curso de los ríos, o a través de barreras químicas ⁴⁹ que degradan la calidad del agua.

Fragmentación Física

La principal amenaza para la conectividad del agua dulce es la fragmentación de los ríos debido al **desarrollo hidroeléctrico y la construcción de represas** ⁵⁰, que actualmente afecta a ríos que van desde los Andes hasta grandes cuencas como el Marañón, Madeira, Napo, Tapajós, Tocantins y Ucayali ^{28, 51, 52, 53} (**Figura 3**). Las represas alteran

los hábitats fluviales bloqueando los movimientos de los organismos y modificando los patrones hidrológicos, la descarga de sedimentos ^{28, 53, 54, 55}, la temperatura y el equilibrio de nutrientes ⁵⁶, afectando a la biodiversidad, causando el declive de las especies migratorias ^{28, 57} y la mortalidad masiva de árboles ⁵⁸. Adicionalmente, los estudios muestran que algunas represas de tierras bajas en la Amazonía pueden tener una contribución considerable en emisiones de gases de efecto invernadero por unidad de electricidad generada (mediana = 133 kg CO₂eq MWh⁻¹) ⁵⁹.

La construcción de carreteras tiene

repercusiones similares a las de las represas,

ya que altera las corrientes estacionales, interrumpiendo así la conectividad, bloqueando el paso de la vida acuática ⁶⁰ e influyendo en la deposición de sedimentos en los sistemas acuáticos ⁶¹. Además, el cambio de la cobertura del suelo relacionado con las carreteras contribuye a las emisiones de CO₂ ⁶².

HIDROELÉCTRICAS PLANEADAS, EXISTENTES Y SEDIMENTOS EN LA AMAZONÍA

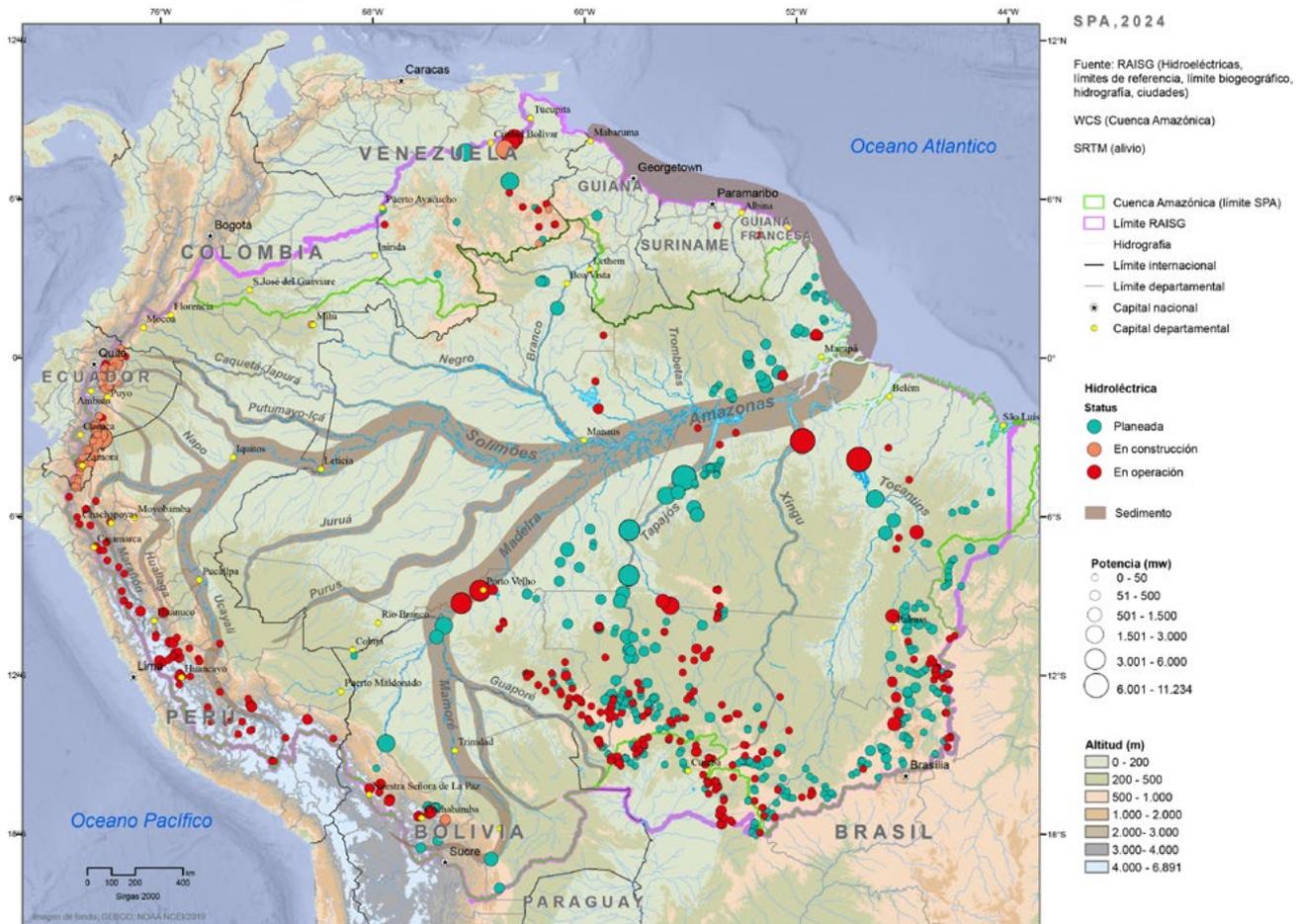


FIGURA 3. Las centrales hidroeléctricas en la Amazonía suponen una importante amenaza para los ecosistemas de agua dulce al interrumpir sus conexiones vitales. Adaptado de ^{33, 63, 64}

La pérdida de agua dulce y de su biodiversidad en los ecosistemas amazónicos también está estrechamente relacionada con la degradación medioambiental, incluidas las represas de desvío de agua captadas para **actividades agrícolas y ganaderas**. El cambio de la cobertura del suelo relacionado con la ganadería y la producción agrícola ha afectado a cerca del 15% (1985-2020) de la cuenca amazónica, especialmente en la región sur y suroeste, donde el bosque nativo ha sido sustituido por pastizales y sabanas ^{65, 66}.

La minería afecta directamente a los ecosistemas de agua dulce alterando la morfología de arroyos y ríos debido a las excavaciones, aumentando la carga de sedimentos y haciendo necesaria la deforestación a gran escala ⁶⁷. En Brasil, por ejemplo,

la minería fue responsable de la pérdida de 11.670 Km² de bosques amazónicos entre 2000 y 2015 ⁶⁸.

La deforestación asociada a estos proyectos de infraestructura y actividades económicas impacta a los ecosistemas amazónicos de agua dulce de diferentes maneras. La deforestación provoca la pérdida de evapotranspiración de la vegetación (20-41%) y aumenta las temperaturas (28-45%) ⁶⁹, disminuyendo así la cantidad de vapor de agua en la atmósfera ⁷⁰, perjudicando la conectividad vertical y aumentando el riesgo de sequías e incendios ⁷¹. Con menos precipitaciones, también hay menos escorrentía superficial y menos sedimentos exportados desde los Andes a la Amazonía, lo que aumenta la mortalidad de los árboles ^{72, 73}.

El **cambio climático** en curso también afecta a la conectividad dentro de la cuenca. Los modelos climáticos predicen un futuro descenso de las precipitaciones, sobre todo en el sur de la cuenca, lo que aumenta la vulnerabilidad de la región ^{74, 75}. Esto puede hacer que muchos arroyos y ríos dejen de fluir durante varios meses en determinadas zonas, lo que puede provocar la extinción local de especies ⁷⁵. Adicionalmente, a medida que la región se calienta, incluso pequeños aumentos de la temperatura del agua son suficientes para empujar a muchas especies de peces más allá de sus límites de tolerancia térmica ^{77, 78, 79}. Tales cambios conducen a adaptaciones en la fauna y flora acuáticas, pero también pueden dar lugar a mayores tasas de mortalidad entre los peces ⁷⁷ y los mamíferos acuáticos ⁸⁰, tal como se observó durante la grave sequía de 2023 (Ver más en *el Policy Brief Sequías en la Amazonia*).

La fragmentación de los ecosistemas amazónicos de agua dulce presenta una peligrosa sinergia con la **sobrepesca** ⁸¹. Aunque aún no se dispone de modelos sólidos de evaluación de las poblaciones de peces, la intensa presión pesquera en toda la cuenca parece ser uno de los principales motores del declive de las poblaciones de peces ^{82, 83} y del agotamiento de la biodiversidad ⁸⁴. Por ejemplo, las represas y la sobrepesca combinadas son responsables de un fuerte agotamiento de la población de Piraiba (*Brachyplatystoma rousseauxii*), una especie migratoria ^{81, 85}.

Todas estas formas de fragmentación van acompañadas de importantes repercusiones socioeconómicas y socioculturales que afectan a las comunidades ribereñas y urbanas, así como a los Pueblos Indígenas. Las investigaciones han demostrado que los cambios en la dieta y la pesca pueden afectar a la seguridad alimentaria y los patrones de consumo de todas las poblaciones amazónicas ^{86, 87, 88}, agravando la desnutrición ⁸⁹ y causando efectos psicológicos y espirituales en las poblaciones Indígenas ⁹⁰.

Barreras Químicas

La contaminación química es una de las principales causas de la degradación del agua y de la disminución de su calidad en la Amazonía. Notablemente, muchas ciudades amazónicas carecen de plantas de tratamiento de agua, lo que conduce a **la descarga de aguas residuales domésticas e industriales directamente en los cuerpos de agua**, planteando riesgos significativos de contaminación ^{91, 92}. Este problema subraya la necesidad crítica de estrategias integrales para gestionar y tratar eficazmente las aguas residuales en la región. Además, **la eliminación inadecuada de los residuos sólidos** provoca la lixiviación de los líquidos generados por su descomposición, que llegan a las masas de agua y pueden ser altamente tóxicos para el medio ambiente y la salud humana.

Los derrames de petróleo afectan a los organismos de muchas maneras, provocando efectos negativos como la alteración del desarrollo de las plantas acuáticas ⁹³ o la intoxicación de los peces ^{94, 95}. En el caso de los seres humanos, la exposición a los derrames de hidrocarburos puede provocar impactos negativos como efectos en la salud mental, efectos físicos y fisiológicos, efectos tóxicos en los sistemas inmunológico y endocrino, y daños en el material genético ⁹⁶.

Además de alterar la morfología de los ríos, la minería introduce contaminantes como el mercurio ⁶⁷, que se acumula fácilmente en el suelo, la hojarasca y las hojas, o entra y se magnifica en la cadena alimentaria, pudiendo causar impactos devastadores en la fauna ⁹⁷. Actualmente, todos los países amazónicos han informado de la exposición ambiental y humana al mercurio ⁹⁸. El último estudio muestra que más de una quinta parte del pescado que se vende en 17 ciudades de seis estados de la región amazónica de Brasil contiene niveles peligrosos de este metal ⁹⁹. En los seres humanos, la exposición prolongada al mercurio inorgánico u orgánico puede dañar permanentemente el cerebro y los riñones, así como perjudicar a los fetos en desarrollo ¹⁰⁰.

C. SOLUCIONES PARA MANTENER Y RESTAURAR LOS ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE DE LA AMAZONÍA

Acciones concretas y la formulación de políticas públicas se proponen aquí para hacer frente a la apremiante necesidad de preservar y mejorar la conectividad de agua dulce en la Amazonía, abarcando vínculos longitudinales, laterales, verticales, temporales, bioculturales y bioeconómicos.

Se proponen las siguientes acciones necesarias:

1. Detener la Construcción de Represas e Implantar Otras Fuentes de Energía Renovable

1a. Cese de la Construcción de Represas:

Las represas, grandes o pequeñas, no deben construirse en la Amazonía. Abogamos por una moratoria en la construcción de represas dentro de la cuenca.

1b. Adoptar Energías Innovadoras, Integradas, Alternativas y Renovables:

La región tiene un potencial significativo para la generación de energías renovables, incluidos los sistemas fotovoltaicos (FV), las centrales hidroeléctricas a pequeña escala que utilizan turbinas hidrocinéticas y las aplicaciones modernas de la biomasa. La energía eólica también puede aprovecharse en zonas específicas y la costa atlántica ofrece oportunidades para la energía mareomotriz y la Conversión de Energía Térmica Oceánica (OTEC). (Más información en el *Policy Brief Nueva infraestructura para la Amazonía*).

1c. Considerar el desmantelamiento de represas para la restauración de la conectividad:

Para restablecer la conectividad de los ecosistemas fluviales, debe considerarse la remoción o el reacondicionamiento de las represas obsoletas e ineficientes. Las represas

que perturban significativamente las economías locales, contribuyen con emisiones excesivas de CO₂ y metano a la atmósfera y obstruyen la migración de los peces deben ser el objetivo.

El reacondicionamiento puede implicar la sustitución de las barreras fluviales por estructuras de desvío de flujo libre que permitan los procesos fluviales naturales. Además, para mejorar la eficiencia, las represas existentes con grandes embalses podrían aumentarse con soluciones energéticas alternativas, como sistemas fotovoltaicos flotantes.

2. Ampliar el Tratamiento del Agua y el Control de la Contaminación

2a. Inversión Urgente en Infraestructura de Tratamiento de Aguas:

Invertir en infraestructuras de tratamiento de aguas es crucial para gestionar eficazmente los efluentes domésticos e industriales de las ciudades y comunidades rurales amazónicas. En Manaus, la mayor ciudad de la Amazonía, sólo se trata el 21,8% de las aguas residuales, y el resto se vierte directamente a las masas de agua. En toda la cuenca, numerosas ciudades carecen de instalaciones de tratamiento de aguas residuales.

2b. Detener la Minería Ilegal y Fortalecer el Monitoreo y la Aplicación de la Ley:

Abordar la contaminación por mercurio procedente de la minería ilegal y artesanal del oro por medio de una mejor gobernanza, una aplicación rigurosa de la ley y la protección de las áreas de conservación y las tierras Indígenas. Este enfoque debería incluir la prohibición o restricción del uso de maquinaria pesada en las barcas mineras. Adicionalmente, deben establecerse mecanismos de control estrictos, junto con sanciones para las actividades que contribuyan a la degradación y contaminación del agua dulce. También es necesaria una mayor inversión para regular el comercio de mercurio en los centros amazónicos. Por otra

parte, garantizar la transparencia y la rendición de cuentas en las cadenas de suministro de oro es crucial para frenar la circulación de oro de origen ilegal en los mercados internacionales.

2c. Promover la Regeneración Natural de las Zonas de Amortiguación Ribereñas:

Los esfuerzos deben dirigirse a restaurar y mantener zonas de amortiguación ribereñas con especies vegetales autóctonas a lo largo de los corredores fluviales. Estas zonas de amortiguación ribereñas retienen los sedimentos, favorecen los procesos de sucesión y sirven como sistemas naturales de filtración, mitigando la entrada de contaminantes en las masas de agua al tiempo que promueven la biodiversidad y la resiliencia ecológica.

3. Invertir en Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación sobre el Agua Dulce

3a. Mejorar el Monitoreo de los Ecosistemas de Agua Dulce:

Es imperativo vigilar y cartografiar aspectos clave que son exclusivos de estos ecosistemas: hidrología, diversidad química, historia vital de los organismos, dinámica de las redes tróficas, procesos críticos de los ecosistemas, poblaciones de peces y relación entre el uso del agua por la agroindustria y la capa freática, entre otros.

3b. Invertir en Tecnologías para Evitar la Degradación:

Defendemos la inversión en investigación transdisciplinar que desarrolle soluciones tecnológicas adaptadas a los retos específicos de la pesca, la producción en llanuras de inundación y la conservación a distintas escalas (**Cuadro 2**). Existe una necesidad crucial de iniciativas dirigidas a ayudar a los mineros en la transición a métodos de extracción sin mercurio, a remediar las zonas degradadas por la minería del mercurio y a explorar alternativas energéticas a la energía hidroeléctrica, así como soluciones avanzadas para el tratamiento del agua.

CUADRO 2: SOLUCIONES TECNOLÓGICAS Y BASADAS EN LA NATURALEZA: CAMINOS PARA SALIR DE LA DEGRADACIÓN

Las inversiones en investigación e innovación han aportado tecnologías que preservan los beneficios sociales y económicos de las actividades extractivas tradicionales al tiempo que ofrecen alternativas que minimizan la degradación medioambiental. Por ejemplo, el uso de plantas cianógenas como la yuca amarga ha demostrado su potencial para la lixiviación del oro, lo que representa una alternativa minera menos impactante ¹⁰¹. La sustitución del mercurio por plantas locales podría suponer un avance sustancial hacia el desarrollo sostenible de la región, sobre todo si estas tecnologías se adaptan a las condiciones locales.

Por otra parte, la acuicultura tiene un gran potencial para suministrar proteínas tanto a nivel local como internacional, fomentando así el desarrollo social y económico. La implantación de sistemas de bioflocs en la acuicultura puede reducir los costes de los alimentos, disminuir el uso de agua gracias a la reducción de las tasas de intercambio de agua y sustituir la harina y el aceite de pescado en la alimentación animal, combatiendo así la sobrepesca ¹⁰².

Además, hay casos de éxito de fuentes de energía alternativas en la Amazonía que podrían reducir la dependencia de la región de las presas hidroeléctricas. Por ejemplo, 12 localidades de las provincias orientales de Ecuador, pertenecientes a la familia Mukucham, dependen ahora de paneles solares para el transporte, la alimentación de las escuelas y el apoyo al ecoturismo ¹⁰³.

3c. Facilitar el Intercambio de Conocimientos y Promover la Educación sobre el Agua Dulce:

Desarrollar políticas públicas que permitan el intercambio de académicos, investigadores y profesionales dentro de la región amazónica. Además, implementar programas educativos en las escuelas públicas para enseñar sobre el agua y las características únicas de estos ecosistemas, fomentando la colaboración entre estudiantes e investigadores.

4. Alinear las Estrategias de Reducción de la Deforestación y la Degradación con la Política Climática

4a. Acabar con la Deforestación y la Degradación de los Bosques:

Es necesario tomar medidas urgentes para detener de forma significativa la deforestación y la degradación de los bosques ribereños y de las llanuras aluviales, así como de otros

ecosistemas de agua dulce. La restauración forestal de los pastizales degradados también es importante para los ecosistemas de agua dulce. Hay que distinguir mejor entre las carreteras que son importantes para la población local y las que abren fronteras forestales y fomentan el acaparamiento de tierras. Evitar la tala selectiva y amortiguar los bordes de los bosques con bosques en regeneración puede ayudar a preservar los microclimas, reducir las temperaturas y permitir que los ecosistemas conserven su capacidad de recuperación.

4b. Fomentar y Apoyar los Esfuerzos de Gestión Local para Hacer Frente al Cambio Climático:

Las estrategias locales que promueven el mantenimiento de ríos de flujo libre (Figura 4) pueden aumentar la resistencia de los ecosistemas acuáticos al cambio climático y

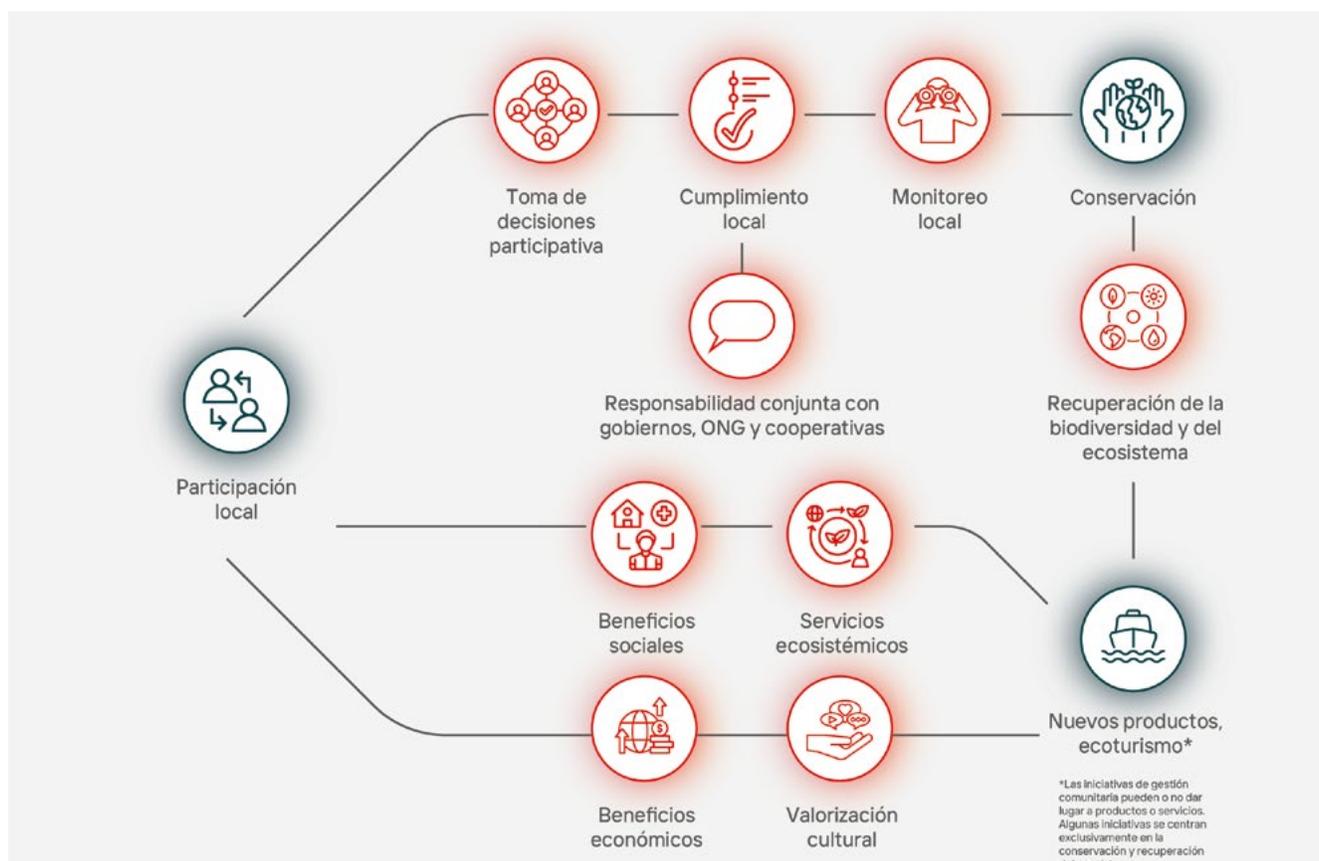


FIGURA 4. Gestión comunitaria para la conservación y la resiliencia sociopolítica en ecosistemas de agua dulce¹⁰⁴. ¿Cómo funciona?

a fenómenos meteorológicos extremos, como sequías graves e inundaciones.

5. Capacitar a las Poblaciones Indígenas y Comunidades Locales en la Gestión del Ecosistema de Agua Dulce

5a. Incentivar, Empoderar y Apoyar la Conservación Comunitaria:

Los Pueblos Indígenas y las Comunidades Locales, urbanas y rurales, deben ser protagonistas de la conservación de los ecosistemas de agua dulce, en particular mediante la designación de corredores protegidos de cuencas hidrográficas.

5b. Integrar los Conocimientos Indígenas y Locales:

Los conocimientos tradicionales de las

comunidades locales e indígenas sobre la gestión y el uso de los ecosistemas de agua dulce deben integrarse en las estrategias de conservación, ya que aumentan su eficacia y promueven la preservación cultural.

5c. Implementar Políticas Públicas Locales y Regionales para la Gestión Sostenible de la Pesca.

Permitir el intercambio de prácticas y estrategias regionales de éxito en la gestión pesquera para evitar el agotamiento de las poblaciones de peces respetando la capacidad de carga del ecosistema y los patrones de los peces migratorios (**Cuadro 3**). Esto debe ir acompañado de un esfuerzo reforzado y a escala de toda la cuenca en el monitoreo de las poblaciones de peces.

CUADRO 3: RESERVAS COMUNITARIAS FLUVIALES: UN MODELO PARA LA CONSERVACIÓN TRANSNACIONAL DE LOS RÍOS

Los sistemas fluviales, aunque fundamentales para la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, carecen a menudo de la protección que se otorga a los entornos terrestres. Reconocer los ríos como entidades de conservación es esencial para abordar estas disparidades. El concepto de **Reservas Comunitarias Fluviales** propone un novedoso modelo de conservación que integra la protección de los ecosistemas fluviales con la capacitación de las Comunidades Locales que dependen de ellos.

En el sudeste asiático, el éxito de las **Reservas Comunitarias de Peces de Agua Dulce** ejemplifica este enfoque ¹⁰⁵. La participación local en la gestión, que combina prácticas tradicionales con modernas técnicas de conservación, ha dado lugar a importantes mejoras ecológicas. En

Tailandia, por ejemplo, la designación de zonas de veda en torno a zonas críticas de desove ha rejuvenecido las poblaciones de peces, fomentando la pesca sostenible y mejorando la salud general de los ríos.

La aplicación de este modelo en la Amazonía podría establecer un marco transnacional para la conservación de ecosistemas fluviales vitales para la biodiversidad y las Comunidades Locales. La implementación de **Reservas Comunitarias Fluviales** en toda la cuenca del Amazonas, especialmente en ríos transfronterizos, podría mejorar la conectividad ecológica y la integridad de los recursos. Esta iniciativa requeriría esfuerzos de colaboración entre países para sincronizar las estrategias de conservación con la dinámica socioeconómica de las poblaciones Indígenas y Locales, respaldados por un sólido apoyo jurídico y financiero. Además, el fomento de acuerdos institucionales y prácticas de gestión adaptativa sería crucial para la sostenibilidad de estas reservas.

6. Establecer Nuevos Marcos de Conservación

6a. Cambiar el Paradigma de Conservación de la

Amazonía:

Es necesario ampliar el enfoque de conservación centrado en los bosques de *terra-firme* para incluir estrategias específicamente diseñadas para la conservación de los ecosistemas de agua dulce de la Amazonía. Esto requiere un modelo de protección a nivel de cuenca, desde los nacimientos hasta las llanuras aluviales. La fragmentación de la conectividad se da fuertemente en el río Amazonas medio, el río Tapajós, el río Xingu y otros cursos de agua importantes de la cuenca. Para estos ríos, es esencial mantener Corredores Ininterrumpidos de Conectividad de agua dulce (FCC), especialmente para los migrantes de larga distancia, como varias especies de peces y tortugas (migraciones > 500 km) ²⁸.

6b. Desarrollar un Marco de Conservación

Basado en la Cuenca Hidrográfica para toda la Cuenca Amazónica:

Este marco debe establecer corredores protegidos de conectividad longitudinal y lateral de agua dulce, conservando así una variedad de ecosistemas acuáticos productivos y su biodiversidad. Una estrategia de gestión de toda la cuenca podría utilizar un marco de zonificación de usos múltiples ¹⁰⁶, integrando diversos ecosistemas de agua dulce dentro y fuera de las áreas protegidas.

6c. Establecimiento de Reservas Comunitarias

Fluviales:

Este nuevo marco de conservación debe apoyar a los Pueblos Indígenas y a las Comunidades Locales en la co-administración sostenible de los recursos. Por ello, defendemos el concepto de Reservas Comunitarias Fluviales, que integran los esfuerzos de conservación con la gestión sostenible de los recursos vinculados a estos ecosistemas (**Cuadro 3**).

7. Establecer una Gobernanza Transnacional para la Protección de los Ríos

7a. Acuerdos Transnacionales de Gobernanza:

El desarrollo de acuerdos transnacionales para la gobernanza regional es esencial para proteger el flujo libre de los ríos a lo largo de las fronteras nacionales. Se necesitan esfuerzos de colaboración transfronteriza para regular y controlar las actividades mineras, implantar alternativas de energías renovables y proyectos de infraestructuras adecuados con un impacto mínimo, y garantizar los derechos de los Pueblos Indígenas al territorio.

7b. Estructuras de Gobernanza Colaborativa:

El establecimiento de estructuras de gobernanza colaborativas en las que participen instituciones científicas, organismos públicos de gestión, comunidades locales y el sector privado es vital para garantizar una gestión sostenible de los recursos de agua dulce. Algunos ejemplos de asociaciones de colaboración en la Amazonia son el proceso de planificación participativa de la BR-163 y el desarrollo de la co-gestión de llanuras de inundación fluviales en la región del Bajo Amazonas ¹⁰⁷. La OTCA (La Organización del Tratado de Cooperación Amazónica) es un órgano de gobernanza apropiado para este fin.

7c. Garantizar los Derechos Indígenas.

Además, estas estructuras de gobernanza deben incluir salvaguardias medioambientales, sociales y de gobernanza acordes con las normas más estrictas de los derechos Indígenas, incluido su derecho al Consentimiento Libre, Previo e Informado (CLPI), tal y como exigen el Convenio 169 de la OIT, la Declaración de las Naciones Unidas sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas y la Resolución 39/12 del Consejo de Derechos Humanos de las Naciones Unidas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a quienes han contribuido a la elaboración de este *Policy Brief*. Esto incluye las opiniones expertas de Carlos Nobre, Marielos Peña-Claros, Fernando H. Roca Alcázar, Scott Saleska, Susan Trumbore, Leandro Castello, Alex Flecker, Wolfgang J. Junk, Mariana Montoya, y los colaboradores de la Consulta Pública, Charlie Espinosa (Amazon Aid), Karina Dias-Silva (Universidade Federal do Pará), Viviane C. Firmino (Universidade Federal do Pará), Ayan Fleischmann (Instituto Mamirauá), Sebastian Heilpern (Cornell University), Leandro Juen (Universidade Federal do Pará), Lilian Painter (WCS - Bolivia), Peter van der Sleen (Wageningen University), Esteban Terneus (EcoCiencia), Matt Terry (Instituto Ecuatoriano de Ríos), Freddy Santiago Zeneto-Ruiz (Herbario Nacional de Bolivia) y Ana María González Velosa, Sandra Berman, Marcela Portocarrero Aya y Amy K. Juelsgaard del Banco Mundial. También agradecemos a la Secretaría Técnico-Científica de la SPA, en particular a Daniel Bernstein, por la edición, y a Alejandra Peters, que tradujo este *Policy Brief* del inglés al español.

REFERENCIAS

- [1] Dagosta, F., de Pinna, M. (2019). The Fishes of the Amazon: Distribution and Biogeographical Patterns, with a Comprehensive List of Species. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 431(1):1. <https://doi.org/10.1206/0003-0090.431.1.1>.
- [2] Cracraft, J. et al. 2020. The Origin and Evolution of Amazonian Species Diversity. In: Rull, V., Carnaval, A. (eds) *Neotropical Diversification: Patterns and Processes. Fascinating Life Sciences*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31167-4_10.

- [3] Laranjeiras, T. O., Naka, L. N., Leite, G. A., & Cohn-Haft, M. (2021). Effects of a major Amazonian river confluence on the distribution of floodplain forest avifauna. *Journal of Biogeography*, 48, 847–860. <https://doi.org/10.1111/jbi.14042>.
- [4] Val P, Figueiredo J, Melo G, Flantua SGA, Quesada CA, Fan Y, Albert JS, Guayasamin JM., Hoorn C 2021. Chapter 1: Geological History and Geodiversity of the Amazon. In: Nobre C, Encalada A, Anderson E, Roca Alcázar FH, Bustamante M, Mena C, Peña-Claros M, Poveda G, Rodríguez JP, Saleska S, Trumbore S, Val AL, Villa Nova L, Abramovay R, Alencar A, Rodríguez Alza C, Armenteras D, Artaxo P, Athayde S, Barretto Filho HT, Barlow J, Berenguer E, Bortolotto F, Costa FA, Costa MH, Cuví N, Fearnside PM, Ferreira J, Flores BM, Frieri S, Gatti LV, Guayasamin JM, Hecht S, Hirota M, Hoorn C, Josse C, Lapola DM, Larrea C, Larrea-Alcazar DM, Lehm Ardaya Z, Malhi Y, Marengo JA, Melack J, Moraes R M, Moutinho P, Murmis MR, Neves EG, Paez B, Painter L, Ramos A, Rosero-Peña MC, Schmink M, Sist P, ter Steege H, Val P, van der Voort H, Varese M, Zapata-Ríos G (Eds). *Amazon Assessment Report 2021*. United Nations Sustainable Development Solutions Network, New York, USA. Available from <https://www.theamazonwewant.org/spa-reports/>.
- [5] Costa MH, Borma LS, Espinoza JC, Macedo M, Marenjé JA, Marra DM, Ometto JP, Gatti LV. 2021. Chapter 5: The physical hydroclimate system of the Amazon. In: Nobre C, Encalada A, Anderson E, Roca Alcázar FH, Bustamante M, Mena C, Peña-Claros M, Poveda G, Rodríguez JP, Saleska S, Trumbore S, Val AL, Villa Nova L, Abramovay R, Alencar A, Rodríguez Alza C, Armenteras D, Artaxo P, Athayde S, Barretto Filho HT, Barlow J, Berenguer E, Bortolotto F, Costa FA, Costa MH, Cuví N, Fearnside PM, Ferreira J, Flores BM, Frieri S, Gatti LV, Guayasamin JM, Hecht S, Hirota M, Hoorn C, Josse C, Lapola DM, Larrea C, Larrea-Alcazar

- DM, Lehm Ardaya Z, Malhi Y, Marjago JA, Melack J, Moraes R M, Moutinho P, Murmis MR, Neves EG, Paez B, Painter L, Ramos A, Rosero-Peña MC, Schmink M, Sist P, ter Steege H, Val P, van der Voort H, Varese M, Zapata-Ríos G (Eds). Amazon Assessment Report 2021. United Nations Sustainable Development Solutions Network, New York, USA. Available from <https://www.theamazonwewant.org/spa-reports/>.
- [6] Venticinque, E., Forsberg, B., Barthem, R., Petry, P., Hess, L., Mercado, A., Cañas, C., Montoya, M., Durigan, C., and Goulding, M.: An explicit GIS-based river basin framework for aquatic ecosystem conservation in the Amazon, *Earth Syst. Sci. Data*, 8, 651–661, <https://doi.org/10.5194/essd-8-651-2016>, 2016.
- [7] Junk WJ, Piedade MTF, Lourival R, Wittmann F, Kandus P., Lacerda LD, Bozelli RL, Esteves FFA, Nunes da Cunha C, Maltchik L, Schongart J, Schaeffer-Novelli Y, Agostinha AA. 2014. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. *Aquatic Conservation: marine and freshwater ecosystems*. 24: 5-22.
- [8] Moraes R M, Correa SB, Doria CRC, Duponchelle F, Miranda G, Montoya M, Phillips OL, Salinas N, Silman M, Ulloa Ulloa C, Zapata-Ríos G, Arieira J, ter Steege H. 2021. Chapter 4: Biodiversity and Ecological Functioning in the Amazon. In: Nobre C, Encalada A, Anderson E, Roca Alcazar FH, Bustamante M, Mena C, Peña-Claros M, Poveda G, Rodriguez JP, Saleska S, Trumbore S, Val AL, Villa Nova L, Abramovay R, Alencar A, Rodríguez Alza C, Armenteras D, Artaxo P, Athayde S, Barretto Filho HT, Barlow J, Berenguer E, Bortolotto F, Costa FA, Costa MH, Cuvil N, Fearnside PM, Ferreira J, Flores BM, Frieler S, Gatti LV, Guayasamin JM, Hecht S, Hirota M, Hoorn C, Josse C, Lapola DM, Larrea C, LarreaAlcazar DM, Lehm Ardaya Z, Malhi Y, Marengo JA, Melack J, Moraes R M, Moutinho P, Murmis MR, Neves EG, Paez B, Painter L, Ramos A, Rosero-Peña MC, Schmink M, Sist P, ter Steege H, Val P, van der Voort H, Varese M, Zapata-Ríos G (Eds). Amazon Assessment Report 2021. United Nations Sustainable Development Solutions Network, New York, USA. Available from <https://www.theamazonwewant.org/spa-reports/>. DOI: 10.55161/IKRT9380.
- [9] Junk, W.J. 1980. Áreas inundáveis - Um desafio para Limnologia. *Acta Amaz.* 10 (4).
- [10] Melack, J.M.; Coe, M. 2021. Amazon floodplain hydrology and implications for aquatic conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, Volume 31, Issue 5 p. 1029-1040. <https://doi.org/10.1002/aqc.3558>.
- [11] Figueroa SN and Nobre CA. 1990. Precipitation distribution over central and western tropical South America. *Climanálise* 5: 36–45.
- [12] Espinoza JC, Guyot JL, Ronchail J, et al. 2009. Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon basin (19742004). *J Hydrol* 375: 297–311.
- [13] Espinoza JC, Chavez S, Ronchail J, et al. 2015. Rainfall hotspots over the southern tropical Andes: Spatial distribution, rainfall intensity, and relations with large-scale atmospheric circulation. *Water Resour Res* 51: 3459–75.
- [14] Junk, W. J.; Piedade, M.T.F; Schongart, J.; Cohn-Haft, M.; Adeney, M; Wittmann, F. 2011. A classification of major naturally occurring Amazonian lowland wetlands. *Wetlands* (Wilmington, N.C.), v. 31, p. 623-640.
- [15] Wittmann, F., & Junk, W. J. 2016. The Amazon River basin. *The Wetland book II: Distribution, description and conservation*, 1-16.
- [16] Mourão, K.R., Sousa Filho, P.W.M.; Alves, P. J., Frédou, F.L. 2014. Priority areas for the conservation of the fish fauna of the Amazon Estuary in Brazil: A multicriteria approach. *Ocean & Coastal Management*, Volume 100, 116-127. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.08.007>.

- [17] Junk, W.J. 2013. *The Central Amazon Floodplain: Ecology of a Pulsing System*. Springer: Berlin.
- [18] Encalada, A. C., A. S. Flecker, N. L. Poff, E. Suárez, G. A. Herrera-R, B. Ríos-Touma, S. Jumani, E. I. Larson, and E. P. Anderson. 2019. A global perspective on tropical montane rivers. *Science* 365:1124.
- [19] Giovannettone, J. P., and A. P. Barros, 2009: Probing Regional Orographic Controls of Precipitation and Cloudiness in the Central Andes Using Satellite Data. *J. Hydrometeor.*, 10, 167–182, <https://doi.org/10.1175/2008JHM973.1>.
- [20] Poveda, G; Jaramillo, L.; Vallejo, L.F. 2013. Seasonal precipitation patterns along pathways of South American low-level jets and aerial rivers. *Water Resources Research* Volume 50, Issue 1 p. 98-118. <https://doi.org/10.1002/2013WR014087>.
- [21] Espinoza, J.C; Chavez, S.; Ronchail, J.; Junquas, C.; Takahashi, K; Lavado, W. 2015. Rainfall hotspots over the southern tropical Andes: Spatial distribution, rainfall intensity, and relations with large-scale atmospheric circulation. *Water Resources Research*, Vol. 51, Issue 5, p. 3459-3475. <https://doi.org/10.1002/2014WR016273>.
- [22] Chavez, S.P; Takahashi, K. 2017. Orographic rainfall hot spots in the Andes-Amazon transition according to the TRMM precipitation radar and in situ data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. Vol. 122, Issue 11, p. 5870-5882. <https://doi.org/10.1002/2016JD026282>.
- [23] Wittmann H.; von Blanckenburg, F; Maurice L; Guyot, J.; Filizola, N.; Kubik, P.W. 2011. Sediment production and delivery in the Amazon River basin quantified by in situ-produced cosmogenic nuclides and recent river loads. *GSA Bulletin*; 123 (5-6): 934–950.
- [24] Meade, R.H., Dunne, T., Richey, J.E., Santos, U., and Salati, E., 1985, Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon River of Brazil: *Science*, v. 228, p. 488–490, doi: 10.1126/science.228.4698.488.
- [25] Baigún, C. R. M.; Valbo-Jørgensen, J. (dirs.) 2023. *La situación y tendencia de las pesquerías continentales artesanales de América Latina y el Caribe*. FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura N.º 677. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc3839es>.
- [26] Junk, W.F. 2001. The flood pulse concept of large rivers: learning from the tropics, *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 27:7, 3950-3953, DOI: 10.1080/03680770.1998.11901733.
- [27] Martin, A. R.; V. M. F. da Silva. 2004. River dolphins and flooded forest: seasonal habitat use and sexual segregation of botos (*Inia geoffrensis*) in an extreme cetacean environment. *Journal of Zoology*, 263, 295–305. <https://doi.org/10.1017/S095283690400528X>.
- [28] Caldas, B.; Thieme, M. L. Shahbol, N.; Coelho, M. E.; Grill, G.; Van Damme, P. A.; Aranha, R.; Cañas, C.; Fagundes, C. K.; Franco-Leon, N.; Herrera-Collazos, E. E.; Jézéquel, C. E.; Montoya, M.; Mosquera-Guerra, F.; Oliveira-da-Costa, M.; Paschoalini, M.; Petry, P.; Oberdorff, T.; Trujillo, F.; Tedesco, P. A.; Ribeiro, M. C. L. B. 2022. Identifying the current and future status of freshwater connectivity corridors in the Amazon Basin. *Conservation Science and Practice*, 5(1), e12853. <https://doi.org/10.1111/csp2.12853>.
- [29] Val, A.L; Almeida-Val, V. M. F. 2012. *Fish of the Amazon and their Environment: Physiological and Biochemical Aspect*. Berlin: Springer, 2012.
- [30] Correa, A., Ochoa-Tocachi, B. F., Birkel, C., Ochoa-Sánchez, A., Zogheib, C., Tovar, C., & Buytaert, W. 2020. A concerted research effort to advance the hydrological understanding

- of tropical páramos. *Hydrological Processes*, 34(24), 4609–4627. <https://doi.org/10.1002/hyp.13904>.
- [31] Araújo-Lima, C.A.R.M. and Goulding, M. (1998) *So fruitful a fish. Ecology, Conservation, and Aquaculture of the Amazon's tambaqui*, Columbia University Press, New York.
- [32] Staal, A.; Tuinenburg OA; Bosmans JHC; et al. 2018. Forest- rainfall cascades buffer against drought across the Amazon. *Nat Clim Chang* 8: 539–43.
- [33] Venticinque, E.; Forsberg, B; Barthem, R.B.; Petry, P.; Hass, L.; Mercado, A.; Canas, C.; Montoya, M.; Durigan, C.; Goulding, M. 2016. SNAPP Western Amazon Group - Amazon Aquatic Ecosystem Spatial Framework. Knowledge Network for Biocomplexity. <https://doi.org/10.5063/F1BG2KX8>.
- [34] Espinoza Villas, J.C.; Guyot, J.L.; Ronchail, J.; Cochonneau, G.; Filizola, N.; Fraizy, P.; Labat, D.; Oliveira, E.; Ordoñez, J. J.; Vauchel, P. 2009. Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon basin (1974–2004). *Journal of Hydrology*, Vol. 375, Issues 3–4, p. 297–311. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.03.004>.
- [35] Fleischmann, A.S. et al. 2022. How much inundation occurs in the Amazon River basin? *Remote Sensing of Environment*, Vol. 278. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113099>.
- [36] Arraut, J.M; Nobre, C.; Barbosa, H.M.J; Obregon, G.; Marengo, J. 2012. Aerial Rivers and Lakes: Looking at Large-Scale Moisture Transport and Its Relation to Amazonia and to Subtropical Rainfall in South America. *J. Climate*, 25, 543–556.
- [37] Azevedo, J.H; Campos, J.E.G. 2021. Flow patterns and aquifer recharge controls under Amazon rainforest influence: The case of the Alter do Chão aquifer system. *Journal of South American Earth Sciences*. V. 112.
- [38] Espinoza Villar, J.C; Ronchail, J.R; Guyot, J.P.; Cochonneau, G; Naziano, F.; Lavado, W.; Oliveira, E.; Pombosa, R.; Vauchel, P. 2009. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). *International Journal of Climatology*, Vol. 29, Issue 11, p. 1574–1594. <https://doi.org/10.1002/joc.1791>.
- [39] Castello, L.; Macedo, N. M. 2016. Large-scale degradation of Amazonian freshwater ecosystems. *Global Change Biology*, Vol. 22, p. 900–1007.
- [40] Clement, C. R., Denevan, W. M., Heckenberger, M. J., Junqueira, A. B., Neves, E. G., Teixeira, W. G., & Woods, W. I. 2015. The domestication of Amazonia before European conquest. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1812), 20150813. <https://doi.org/10.1098/rspb.2015.0813>.
- [41] Neves, E.G., Furquim, L.P., Levis, C., Rocha, B.C., Watling, J.G., Almeida, F.O., Betancourt, C.J., Junqueira, A.B., Moraes, C.P., MorcoteRios, G., Shock, M.P., EK, T., 2021. Chapter 8: Peoples of the Amazon before European colonization, in: Nobre, C.A., Encalada, A., Anderson, E., Roca Alcazar, F.H., Bustamante, M., Mena, C., Peña-Claros, M., Poveda, G., Rodriguez, J.P., Saleska, S.R., Trumbore, S.E., Val, A.L., Villa Nova, L., Abramovay, R., Alencar, A., Rodríguez Alzza, C., Armenteras, D., Artaxo, P., Athayde, S., Barretto Filho, H.T., Barlow, J., Berenguer, E., Bortolotto, F., Costa, F.A., Costa, M.H., Cuvi, N., Fearnside, P.M., Ferreira, J., Flores, B.M., Frieri, S., Gatti, L.C., Guayasamin, J.M., Hecht, S.B., Hirota, M., Hoorn, C., Josse, C., Lapola, D.M., Larrea, C., Larrea-Alcazar, D.M., Lehm Ardaya, Z., Malhi, Y., Marengo, J.M., Melack, J., Moraes, M., Moutinho, P., Murmis, M.R., Neves, E.G., Paez, B., Painter, L., Ramos, A., Rosero-Peña, M.C., Schmink, M., Sist, P., ter Steege, H., Val, P., van der Voort, H., Varese, M., Zapata-Ríos, G. (Eds.), *Amazon Assessment Report 2021*. United Nations Sustainable Development Solutions Network, New York. DOI: 10.55161/LXIT5573

- [42] Campos-Silva, J.V., Hawes, J.E., Andrade, P.C.M. et al. 2018. Unintended multispecies co-benefits of an Amazonian community-based conservation programme. *Nat Sustain* 1, 650–656. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0170-5>.
- [43] Barletta, M et al. 2010. Fish and aquatic habitat conservation in South America: a continental overview with emphasis on neotropical systems. *Journal of Fish Biology*, Vol. 76, issue 9: 2118-2176.
- [44] Sirén, A; Valbo-Jørgensen, J. 2022. Quantifying fish catches and fish consumption in the Amazon Basin. *Aquatic Ecosystem Health & Management*; 25 (1): 59–71. doi: <https://doi.org/10.14321/ae hm.025.01.59>.
- [45] Clement CR, De Cristo-Araújo M, Coppens D'Eeckenbrugge G, Alves Pereira A, Picanço-Rodrigues D. 2010. Origin and Domestication of Native Amazonian Crops. *Diversity*, 2(1):72-106. <https://doi.org/10.3390/d2010072>.
- [46] Rocha, T.A.H., Silva, L.L., Wen, F.H. et al. 2023. River dataset as a potential fluvial transportation network for healthcare access in the Amazon region. *Sci Data* 10, 188. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02085-3>.
- [47] Athayde S. 2014. Indigenous Peoples, Dams and Resistance in Brazilian Amazonia. *Tipiti: Journal of the Society for the Anthropology of Lowland South America*, 12 (2).
- [48] Miranda-Chumacero G.; Venticinque E. 2022. Identificación de potenciales zona de desove del dorado (*Brachyplatystoma rousseauxii*) en la cuenca Madeira. *Neotropical Hydrobiology and Aquatic Conservation*, 3 (1): 91-103. <https://doi.org/10.55565/nhac.tmti7029>.
- [49] Araújo, C.V.M.; González-Ortegón, E.; Pintado-Herrera, M.; Biel-Maeso, M.; Lara-Martin, P. A.; Tovar-Sánchez, A.; Blasco, J. 2019. Disturbance of ecological habitat distribution driven by a chemical barrier of domestic and agricultural discharges: An experimental approach to test habitat fragmentation. *Science of The Total Environment*. Volume 651, Part 2, p. 2820-2829. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.200>.
- [50] Grill, G., Lehner, B., Thieme, M., Geenen, B., Tickner, D., Antonelli, F., Babu, S., Borrelli, P., Cheng, L., Crochetiere, H., Ehalt Macedo, H., Filgueiras, R., Goichot, M., Higgins, J., Hogan, Z., Lip, B., McClain, M. E., Meng, J., Mulligan, M., & Zarfl, C. 2019. Mapping the world's free-flowing rivers. *Nature*, 569(7755), 215–221. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1111-9>.
- [51] Winemiller, K. O., McIntyre, P. B., Castello, L., Fluet Chouinard, E., Giarrizzo, T., Nam, S., Baird, I. G., Darwall, W., Lujan, N. K., Harrison, I., Stiassny, M. L. J., Silvano, R. A. M., Fitzgerald, D. B., Pelicice, F. M., Agostinho, A. A., Gomes, L. C., Albert, J. S., Baran, E., Petrere, M., ... Saenz, L. 2016. Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong. *Science*, 351, 128–129.
- [52] 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. (2017). Damming the rivers of the Amazon basin. *Nature*, 546, 363–369.
- [53] 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, aa1642.
- [54] Timpe, K.; Kaplan, D. 2017. The changing hydrology of a dammed Amazon. *Science Advances*, 3, e1700611.
- [55] Chaudhari, S., & Pokhrel, Y. 2021. Alteration of River Flow and Flood Dynamics by Existing and Planned Hydropower Dams in

- the Amazon River Basin. *Water Resources Research*, 58, e2021WRO30555. <https://doi.org/10.1029/2021WRO30555>.
- [56] Pavanato, H. J., Melo-Santos, G., Lima, D. S., Portocarrero-Aya, M., Paschoalini, M., Mosquera, F., Trujillo, F., Meneses, R., Marmontel, M., & Maretti, C. 2016. Risks of dam construction for South American river dolphins: a case study of the Tapajós River. *Endangered Species Research*, 31, 47-60. <https://doi.org/10.3354/esr00751>.
- [57] Hauser, M.; Duponchelle, F.; Hermann, T. W.; Limburg, K. E.; Castello, L.; Stewart, D. J.; ... & Doria, C. R. 2020. Unmasking continental natal homing in goliath catfish from the upper Amazon. *Freshwater biology*, 65(2), 325-336.
- [58] Resende, A. F.; Schöngart, J.; Streher, A. S.; Ferreira-Ferreira, J.; Piedade, M. T. F.; Silva, T. S. F. 2019. Massive tree mortality from flood pulse disturbances in Amazonian floodplain forests: The collateral effects of hydropower production. *Science of The Total Environment*. Vol. 659, p. 587-598. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.208>.
- [59] Almeida, R.M., Shi, Q., Gomes-Selman, J.M. et al. 2019. Reducing greenhouse gas emissions of Amazon hydropower with strategic dam planning. *Nat Commun* 10, 4281. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12179-5>.
- [60] Stegmann L.F.; Leitão R.P.; Zuanon J.; Magnusson, W.E. 2019. Distance to large rivers affects fish diversity patterns in highly dynamic streams of Central Amazonia. *PLoS One* 14: e0223880.
- [61] Maia, L.M.S. 2012. BR 319: Impacto da Estrada na Qualidade Ambiental dos Cursos d'Água. PhD thesis in forestry engineering. Lávras, Minas Gerais, Brazil: Universidade Federal de Lávras (UFLA). 119 pp. <https://bit.ly/co/6rpf>.
- [62] Fearnside, P.M.; Graça, P. M. L. A.; Keizer, E. W. H.; Maldonado, F. D.; Barbosa, R. I.; Nogueira, E. M. 2009. Modelagem de desmatamento e emissões de gases de efeito estufa na região sob influência da rodovia Manaus-PortoVelho (BR-319). *Rev. Bras. Meteorol*, Vol. 24, Issue 2. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862009000200009>.
- [63] Goulding, M; Barthem, R.; Ferreira, E. 2003. *The Smithsonian Atlas of the Amazon*. Washington, D.C.: Smithsonian Books (Cartographer: Roy Duenas).
- [64] RAISG - Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada. 2023. Hidrelétricas. Digital map. Available in: <https://www3.socioambiental.org/geo/RAISGMapaOnline/>.
- [65] Piedade, M. T. F.; Wittmann, F.; Schöngart, J.; Junk, W.J.; Parolin, P. 2024. Wetlands Ecosystems. *Encyclopedia of Biodiversity*, Third Edition, 3ed. The Netherlands: Elsevier, v. 1, p. 581-599.
- [66] Castello, L.; Macedo, M. N. 2016. Large-scale degradation of Amazonian freshwater ecosystems. *Global Change Biology*. Vol. 22, Issue 3 p. 990-1007. <https://doi.org/10.1111/gcb.13173>.
- [67] MapBiomias Project – Águas Collection from the Annual Series of Land Cover and Use Maps of Brazil, accessed on 06/17/2024 through the link: <https://plataforma.agua.mapbiomas.org/water/-16.608435/-43.419253/2.8/brazil/country/O/biome/surface/2000/2022>.
- [68] Sonter, L.J., Herrera, D., Barrett, D.J. et al. 2017. Mining drives extensive deforestation in the Brazilian Amazon. *Nat Commun* 8, 1013. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-00557-w>.
- [69] von Randow, R.C.S.; von Randow, C.; Hutjes, R.W.A. et al; 2012. Evapotranspiration of deforested areas in central and southwestern Amazonia. *Theor Appl Climatol* 109, 205–220. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0570-1>.
- [70] Wongchuig S.; Espinoza J.C.; Condom T.;

- Junquas C.; Sierra J.P.; Fita L.; Sörensson A.; Polcher J. 2023. Changes in the surface and atmospheric water budget due to projected Amazon deforestation: Lessons from a fully coupled model simulation, *Journal of Hydrology*, Volume 625, 130082. doi:10.1016/j.jhydrol.2023.130082.
- [71] Staal, A.; Tuinenburg, O.A.; Bosmans, J.H.C. et al. 2020. Forest-rainfall cascades buffer against drought across the Amazon. *Nature Clim Change* 8, 539–543. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0177-y>.
- [72] Nobre, C.A.; Sampaio, G.; Borma, L. S.; Castilla-Rubio, J.C.; Silva, J.S.; Cardoso, M. 2016. Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. *PNAS*, Vol 113, issue 39. <https://doi.org/10.1073/pnas.1605516113>.
- [73] Sierra, J. P.; Junquas, C.; Espinoza, J. C.; Segura, H.; Condom, T.; Andrade, M. et al. 2021. Deforestation impacts on Amazon-Andes hydroclimatic connectivity. *Climate Dynamics*, 58(9), 2609–2636. <https://doi.org/10.1007/s00382-021-06025-y>.
- [74] Agudelo, J.; Espinoza, J.C.; Junquas, C.; Arias, P. A.; Sierra, J. P.; Olmo, M. E. 2023. Future projections of low-level atmospheric circulation patterns over South Tropical South America: Impacts on precipitation and Amazon dry season length. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. <https://doi.org/10.1029/2023JD038658>.
- [75] Baker, J. C. A. et al. 2021. Robust Amazon precipitation projections in climate models that capture realistic land-atmosphere interactions. *Environ. Res. Letters*, Vol. 16, Issue 7. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abfb2e>.
- [76] Datry, T.; Boulton, A. J.; Fritz, K.; Stubbington, R.; Cid, N. Crabot, J.; Tockner, K. 2023. Non-perennial segments in river networks. *Nature Reviews Earth & Environment*, Volume 4: 815–830.
- [77] Campos, D.; Braz-Mota, S.; Val, A.L.; Almeida-Val, V.M.F. 2019. Predicting thermal sensitivity of three Amazon fishes exposed to climate change scenarios. *Ecological Indicators* 101, 533–540.
- [78] Campos, D.; Val, A.L.; Almeida-Val, V.M.F. 2018. The influence of lifestyle and swimming behavior on metabolic rate and thermal tolerance of twelve Amazon forest stream fish species. *Journal of Thermal Biology* 72, 148–154.
- [79] Campos, D.F.; Amanajás, R.D.; Almeida-Val, V.M.F.; Val, A.L. 2021. Climate vulnerability of South American freshwater fish: Thermal tolerance and acclimation. *Journal of Experimental Zoology A* 2021, 1–12.
- [80] Marmontel, M.; Fleischmann, A.; Val, A. L.; Forsberg, B. Safeguard Amazon’s aquatic fauna against climate change. *Nature*, Vol. 625, issue 7995, p. 450–450.
- [81] Prestes L.; Barthem R.; Mello-Filho A.; Anderson E.; Correa S.B.; Couto T.B.D. et al. 2022 Proactively averting the collapse of Amazon fisheries based on three migratory flagship species. *PLoS ONE* 17(3): e0264490. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264490>.
- [82] Barthem R.B.; Petrere M. Jr. 1995. Fisheries and population dynamics of the freshwater catfish *Brachyplatystoma vaillantii* in the Amazon estuary. In: Armantrout N.B. (editor). *Condition of the World’s Aquatic Habitat Proceedings of the World Fisheries Congress, Theme 1 Athens, Greece. 1237: Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd., New Delhi, p. 329–50.*
- [83] Petrere M.; Barthem R.B.; Córdoba E.A.; Gómez B.C. 2004. Review of the large catfish fisheries in the upper Amazon and the stock depletion of piraíba (*Brachyplatystoma filamentosum* Lichtenstein). *Rev Fish Biol Fish*, Vol. 14(4): p. 403–14.
- [84] Heilpern, S. A. et al. 2022. Biodiversity underpins fisheries resilience to exploitation in the Amazon river basin. *Proceedings of the Royal Society*, Vol. 289. <https://doi.org/10.1098/>

rsph.2022.0726.

- [85] Batista J.S.; Alves-Gomes, J.A. 2006. Phylogeography of *Brachyplatystoma rousseauxii* (Siluriformes—Pimelodidae) in the Amazon Basin offers preliminary evidence of the first case of “homing” for an Amazonian migratory catfish. *Gen Mol Res*, Vol. 5(4):p. 723–40.
- [86] Torres-Vitolas, C.A., Harvey, C.A., Cruz-Garcia, G.S. et al. 2019. The Socio-Ecological Dynamics of Food Insecurity among Subsistence-Oriented Indigenous Communities in Amazonia: a Qualitative Examination of Coping Strategies among Riverine Communities along the Caquetá River, Colombia. *Hum Ecol* 47, 355–368. <https://doi.org/10.1007/s10745-019-0074-7>.
- [87] Begossi, A. et al. 2018. Fish consumption on the Amazon: a review of biodiversity, hydropower and food security. *Braz. J. Biol.* 79 (2).
- [88] Blundo-Canto, G., Cruz-Garcia, G.S., Talsma, E.F. et al. Changes in food access by mestizo communities associated with deforestation and agrobiodiversity loss in Ucayali, Peruvian Amazon. *Food Sec.* 12, 637–658 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12571-020-01022-1>.
- [89] Heilpern, S.A. et al. 2021. Declining diversity of wild-caught species puts dietary nutrient supplies at risk. *Sci. Adv.* 7, eabf9967 <https://doi.org/10.1126/sciadv.abf9967>.
- [90] Athayde, S.; Utsunomiya, R.; Victoria-Lacy, L.; Beveridge, C.; Jenkins, C.; Laufer, J.; Heilpern, S.; Olivas, P.; Anderson, E. . 2024. Interdependencies between Indigenous peoples, local communities and freshwater systems in a changing Amazon. Submitted to *Conservation Biology*, under review.
- [91] UNESCO. 2021. The United Nations World Water Development Report 2021: Valuing Water. Paris.
- [92] Melo, M.G.; Silva, B.A.; Costa, G.S.; Silva Neto, J.C.A.; Soares, P.K.; Val, A.L.; Chaar, J.S.; Koolen, H.H.F.; Bataglion, G.A. 2019. Sewage contamination of Amazon streams crossing Manaus (Brazil) by sterol biomarkers. *Env. Pol.* 244, 818–826. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.055>
- [93] Lopes, A.; Rosa-Osman, S. M.; Piedade, M. T. F. 2009. Effects of crude oil on survival, morphology, and anatomy of two aquatic macrophytes from the Amazon floodplains. *Hydrobiology*; 636(1):295-305.
- [94] Brauner, C.J; Ballantyne, C.L.; Vijayan, M.M.; Val, A.L. 1999. Crude oil exposure affects air-breathing frequency, blood phosphate levels and ion regulation in an air-breathing teleost fish, *Hoplosternum littorale*, *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology*, Vol. 123, Issue 2, p. 127-134. [https://doi.org/10.1016/S0742-8413\(99\)00018-3](https://doi.org/10.1016/S0742-8413(99)00018-3).
- [95] Val, A.; Almeida-Val, V. M. F. 1995. *Biology of tropical fishes*. Editora INPA: Manaus.
- [96] Laffon, B.; Pásaro, E.; Valdíglesias, V. 2016. Effects of exposure to oil spills on human health: Updated review. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 19(3–4), 105–128. <https://doi.org/10.1080/10937404.2016.1168730>.
- [97] Gerson, J.R.; Szponar, N.; Zambrano, A.A. et al. 2022. Amazon forests capture high levels of atmospheric mercury pollution from artisanal gold mining. *Nat Commun* 13, 559. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-27997-3>.
- [98] Crespo-Lopez, M. H.; Arrifano, G. P; Oliveira, M. A.; Macchi, B.M.; Lima, R.R.; Nascimento, J.L.M. N; Souza, C. B. A 2023. Mercury in the Amazon: The danger of a single story, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol. 256, 114895. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114895>.
- [99] Basta, P.C.; de Vasconcellos, A.C.S.; Hallwass, G.; Yokota, D.; Pinto, D.d.O.d.R.; de Aguiar, D.S.; de Souza, C.C.; Oliveira-da-Costa, M. 2023.

Risk Assessment of Mercury-Contaminated Fish Consumption in the Brazilian Amazon: An Ecological Study. *Toxics*, 11, 800. <https://doi.org/10.3390/toxics11090800>.

- [100] Driscoll, C. T. et al. 2013. Mercury as a Global Pollutant: Sources, Pathways, and Effects. *Environmental Science & Technology*, Vol 47, issue 10, p. 4967-4983.
- [101] Torkaman, P. 2023. Study of unconventional techniques to eliminate mercury use from artisanal gold mining operations (T). University of British Columbia. Retrieved from <https://open.library.ubc.ca/collections/ubctheses/24/items/1.0431613>.
- [102] Khanjani, M. H.; Mozanzadeh, M. T.; Sharifina, M.; Emerenciano, M. 2023. Biofloc: A sustainable dietary supplement, nutritional value and functional properties. *Aquaculture*, Volume 562. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738757>.
- [103] Alarcon, I. 2024. How solar power is changing life deep in the Amazon. *The Washington Post*, March 2nd. <https://www.washingtonpost.com/climate-solutions/interactive/2024/amazon-solar-panels-ecuador/>.
- [104] Freitas, C.T.; Lopes, P. F. M; Campos-Silva, J.V.; Noble, M. M.; Dyball, R.; Peres, C. A. 2020. Co-management of culturally important species: A tool to promote biodiversity and conservation and human well-being. *People & Nature*, Vol. 2, p. 61-81. <https://doi.org/10.1002/pan3.10064>.
- [105] Koning, A. A.; McINTyre, P. Grassroots reserves rescue a river food web from cascading impacts of overharvest. *Front Ecol Environ* 2021. <https://doi.org/10.1002/fee.229>.
- [106] Abell, R.; Allan, J.D.; Lehner, B. 2007. Unlocking

the potential of protected areas for freshwaters. *Biological Conservation*, Vol. 134, Issue 1, p. 48-63. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.08.017>.

- [107] Campos, M. T.; Nepstad, D. C. 2006. Smallholders, the Amazon's New Conservationists. *Conservation Biology*, 20(5), 1553-1556. <http://www.jstor.org/stable/3879149>.

AFILIACIONES DE LOS AUTORES

Andrea C. Encalada: Universidad San Francisco de Quito, Instituto BIOSFERA, Laboratorio de Ecología Acuática, Oficina Maxwell 317, Quito, Ecuador.

Adalberto L. Val: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Coordenação de Biodiversidade, Laboratório de Ecofisiologia e Evolução Molecular. Avenida André Araújo, 2936, Manaus, Brazil.

Simone Athayde: Florida International University, Department of Global and Sociocultural Studies, 11200 SW 8th St 353 SW, Miami, USA.

Jhan Carlo Espinoza: Directeur de Recherche, Institut de Recherche pour le Développement (IRD); IGE Univ. Grenoble Alpes, IRD, CNRS (UMR 5001 / UR 252) – France; Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Peru..

Marcia Macedo: Woodwell Climate Research Center, 149 Woods Hole Rd, Falmouth, USA.

Mirian Marmontel: Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, Estrada do Bexiga, de 2162 a 2678, Tefé, Brazil.

Guido Miranda: Wildlife Conservation Society Bolivia, Calle Jaime Mendoza No 987, Torre Soleil, La Paz, Bolivia.

Maria Tereza Fernandez Piedade: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Departamento de Biologia Aquática e Limnologia, Avenida André Araújo, 2936, Manaus, Brazil.

Tiago da Mota e Silva: Postdoctoral Internship. Laboratório de Ecofisiologia e Evolução Molecular. Avenida André Araújo, 2936, Manaus, Brazil.

Julia Arieira: Science Panel for the Amazon (SPA). South America Office. Av. Dr. Ademar de Barros, 195 - Jardim São Dimas, São José dos Campos - SP, Brazil

MÁS INFORMACIÓN EN
theamazonwewant.org

SÍGANOS
  [theamazonwewant](https://www.instagram.com/theamazonwewant)

CONTACTO

Secretaría Científico-Técnica del SPA en NY

475 Riverside Drive | Suite 530

New York NY 10115 USA

+1 (212) 870-3920 | spa@unsdsn.org