

AMAZON
CONSERVATION

MAPEANDO EL
**CAMINO DE
LOS RÍOS
VOLADORES**

**CÓMO EL AVANCE DE LA DEFORESTACIÓN
EN LA AMAZONÍA BRASILEÑA AMENAZA EL
CICLO DE LAS LLUVIAS EN PERÚ Y BOLIVIA**

Autores:

B. Bodin (Amazon Conservation), M. Finer (Amazon Conservation), J. C. Espinoza (Institut des Géosciences de l'Environnement (IGE), UGA, IRD, CNRS), J. P. Sierra Perez (University of Côte d'Azur, University of Rennes, CNRS), C. Mattos (Universidade Federal de Santa Catarina/Relva Institute), R. Maranhão (IPAM), Adriana Gasparetti (FAS – Fundação Amazônia Sustentável), D.M. Larrea-Alcázar (Conservación Amazónica-ACEAA)

Los autores agradecen a Corine Vriesendorp (Conservación Amazónica-ACCA), Wei Weng, Julia Péret, John Beavers, Andrés Santana y Helena Ceneviva por la cuidadosa revisión de las versiones anteriores y por sus numerosas sugerencias constructivas.

Este trabajo fue posible gracias al generoso apoyo de la Leo Model Foundation, Jeff y Connie Woodman, la Aristotelian Foundation y otros generosos colaboradores de Amazon Conservation Association.

Créditos y agradecimientos de la publicación

Amazon Conservation Association

Ana Folhadella

Directora de Filantropía y Comunicación

Priscila Steffen

Responsable de Comunicación y Relaciones Públicas

Maria Fernanda Paz Soldán

Especialista en Comunicación y Marketing

Diseño gráfico:

Flavio Forner | Xibé

Traducciones:

Larissa Stoner | Sunny Traduções (Portugués y español)

Cómo citar:

Amazon Conservation. (2026). Mapeando el camino de los ríos voladores - Cómo el avance de la deforestación en la Amazonía brasileña amenaza el ciclo de las lluvias en Perú y Bolivia.

Amazon Conservation. Disponible en www.amazonconservation.org/publication



Prólogo de Carlos Nobre

La Amazonía - el mayor bosque tropical del planeta - es un sistema vivo que regula el clima global y alberga una biodiversidad sin paralelo. También genera flujos atmosféricos de humedad en toda América del Sur, conocidos como ríos voladores. Estos ríos invisibles transportan agua a lo largo del continente, sosteniendo los regímenes de lluvia que mantienen los bosques, la agricultura y las sociedades mucho más allá de los límites amazónicos.

En las últimas décadas, la evidencia científica ha mostrado con claridad que este sistema se acerca a un punto crítico. Junto con mi querido colega Tom Lovejoy, quien lamentablemente falleció a finales de 2021, he venido advirtiendo que la deforestación continua y el cambio climático pueden empujar a la Amazonía hacia un punto de inflexión, en el cual grandes extensiones del bosque quizá ya no logren mantenerse. El debilitamiento de los ríos voladores es un elemento central de este riesgo. A medida que disminuye la cobertura forestal, se reduce la capacidad del bosque de reciclar humedad, aumentando la probabilidad de sequías y acelerando un posible colapso sistémico.

Este informe técnico de Amazon Conservation representa una contribución importante y oportuna para este campo de conocimiento. Al identificar las áreas de bosque más esenciales para mantener el transporte atmosférico de humedad, el estudio ofrece un camino práctico que transforma el conocimiento científico en acción. Esto nos permite pasar de los llamados genéricos a la conservación a un enfoque más estratégico, que prioriza las áreas esenciales para sostener los regímenes de lluvia y reducir los riesgos climáticos en toda la región.

Para los gobiernos, los financiadores y la comunidad de conservación en un sentido más amplio, el modelo de priorización presentado aquí puede ayudar a alinear políticas, inversiones y esfuerzos de conservación con las realidades de este sistema interconectado. Estas conclusiones y recomendaciones son particularmente relevantes para la Agenda de Cooperación Estratégica de la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA). La responsabilidad por la conservación de la Amazonía ha sido ampliamente debatida en foros globales. Ahora, es fundamental que sus dimensiones regionales de gestión sean comprendidas y puestas en práctica con la misma urgencia.

La ventana de oportunidad para actuar aún está abierta, pero se está estrechando rápidamente. Fortalecer la resiliencia de los ríos voladores mediante acciones de conservación prioritarias y respaldadas por la ciencia es un paso decisivo en la dirección correcta. Este informe técnico ofrece una guía valiosa y aplicable para avanzar en ese camino.

Carlos A. Nobre

Resumen Ejecutivo

Los **ríos voladores** son flujos atmosféricos de humedad que se desplazan desde el Atlántico tropical a través de la Cuenca Amazónica hasta las laderas de los Andes, impulsados por la evapotranspiración de los bosques amazónicos. Los bosques (árboles y vegetación leñosa) y los ecosistemas no forestales (sabana, pastizales y otros) del suroeste de la Amazonía -especialmente en Perú y Bolivia- dependen de este mecanismo para más del 70% de su precipitación anual. La deforestación a lo largo de estas rutas interrumpe el reciclaje de humedad, reduciendo las lluvias en regiones cuyas poblaciones no tienen ninguna influencia sobre las decisiones de uso del suelo que determinan su abastecimiento hídrico.

Este white paper traza las rutas estacionales de los ríos voladores que abastecen las áreas sensibles de Perú y Bolivia, mapea los riesgos de deforestación que amenazan estos flujos, evalúa la vulnerabilidad de las economías y de los ecosistemas del suroeste amazónico ante una posible ruptura de este sistema y presenta seis recomendaciones para los formuladores de políticas en Perú, Bolivia y la comunidad internacional, especialmente en Brasil.

I. Rutas estacionales y riesgos de deforestación

El transporte de humedad hacia el suroeste de la Amazonía ocurre por tres rutas estacionales distintas. Con base en datos de reanálisis ERA5 y en la integración inversa de líneas de corriente, este estudio mapea cada ruta y las superpone con información sobre riesgo de deforestación, categorías de tenencia de la tierra e infraestructura planificada, identificando los tramos donde la continuidad del transporte de humedad es más vulnerable.

La **ruta de la estación seca** es la más crítica. Ya atraviesa áreas ampliamente deforestadas en el sur de Pará, está fragmentada por varios tramos de bosques públicos no destinados y cruza directamente la carretera federal BR-319, cuya inminente pavimentación podría desencadenar hasta 5 millones de hectáreas de deforestación adicional. Como este es el período en que el reciclaje de humedad por la vegetación es más determinante, se trata del corredor de mayor riesgo. La **ruta de la estación de transición** recorre extensas áreas de bosques públicos no destinados en el oeste de la Amazonía que, aunque hoy están bajo menor presión, carecen de protección jurídica capaz de evitar su futura conversión. La **ruta de la estación lluviosa** atraviesa regiones con una protección relativamente sólida y enfrenta riesgos más limitados en el corto plazo. Sin embargo, antes de llegar a Perú y Bolivia, las tres rutas convergen en Acre, donde varios proyectos viales -incluida una posible conexión internacional con Pucallpa, en Perú- pueden comprometer el transporte de humedad a lo largo de todo el año.

II. Exposición del suroeste de la Amazonía a la sequía

La sequía amazónica de 2023–2024 -la más severa jamás registrada- ilustra lo que una reducción sostenida en la funcionalidad de los ríos voladores puede representar. Sus causas fueron múltiples, pero evidencia la magnitud de la exposición en cuatro sectores:

- Agricultura: la producción de soya en Santa Cruz, en Bolivia, cayó un 75%; la cosecha de papa en Puno, en Perú, disminuyó de 998.000 a 596.000 toneladas en un solo año;

el cultivo de arroz en Beni y la agricultura familiar en Madre de Dios fueron gravemente afectados. La fuerte dependencia de la agricultura de secano, con acceso limitado al riego, hace que la región sea particularmente vulnerable a la variabilidad de las precipitaciones.

- **Bosques y medios de vida rurales:** la producción de castaña amazónica -base económica de las comunidades forestales en Madre de Dios y Pando, que sustenta directamente a unas 27.000 personas solo en Perú- es altamente sensible a la sequía. Donde los medios de vida forestales siguen siendo viables, la presión por deforestación tiende a disminuir; donde colapsan, esa presión tiende a aumentar.
- **Ecosistemas y especies:** los Andes Tropicales se encuentran entre las regiones más biodiversas del planeta, con entre el 25% y el 50% de muchos grupos taxonómicos presentes exclusivamente allí. Incluso pequeñas reducciones en la disponibilidad de humedad pueden desencadenar grandes respuestas ecológicas: mortalidad generalizada de árboles, cambios en los regímenes de fuego y liberación de carbono en zonas húmedas andinas que funcionan como importantes sumideros de carbono.
- **Sistemas fluviales recíprocos:** los ríos voladores también alimentan sistemas fluviales que regresan a Brasil. Cerca del 60% del caudal del río Madeira se origina en afluentes bolivianos y peruanos. Durante la sequía de 2023–2024, el Madeira alcanzó su nivel más bajo en 122 años, interrumpiendo la navegación en Porto Velho, reduciendo la generación hidroeléctrica y aislando comunidades. Las consecuencias de la deforestación en Brasil, por lo tanto, repercuten de vuelta en el propio Brasil.

III. Recomendaciones

Este documento presenta seis recomendaciones a gobiernos, financiadores de la conservación e instituciones regionales:

- **Exigir evaluaciones de impacto ambiental y estratégico para proyectos viales que consideren el transporte atmosférico transfronterizo de humedad.** Los procesos de la BR-319 y la BR-364 están en curso. Cualquier desarrollo vial debe incluir evaluaciones de impacto transfronterizo que consideren los efectos socioecológicos sobre Perú y Bolivia, la creación de áreas protegidas a lo largo de los corredores y medidas estrictas contra la apertura de carreteras secundarias, algo especialmente urgente ante la propuesta de flexibilizar el licenciamiento ambiental en Brasil.
- **Incorporar el transporte atmosférico de humedad como criterio explícito para la creación de áreas protegidas y para el financiamiento de la conservación.** Los marcos actuales de planificación no capturan los servicios hidrológicos transfronterizos. Un sexto criterio, basado en la contribución a la funcionalidad de los ríos voladores -operacionalizado mediante las "Zonas Críticas de Humedad Atmosférica"- debe orientar la designación de cerca de 50 millones de hectáreas de Bosques Públicos No Destinados (FPND, la sigla en portugués), donde ocurre hoy entre el 26% y el 30% de la deforestación amazónica. Mecanismos como ARPA, el Fondo Amazonía y el Tropical Forests Forever Fund deben integrar este criterio en sus decisiones de asignación.
- **Acelerar la restauración forestal a gran escala en el este de la Amazonía brasileña, con foco en los corredores degradados de las estaciones seca y de transición.** El sur de Pará es prioritario. Programas como Restaura Amazônia y la meta del PLANAVEG de restaurar 12 millones de hectáreas para 2030 representan un paso inicial importante,

pero las inversiones deben ampliarse, dirigirse a corredores hidrológicos esenciales e integrarse con las políticas climáticas y de uso del suelo.

- **Desarrollar marcos de gobernanza regional que reconozcan la responsabilidad asimétrica de Brasil sobre el sistema de humedad atmosférica.** Brasil controla cerca del 60% de la Cuenca Amazónica y prácticamente todo el flujo de los ríos voladores que abastecen a Perú y Bolivia. La Declaración de Belém fue un avance, pero no estableció metas cuantitativas por país ni responsabilidades diferenciadas. El progreso requiere acuerdos bilaterales o multilaterales vinculantes -inspirados en modelos de gestión de aguas transfronterizas- que definan las obligaciones de Brasil de mantener la cobertura forestal en áreas críticas para el transporte de humedad.
- **Desarrollar estrategias de adaptación climática basadas en ecosistemas en las áreas sensibles del suroeste amazónico.** Las soluciones de adaptación basadas en bosques, ya probadas en Pando, Bolivia, deben ampliarse hacia el norte de Beni, Santa Cruz, La Paz y departamentos equivalentes en Perú, desarrolladas en coordinación entre Brasil, Perú y Bolivia, y diseñadas para considerar explícitamente el riesgo de reducción del transporte atmosférico de humedad, además de otros factores de estrés climático.
- **Invertir en una agenda dirigida de innovación tecnológica e investigación para fortalecer la base de evidencia para políticas públicas.** Las prioridades incluyen: modelar cómo la restauración en el sudeste de la Amazonía mejoraría el transporte de humedad en la estación seca; mejorar el mapeo de los corredores de humedad considerando impactos acumulativos de la deforestación; proyectar cómo el cambio climático alterará las rutas estacionales; expandir redes de monitoreo que conecten precipitación y caudal en el sistema Amazonía-Andes; y fortalecer la capacidad de investigación en los países amazónicos para sistemas de alerta temprana y planificación de adaptación.



Introducción

El fenómeno natural del transporte y del reciclaje de humedad atmosférica -popularizado por la prensa como "ríos voladores" (o "ríos aéreos") - se ha convertido en un concepto central para la conservación de la Amazonía¹. Los ríos voladores corresponden a rutas preferenciales, de gran escala y de largo plazo, por las cuales la humedad atmosférica se desplaza a través de la región. En este proceso, la humedad evaporada sobre el Atlántico tropical es transportada hacia el oeste, atravesando la Amazonía hasta alcanzar los Andes. Estas masas de aire siguen trayectorias distintas a lo largo del año, formando los llamados corredores estacionales.

El transporte de esta humedad a largas distancias es posible gracias a la combinación de los vientos alisios, que soplan de este a oeste de manera constante, y del proceso de reciclaje de humedad: la precipitación que cae sobre los suelos, cuerpos de agua y bosques amazónicos vuelve a evaporarse hacia la atmósfera -incluida la evapotranspiración de la vegetación- lo que permite que la humedad sea transportada aún más hacia el interior del continente.

Las florestas y los ecosistemas del suroeste de la Amazonía en Perú y Bolivia (en adelante denominados "áreas sensibles") dependen de manera particularmente intensa de los ríos voladores, que se forman a miles de kilómetros de distancia sobre el Atlántico y atraviesan la Amazonía brasileña antes de llegar a la región. Estas áreas sensibles también se caracterizan por niveles excepcionalmente altos de biodiversidad y por comunidades con acceso limitado a sistemas de agua potable, lo que las hace aún más vulnerables a los impactos del estrés hídrico. Sin embargo, los ríos voladores que sostienen los bosques, la agricultura y los recursos hídricos de Perú y Bolivia están cada vez más amenazados por la expansión de los frentes de deforestación. **Si la cobertura forestal es eliminada a lo largo de su trayectoria en la Amazonía brasileña, el transporte de humedad podría reducirse de manera sustancial**, o bien cambios en la circulación atmosférica podrían desviar esa humedad hacia otras regiones, comprometiendo la precipitación sobre las áreas sensibles. Además de los efectos locales, un cambio de este tipo puede desencadenar impactos en toda la región, acercando a la Amazonía a su punto de inflexión ecológico.

La comprensión científica sobre la importancia de los ríos voladores como servicio hidrológico ha avanzado rápidamente. Aun así, gran parte de la literatura existente enfatiza sobre todo su papel en el régimen de precipitaciones de las extensas áreas agrícolas del Centro-Oeste brasileño y de la Cuenca del Río de la Plata². Las dependencias transfronterizas ya han sido discutidas, pero generalmente de manera amplia y poco detallada³.

El objetivo de este *white paper* es **establecer prioridades de conservación y restauración forestal basadas en la trayectoria de los ríos voladores sobre áreas bajo riesgo de deforestación**. Para ello, nosotros:

- I. mapeamos la trayectoria de los ríos voladores hasta las áreas sensibles en Perú y Bolivia que dependen de ellos, identificando los tramos a lo largo de ese recorrido que están más amenazados por la deforestación;
- II. evaluamos las vulnerabilidades de estas áreas sensibles -incluida la zona de transición Andes-Amazonía, uno de los mayores hotspots de biodiversidad del mundo y un importante polo de producción agrícola y forestal para Perú y Bolivia- frente a una posible pérdida de funcionalidad de los ríos voladores;
- III. presentamos recomendaciones para reducir el riesgo de interrupción de estos flujos de humedad y fortalecer los marcos de gobernanza, conservación y adaptación necesarios para proteger a las comunidades y ecosistemas que dependen de ellos.

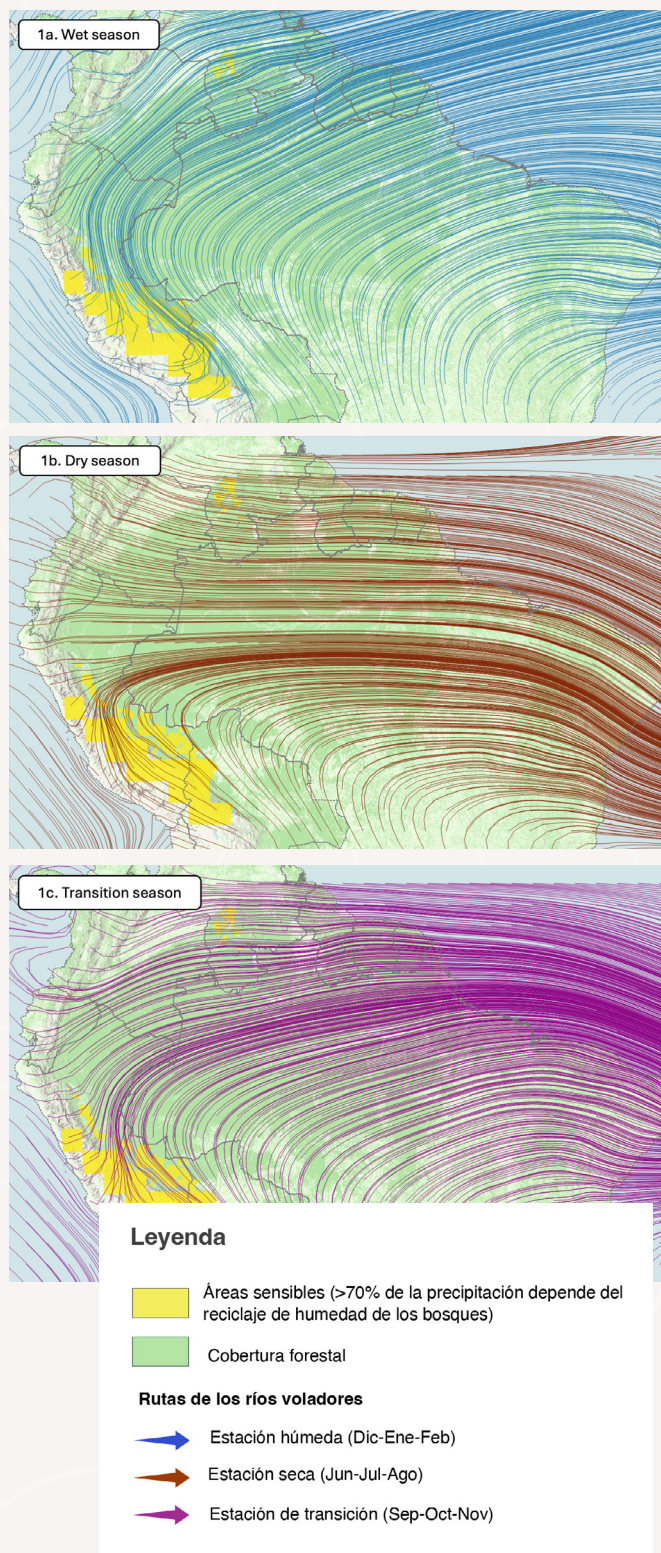
I. Trayectorias de los ríos voladores y riesgos de deforestación

Cómo funcionan los ríos voladores

El transporte atmosférico de humedad desde el Atlántico hacia los Andes, impulsado por el reciclaje de humedad realizado por la vegetación, ocurre en toda la Amazonía. Sin embargo, algunas regiones dependen de este proceso de manera mucho más intensa. Las áreas más vulnerables se encuentran en la zona de transición Andes–Amazonía, incluidas las tierras bajas del suroeste amazónico, que abarcan solo dos de los nueve países de la Cuenca Amazónica: Perú y Bolivia (véase el Anexo I para más detalles). El transporte de humedad hacia estas áreas sensibles sigue patrones estacionales bien definidos, distribuidos en tres períodos principales. La trayectoria de estos ríos voladores varía de manera significativa entre dichos períodos, tal como se documenta en el Informe MAAP n.º 232.

Durante la **estación lluviosa (diciembre–enero–febrero)**, cerca del 50% de toda la precipitación anual ocurre en la región, recargando los acuíferos amazónicos que sostienen la transpiración de los bosques y el caudal de los ríos durante la estación seca⁴. En este período, los flujos de humedad que abastecen las áreas sensibles se originan frente a la costa de las Guayanas y avanzan hacia el suroeste, describiendo un arco a lo largo de las fronteras de Brasil con Venezuela, Colombia y Perú (Figura 1).

Figura 1. Patrón anual de transporte de humedad desde el Atlántico hacia los Andes



Durante la **estación seca (junio–julio–agosto)**, el reciclaje de humedad impulsado por la evapotranspiración se vuelve especialmente crucial para garantizar que la reducida precipitación alcance el oeste de la Amazonía⁵. En esta época, el flujo de humedad hacia las áreas sensibles ingresa desde el Atlántico tropical, frente al Nordeste brasileño, y atraviesa la cuenca por un corredor mucho más estrecho y concentrado, que se curva ligeramente hacia el norte antes de desviarse abruptamente hacia el sur al encontrar los Andes (Figura 1b).

Durante la **estación de transición (septiembre–octubre–noviembre)**, la humedad transpirada por los árboles desempeña un papel decisivo en el inicio de la estación lluviosa⁶. En este período, el flujo de humedad se origina a lo largo de las zonas costeras más septentrionales de Brasil, cerca de las Guayanas, se desplaza hacia el oeste hasta la triple frontera Perú–Brasil–Colombia y luego se curva hacia el sur en dirección a las áreas sensibles (Figura 1c).

Como también se observa en la Figura 1, al alcanzar las áreas sensibles, el aumento en la densidad de las flechas indica una reducción en la velocidad del flujo y una mayor convergencia de humedad, condiciones que favorecen la precipitación y la deposición de la humedad originalmente evaporada sobre el Atlántico y posteriormente reciclada por la evapotranspiración a lo largo de la cuenca. En contraste, las flechas más largas representan vientos más rápidos, capaces de transportar humedad a grandes distancias.

Para más detalles sobre los datos y la metodología utilizados en la elaboración de esta figura, consulte el **Anexo I**.



Cómo la deforestación afecta a los ríos voladores

La evapotranspiración es ampliamente reconocida como un componente central del ciclo hidrológico amazónico y, por lo tanto, del transporte atmosférico de humedad desde el Atlántico hacia los Andes. Aunque este es un campo de investigación en rápida evolución -y algunos aspectos siguen siendo objeto de debate científico- varios mecanismos fundamentales ya están bien establecidos y deben orientar la formulación de políticas públicas:

- La Amazonía es el mayor bosque tropical del planeta. Los bosques reciclan humedad de manera mucho más eficiente que las áreas convertidas en pastizales o cultivos después de la deforestación, lo que resulta en una mayor generación de precipitación⁷.
- Más del 70% de la precipitación en el suroeste amazónico proviene de humedad que se origina en el Atlántico y es reciclada repetidamente por los bosques a lo largo de la cuenca, lo que convierte a esta región en la más dependiente del transporte atmosférico de humedad en toda la Amazonía.
- La importancia del reciclaje de humedad aumenta a medida que se avanza hacia el interior del continente. Aunque el reciclaje ocurre a gran escala de este a oeste, gran parte de la lluvia inducida por la vegetación en el suroeste amazónico es transpirada localmente⁸. Las áreas que ejercen mayor influencia directa sobre esta región se encuentran inmediatamente aguas arriba, en el centro-oeste de la Amazonía, donde la integridad forestal es especialmente crítica para mantener el flujo de humedad⁹.

La eliminación a gran escala de la vegetación a lo largo de las trayectorias de los ríos voladores, especialmente a medida que estos flujos se aproximan a las áreas sensibles, tiene una alta probabilidad de comprometer el reciclaje y el transporte de humedad hacia esas regiones. La pérdida de vegetación reduce directamente la evapotranspiración, mientras que bloques extensos de deforestación también pueden alterar patrones esenciales de la circulación atmosférica, modificando la dirección de los vientos y el transporte horizontal

de humedad desde el Atlántico hacia el interior del continente. Estos efectos incluyen, incluso, cambios en el momento de inicio de la estación lluviosa¹⁰. Dada la magnitud de las posibles consecuencias, se recomienda adoptar un enfoque de precaución, evitando cualquier alteración que pueda perturbar el transporte atmosférico de humedad.

Esta conclusión refuerza la necesidad de evaluar el riesgo de deforestación no solo a la escala de la Amazonía en su conjunto -donde, según se reconoce ampliamente, una pérdida forestal cercana al 20% podría desencadenar un punto de inflexión¹¹ - sino también a lo largo de las trayectorias de los ríos voladores, que abastecen regiones altamente dependientes de estos flujos.



Mapeo de los riesgos de deforestación a lo largo de las rutas estacionales

Para evaluar el riesgo de deforestación a lo largo de las rutas estacionales de los ríos voladores, filtramos las líneas de flujo de transporte de humedad presentadas en la Figura 1, reteniendo únicamente aquellas que convergen hacia las áreas sensibles de Perú y Bolivia en las tres estaciones analizadas. Estas rutas fueron superpuestas con capas de información relevantes, lo que permitió distinguir tramos con **mayor seguridad de cobertura forestal** - como Áreas Naturales Protegidas y Territorios Indígenas- de zonas de **alto riesgo**, incluyendo áreas con deforestación proyectada¹², tierras públicas no destinadas¹³ y segmentos asociados a infraestructura vial existente o planificada¹⁴.

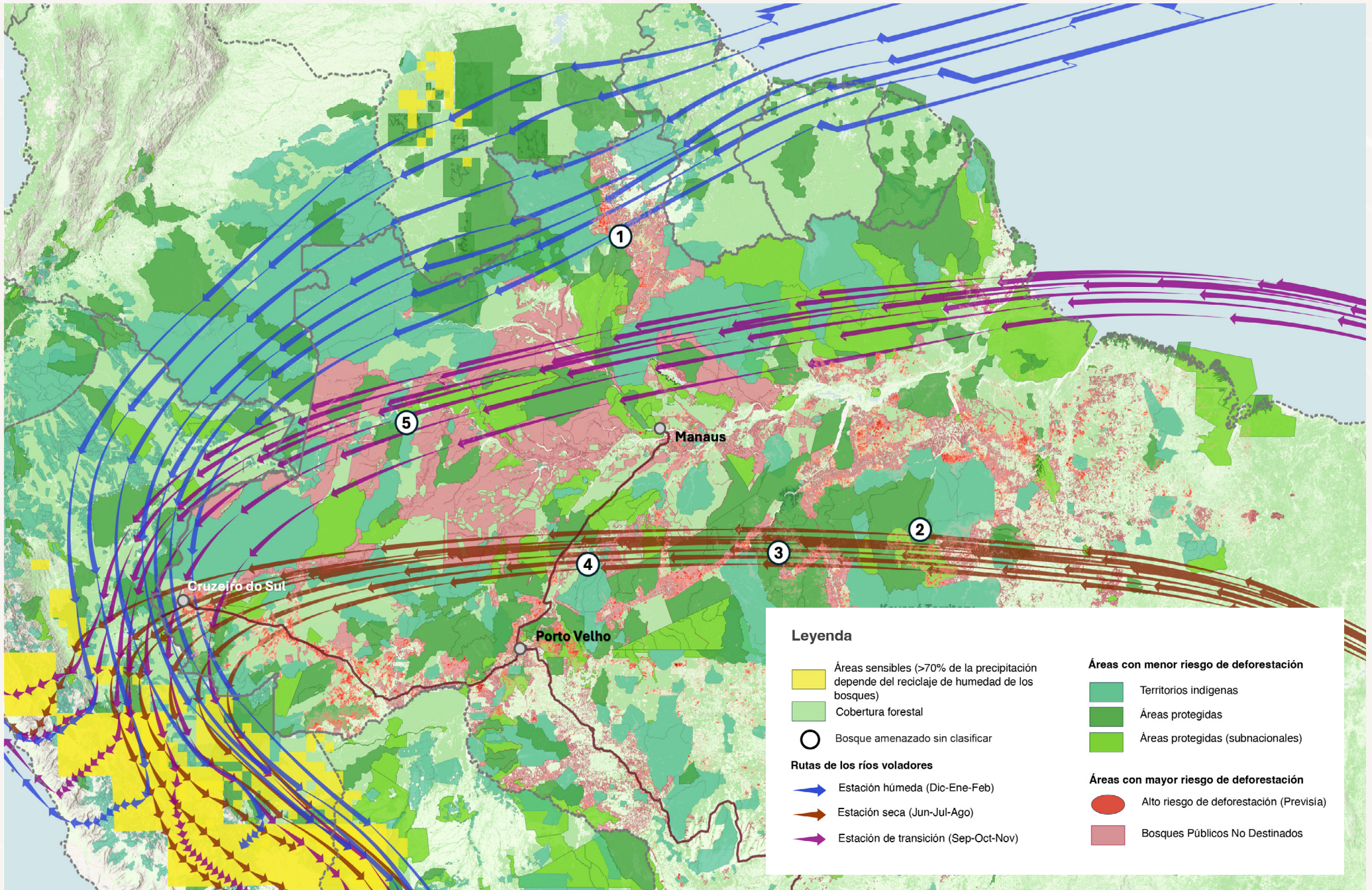
La deforestación en la Amazonía sigue estando fuertemente concentrada en las proximidades de ríos y carreteras: un estudio de 2014 identificó que el 95% de la pérdida forestal ocurrió a menos de 5,5 km de una carretera o a menos de 1 km de un río¹⁵. El conjunto de datos Previsia, que integra estas variables y datos recientes de deforestación para estimar el riesgo futuro, fue utilizado para identificar dónde la cobertura vegetal a lo largo de las rutas estacionales de los ríos voladores presenta mayor probabilidad de ser perdida.

Durante la **estación lluviosa, la ruta de los ríos voladores atraviesa** las Guayanas, Venezuela, la Amazonía colombiana y el departamento de Loreto, en Perú, regiones donde la **cobertura forestal permanece relativamente bien protegida** por Áreas Naturales Protegidas y Territorios Indígenas oficialmente reconocidos. La evidencia muestra que todos los tipos de áreas protegidas -de protección estricta, de uso sostenible y territorios indígenas- han sido eficaces en la reducción de la deforestación¹⁶. La principal interrupción potencial de esta ruta ocurre en Roraima, donde el riesgo de deforestación es elevado en las proximidades de Boa Vista, avanzando sobre Bosques Públicos No Destinados de jurisdicción estatal (**Punto 1, Figura 2**).

Durante la **estación seca, la ruta** ingresa al continente por el Nordeste brasileño y cruza el sur de Pará, donde extensas áreas ya han sido convertidas para la agricultura. Es probable que esta pérdida de vegetación ya esté comprometiendo la funcionalidad de los ríos voladores en este período. Parte de esta funcionalidad puede recuperarse mediante la restauración de la vegetación nativa, ya sea por regeneración natural o por restauración activa. El resto de la ruta mantiene una protección relativamente robusta gracias a Áreas Naturales Protegidas y Territorios Indígenas, aunque presenta interrupciones en tramos estrechos de Bosques Públicos No Destinados con alto riesgo de deforestación (**Puntos 2, 3 y 4, Figura 2**).

La ruta de la estación seca también es interrumpida por la carretera federal BR-319, que conecta Porto Velho con Manaus. La deforestación en los 13 municipios a lo largo de la carretera es monitoreada sistemáticamente y revela un avance continuo de deforestación ilegal sobre Áreas Naturales Protegidas y Territorios Indígenas adyacentes¹⁷. Las organizaciones de conservación históricamente se han posicionado en contra de la pavimentación de la BR-319, citando la recurrente incapacidad de contener la deforestación asociada a otras carreteras amazónicas, a pesar de las promesas de mitigación. Aun así, la aprobación de la Ley n.º 15.300, en diciembre de 2025, abrió el camino para el avance de la pavimentación de la BR-319 y de otras carreteras

Figura 2. Rutas estacionales de los ríos voladores y el riesgo asociado de deforestación



consideradas estratégicas. La ley establece el Licenciamiento Ambiental Especial, un procedimiento acelerado para proyectos de infraestructura, incluyendo explícitamente "obras de reconstrucción y repavimentación de carreteras existentes cuyos tramos representen conexiones estratégicas". La pavimentación del tramo central reabrirla el tráfico durante todo el año, ampliando el riesgo de deforestación a lo largo del trazado. El riesgo proyectado es particularmente elevado en los Bosques Públicos No Destinados Acará y Acarazinho (**Punto 1, Figura 3**), ubicados directamente en la ruta de la BR-319 y en la trayectoria de los ríos voladores durante la estación seca. Los escenarios futuros indican pérdidas forestales extensas, alcanzando hasta 50 km a cada lado de la carretera¹⁸. La pérdida de cobertura forestal en esta magnitud, interrumpiendo directamente la ruta de los ríos voladores, representaría un riesgo sustancial para su funcionalidad.

Durante la **estación de transición, la ruta de los ríos voladores atraviesa el estado de Amapá y la mitad norte de Amazonas**, regiones que históricamente presentan bajas tasas de deforestación. Al avanzar hacia el oeste, la ruta cruza extensas áreas de Bosques Públicos No Destinados en el oeste de Amazonas (**Punto 5, Figura 2**). Aunque actualmente bajo baja presión, la ausencia de una destinación formal hace que estas áreas sean vulnerables a la apropiación ilegal de tierras (*grilagem* en portugués) y a una posible conversión futura, con pérdida de cobertura vegetal que comprometería su capacidad de reciclar humedad.

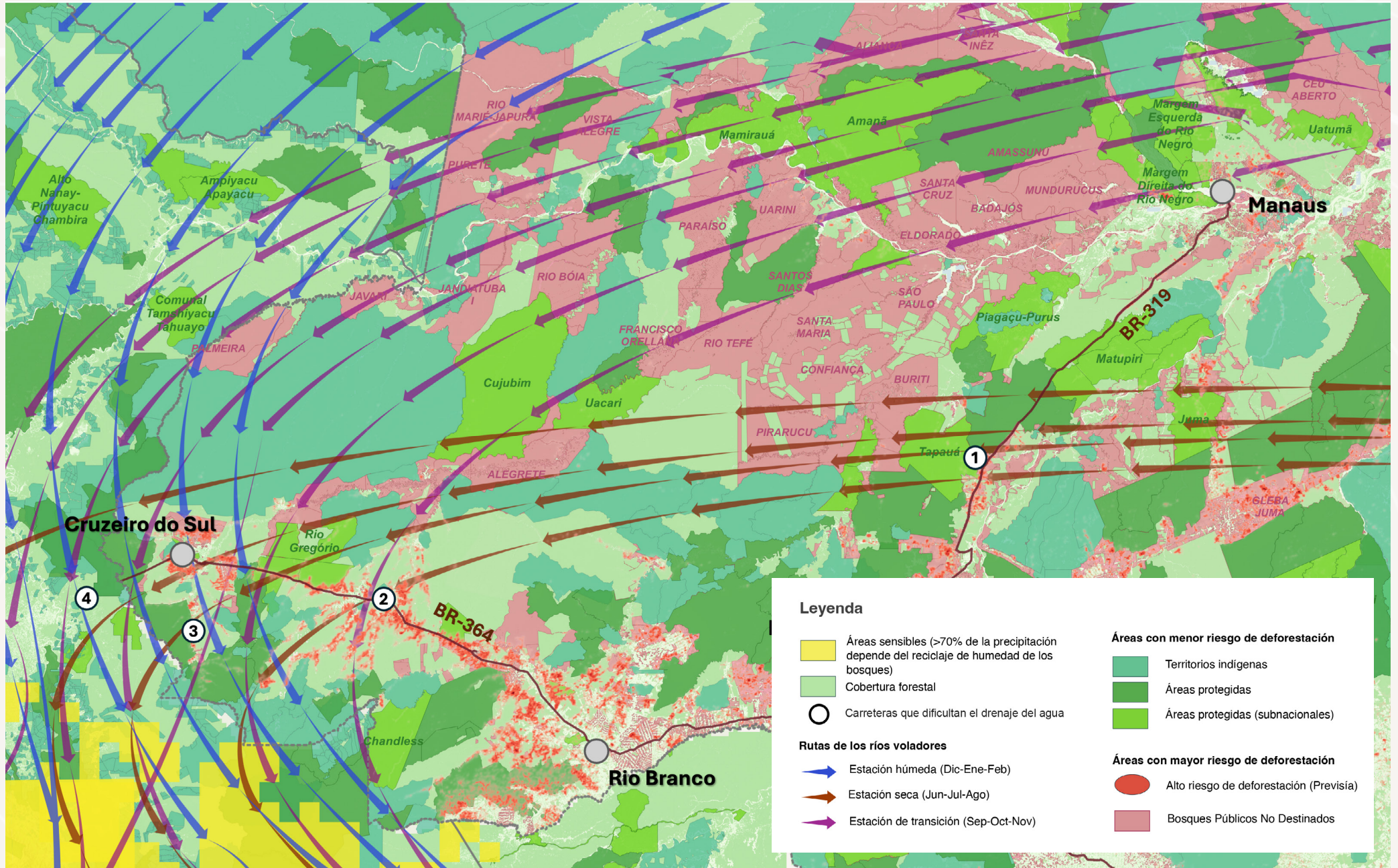
Antes de alcanzar las áreas sensibles en el sur de Perú y el norte de Bolivia, **las tres rutas estacionales convergen sobre la porción occidental de Acre** y la BR-364, al llegar a Cruzeiro do Sul (Figura 3). La región concentra proyectos relevantes de expansión vial: la repavimentación del tramo entre Rio Branco y Cruzeiro do Sul¹⁹ (**Punto 2, Figura 3**); la apertura de nuevas carreteras que conectan Cruzeiro do Sul con ciudades menores cercanas a la frontera con Perú, hoy accesibles solo por vía fluvial²⁰ (**Punto 3, Figura 3**); y, de manera más ambiciosa, la propuesta de una conexión internacional entre Cruzeiro do Sul y Pucallpa, en Perú²¹ (**Punto 4, Figura 3**). Esta conexión crearía un nuevo eje logístico hacia el puerto de Chancay, en el Pacífico, reduciendo la distancia para las exportaciones brasileñas hacia el mercado chino²². A pesar del fuerte apoyo de las autoridades estatales de Acre, el proyecto sigue siendo controvertido, tanto por atravesar áreas protegidas en ambos lados de la frontera²³ como por la fragilidad de su justificación económica frente al volumen de inversiones requeridas.

Aunque algunas inversiones en la mejora de la infraestructura puedan justificarse para ampliar el acceso de comunidades remotas, es fundamental que sus impactos sobre la precipitación en las áreas sensibles sean plenamente considerados en evaluaciones ambientales estratégicas. La reducción de la cobertura vegetal en esta región tendría efectos particularmente significativos, ya que intercepta las tres rutas estacionales de los ríos voladores, lo que implica impactos potenciales a lo largo de todo el año.

Este análisis espacial evidencia la necesidad de establecer prioridades de conservación espacialmente explícitas, incorporando el riesgo de pérdida de cobertura forestal para la continuidad de los ríos voladores, especialmente en los tramos donde el reciclaje de humedad sostiene de manera más directa la precipitación en Perú y Bolivia.

En la Sección III, presentamos recomendaciones para mitigar el riesgo de perturbaciones en las rutas de los ríos voladores. Antes de ello, realizamos una evaluación de riesgo sobre el posible colapso de este sistema para las áreas sensibles del suroeste amazónico.

Figura 3. Rutas de los ríos voladores en las tres estaciones, superpuestas a las destinaciones de uso del suelo y a los principales proyectos de expansión vial



II. Exposición del suroeste amazónico a la interrupción de los ríos voladores

En evaluaciones de riesgo para la adaptación climática y la reducción de desastres, el riesgo suele entenderse como la combinación entre peligro (eventos con potencial de causar daños), exposición (la presencia de personas, ecosistemas o activos susceptibles) y vulnerabilidad (características que aumentan la sensibilidad a los impactos)²⁴. La fuerte dependencia del suroeste amazónico del reciclaje de humedad generado por los bosques amazónicos hace que la región sea **particularmente vulnerable** ante una eventual interrupción de los ríos voladores.

En el Altiplano peruano y boliviano, ya se observa un retraso consistente en el inicio de la estación lluviosa, asociado a cambios en los patrones atmosféricos de gran escala, evidencia de que el clima en transformación ya está afectando la dinámica regional²⁵. La continuidad de la deforestación en la Amazonía brasileña, sumada a las alteraciones climáticas que vienen modificando los regímenes de precipitación a nivel global, configura un **peligro significativo**. La sección siguiente analiza la **exposición de las economías, los medios de vida y los ecosistemas** del suroeste amazónico a la reducción de las lluvias, con foco en cuatro sectores centrales: agricultura; bosques y medios de vida rurales; ecosistemas y biodiversidad; y recursos hídricos.

La Amazonía enfrentó una sequía severa en 2023–2024, con impactos particularmente intensos en el suroeste de la región²⁶. Diversos factores climáticos fueron asociados a este evento excepcional, incluyendo un El Niño de fuerte magnitud y un calentamiento anómalo del Atlántico Norte²⁷. La sequía comenzó con un marcado déficit de precipitación en el Altiplano peruano-boliviano, resultado de una reducción en los flujos de humedad atmosférica provenientes de la Amazonía²⁸. **Aunque no es posible determinar la contribución específica de la deforestación en la Amazonía brasileña a este fenómeno, sus impactos ofrecen evidencias valiosas sobre la exposición de las áreas sensibles a la sequía**, desde la agricultura y la gestión de los recursos hídricos, pasando por el sustento de comunidades que dependen de los recursos forestales, hasta el estado de conservación de ecosistemas endémicos y la hidrología de las cuencas aguas abajo.

Sector agrícola

Las regiones agrícolas de Perú y Bolivia, especialmente aquellas orientadas a la producción de granos para consumo interno y exportación, dependen de patrones estacionales de precipitación que están cada vez más sujetos a interrupciones derivadas de la deforestación a lo largo de las rutas de los ríos voladores. En 2024, la sequía provocó una caída del 75% en la producción de soya en la región boliviana de Santa Cruz, evidenciando la fuerte dependencia de la agricultura mecanizada de secano²⁹. La soya, cultivada en llanuras altamente dependientes de la precipitación y del escurrimiento superficial, representa el 15% de las exportaciones del país³⁰, lo que significa que los eventos de sequía tienen el potencial de afectar directamente la balanza comercial en un contexto económico ya inestable.

Aunque la ganadería sea predominante, la producción de arroz en las llanuras del Beni constituye un sistema agrícola relevante y particularmente vulnerable. Sus ciclos de cultivo dependen de patrones previsibles de inundación y vaciante, sostenidos por una precipitación consistente en las cuencas aguas arriba. La alteración de estos patrones, derivada de cambios en el transporte atmosférico de humedad, puede resultar en pérdidas de cosecha, reducción de productividad e impactos económicos significativos para las comunidades agrícolas. El arroz también desempeña un papel central en la seguridad alimentaria boliviana, especialmente en áreas rurales, donde contribuye directamente al consumo doméstico. En 2019, el cultivo de arroz representaba casi el 5% del área agrícola nacional, situándose entre los principales cultivos alimentarios junto con maíz, trigo y papa³¹.

A pesar de su importancia estratégica, la productividad del arroz ha mostrado variabilidad e incluso una tendencia a la disminución, reflejando desafíos estructurales y climáticos. Un análisis del sistema agroalimentario boliviano (2005–2015) identificó el arroz entre los cereales con tendencia decreciente de producción, lo que generó preocupaciones sobre la estabilidad del abastecimiento interno³². Esta disminución contrasta con la creciente demanda de los hogares urbanos y rurales, reforzando tanto el papel central del arroz para la seguridad alimentaria nacional como la vulnerabilidad del sistema frente a choques ambientales.

Las regiones agrícolas de gran altitud en los Andes, como Puno y Cuzco, también presentan una vulnerabilidad excepcional a la sequía, debido a la fuerte dependencia de la agricultura de secano y a los impactos crecientes del cambio climático. En Puno, esta vulnerabilidad se hizo evidente en la marcada caída de la producción de papa, que pasó de 998 mil toneladas en 2022 a 596 mil toneladas en 2023, en medio de sequías prolongadas³³. La situación se



agrava por el hecho de que alrededor del 64% de la producción de papa en Perú se realiza bajo condiciones de secano, sin acceso a sistemas modernos de riego³⁴.

La vulnerabilidad del sector agrícola también se extiende a la región amazónica de Madre de Dios que, a pesar de su contexto climático distinto, enfrenta desafíos crecientes derivados de la intensificación de la variabilidad climática. La región ha registrado estaciones secas y lluviosas más marcadas, resultando en una mayor frecuencia de inundaciones y sequías que afectan directamente los medios de vida agrícolas³⁵. Los pequeños productores han enfrentado impactos cada vez más severos de estos eventos extremos, a menudo con apoyo limitado de las políticas nacionales de adaptación climática³⁶.

En una escala más amplia, las poblaciones de los Andes peruanos presentan una elevada vulnerabilidad frente a un futuro marcado por extremos de precipitación y sequías, enfrentando riesgos simultáneos de escasez hídrica e inundaciones³⁷. Esta situación se ve agravada por el acceso limitado de muchas comunidades rurales a sistemas de agua potable, lo que las hace aún más susceptibles a los efectos del estrés hídrico sobre sus actividades agrícolas y sobre la vida cotidiana³⁸.

Economías forestales y sustento rural

Los sectores forestales de Perú y Bolivia son altamente sensibles a pequeñas variaciones en las condiciones climáticas anuales. Investigaciones con comunidades forestales en Pando, Bolivia, muestran que los efectos del cambio climático que más comprometen sus medios de vida son el aumento de las temperaturas y la intensificación de las sequías, con impactos directos tanto en la salud como en los recursos forestales de los que dependen³⁹.



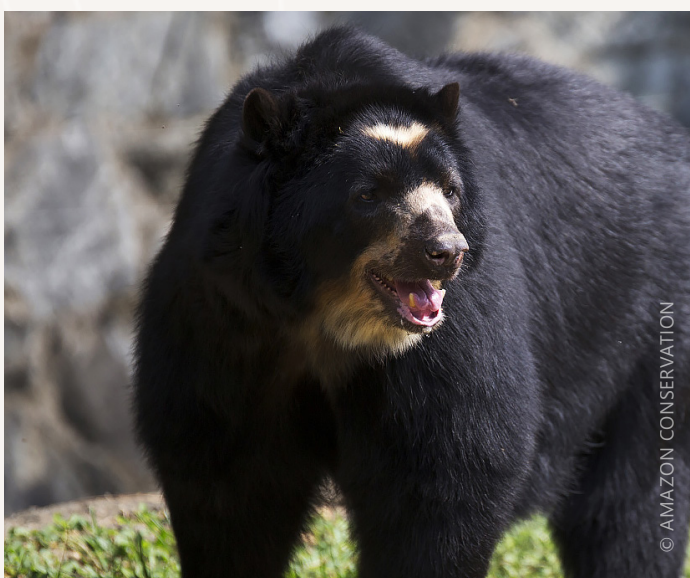
La producción de castaña amazónica (castaña del Brasil), una de las principales actividades económicas basadas en el bosque para las comunidades rurales de ambos países, depende de condiciones climáticas específicas. Los castañeros (*Bertholletia excelsa*) requieren patrones consistentes de precipitación y niveles adecuados de humedad, y en los últimos años se ha evidenciado la fuerte sensibilidad de la productividad a las sequías⁴⁰, con reducciones significativas en los volúmenes de producción en el año siguiente⁴¹. En la región de Madre de Dios, en Perú, alrededor de 27 mil personas, o el 38% de la población, dependen directa o indirectamente de la cadena de la castaña para su sustento⁴². Aunque representa una

estrategia parcial de ingresos para muchos, para algunos concesionarios constituye la única fuente de ingreso, aumentando su exposición a las caídas de productividad⁴³.

Estas economías forestales también desempeñan un papel territorial estratégico: cuando los medios de vida dependientes del bosque se mantienen económicamente viables, la presión por la deforestación tiende a disminuir, contribuyendo indirectamente a la conservación de funciones ecosistémicas esenciales, como la recirculación de la humedad atmosférica. deforestation tends to decrease, contributing indirectly to the maintenance of ecosystem functions such as atmospheric moisture recycling.

Ecosistemas y especies

Las áreas sensibles del sur del Perú y del norte de Bolivia albergan hotspots de biodiversidad excepcionales, moldeados por condiciones climáticas específicas sostenidas por los patrones regionales de transporte de humedad. Los Andes Tropicales son reconocidos globalmente como uno de los principales centros de endemismo del planeta: entre el 25% y el 50% de las especies de diversos grupos taxonómicos, incluyendo plantas vasculares, musgos, peces y aves, son exclusivas de esta región. Un análisis exhaustivo realizado por investigadores de NatureServe identificó 782 especies endémicas de aves, mamíferos, anfibios y plantas en los Yungas de Perú y Bolivia, muchas de ellas restringidas a franjas altitudinales muy estrechas⁴⁵.



Alteraciones relativamente pequeñas en la disponibilidad de humedad pueden desencadenar respuestas ecológicas desproporcionadamente grandes, como mortalidad generalizada de árboles, cambios en los regímenes de fuego y transformaciones profundas en la composición de especies⁴⁶. Las implicaciones para la biodiversidad son particularmente severas debido a los altos niveles de endemismo característicos de estas zonas de transición entre la Cuenca Amazónica y los contrafuertes andinos, lo que les confiere una relevancia global para las metas de conservación.

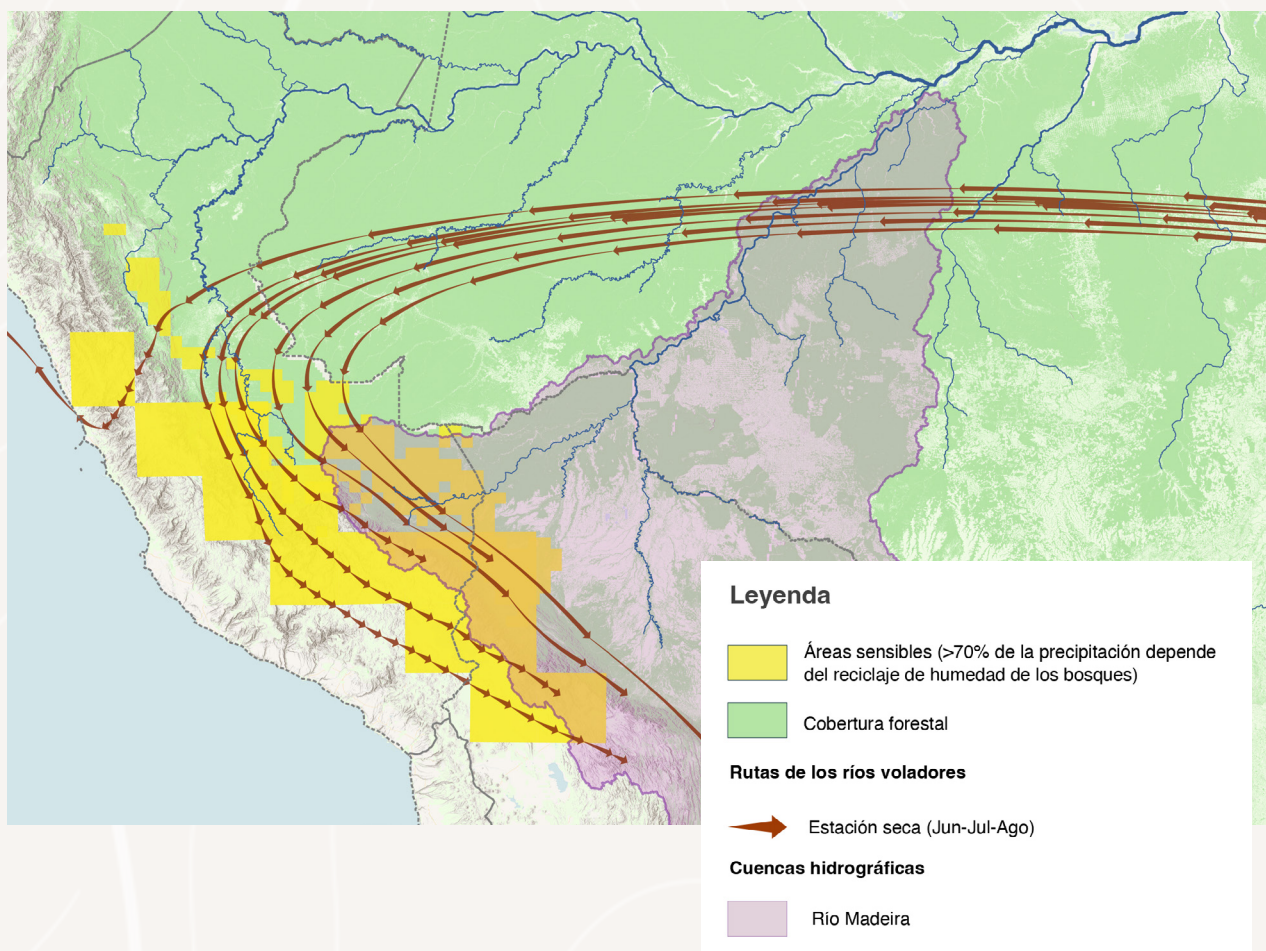
Los ecosistemas de alta montaña - incluyendo humedales andinos, bosques, pastizales y otros hábitats- poseen una elevada capacidad de almacenamiento de carbono debido a las bajas tasas de descomposición, resultado de suelos encharcados, bajas temperaturas y pH reducido. Estos ecosistemas, también presentes en las áreas sensibles destacadas, contribuyen a la acumulación y al secuestro de carbono y desempeñan un papel crítico en la mitigación del cambio climático⁴⁷. Este papel puede verse comprometido si los patrones de precipitación mantenidos por las rutas atmosféricas se alteran, generando un ciclo de retroalimentación entre las emisiones de carbono y la reducción del secuestro por parte de la biomasa.

Impactos recíprocos: la cuenca del río Madeira

Aunque la principal dirección de la dependencia ambiental va de Brasil hacia Perú y Bolivia a través del transporte atmosférico de humedad, los impactos también se extienden a los sistemas hidrológicos que, a su vez, afectan territorios brasileños. Los ríos voladores que transportan humedad hacia el oeste a través de la Cuenca Amazónica contribuyen a los patrones de precipitación que alimentan sistemas fluviales que fluyen nuevamente hacia el este, en dirección a Brasil.

El sistema del río Madeira ejemplifica estas dependencias recíprocas. Aproximadamente 60% del caudal del río Madeira, en el punto donde se encuentra con el Amazonas, se origina en la parte alta de su cuenca, formada por los tributarios bolivianos (ríos Beni y Mamoré) y por el río Madre de Dios, en Perú⁴⁸. Esto hace que el transporte fluvial, la generación hidroeléctrica y los sistemas de control de inundaciones dependan de los patrones de precipitación en los territorios peruano y boliviano (ver Figura 4). Si el transporte atmosférico de humedad hacia los contrafuertes andinos del suroeste amazónico se ve comprometido por la deforestación en Brasil, la consecuente reducción en el caudal de la cuenca del Madeira puede generar impactos aguas abajo que afectan directamente la infraestructura y las actividades económicas brasileñas.

Figura 4. Ruta estacional hacia las áreas sensibles durante la estación seca, mostrando la superposición con la cuenca del río Madeira y sus afluentes



La sequía severa en la cuenca del río Madeira en 2023 y 2024 desencadenó profundas consecuencias económicas y sociales, paralizando sectores clave de la economía brasileña. El río, uno de los principales afluentes del Amazonas, alcanzó el nivel histórico de apenas 25 centímetros en Porto Velho, lo que interrumpió las operaciones portuarias y afectó el transporte de exportaciones de granos^{49 50}. La interrupción de la navegación interior aisló a numerosas comunidades, cortando su acceso a bienes esenciales como alimentos, combustibles, medicamentos y agua potable⁵¹. La crisis también impactó fuertemente el sector energético, ya que la sequía redujo drásticamente la generación de dos de las mayores hidroeléctricas del país, ambas dependientes del Madeira, obligando a una transición de emergencia -y más costosa- hacia la generación termoeléctrica. Las consecuencias ambientales fueron igualmente graves: los niveles excepcionalmente bajos de agua provocaron una mortalidad masiva de fauna acuática, incluyendo más de 100 delfines de río (bufeos), una especie ya amenazada⁵³.

Esta revisión rápida, respaldada por los datos de la sequía excepcionalmente severa de 2023–2024, evidencia la exposición y la vulnerabilidad de los pueblos, los medios de vida y los ecosistemas del suroeste amazónico frente a las variaciones en la precipitación anual. Los mejores modelos disponibles de transporte atmosférico de vapor de agua sobre la Amazonía indican la dependencia de esta región de la recirculación de humedad proveniente de bosques densos y maduros, desde el Atlántico hasta los contrafuertes andinos⁵⁴.

Ante los efectos combinados de la deforestación existente y del cambio climático, eventos de sequía de esta magnitud tienden a ocurrir con mayor frecuencia en el futuro. Estrategias sólidas de adaptación climática serán esenciales para mitigar sus impactos sobre las comunidades, las economías y los ecosistemas vulnerables del suroeste amazónico. Paralelamente, deben adoptarse todas las medidas disponibles para evitar la pérdida adicional de la funcionalidad de los ríos voladores.

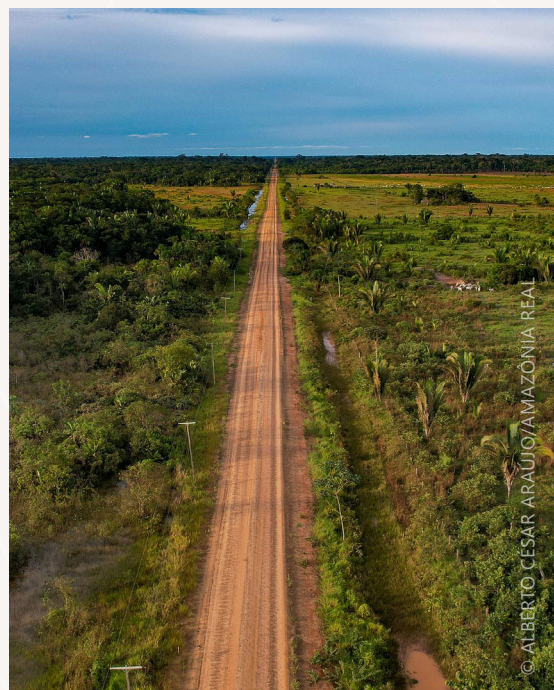


© FLAVIO FORNER / ARU

III. Recomendaciones

A. Evaluaciones de impacto ambiental y estratégico que consideren los efectos sobre el transporte atmosférico de humedad

Como se describe en la Sección II, dos proyectos de infraestructura planificados se encuentran en la ruta de los ríos voladores que abastecen al suroeste amazónico: la BR-319 y la BR-364. **Los posibles impactos a escala regional sobre estos flujos atmosféricos deben incorporarse en los estudios de impacto ambiental de dichos proyectos, destacando el conjunto completo de consecuencias potenciales derivadas de su implementación, incluidas aquellas relacionadas con la hidrología de la cuenca.** Las Evaluaciones Ambientales Estratégicas requeridas para el licenciamiento de carreteras también deben integrar la dimensión de los impactos transfronterizos potenciales para Bolivia y Perú, así como el riesgo de desestabilización económica y social en la región. Las comunidades vulnerables y aquellas más dependientes de los recursos forestales para sus medios de vida deben recibir atención prioritaria.



Los estudios de impacto ambiental indican que la conclusión de la BR-319 puede resultar en hasta 5 millones de hectáreas de deforestación adicional, creando una barrera significativa al transporte atmosférico de humedad. Como mínimo, cualquier desarrollo vial debe ir acompañado de la designación de amplias áreas protegidas a lo largo del trazado, de medidas rigurosas para impedir la apertura de ramales que amplíen los impactos de la deforestación y de programas de desarrollo sostenible que ofrezcan alternativas económicas a la tala del bosque. Los Bosques Públicos No Destinados a lo largo de estos corredores representan oportunidades inmediatas para la creación de áreas protegidas que reduzcan el riesgo de apropiación ilegal de tierras y salvaguarden explícitamente las rutas de humedad atmosférica como un servicio ecosistémico transfronterizo.

Además de la pérdida directa de cobertura forestal, el asfaltado de carreteras históricamente desencadena presiones territoriales más amplias -como ocupación especulativa, apropiación ilegal de tierras, extracción ilegal de madera y rápido crecimiento demográfico en municipios de frontera- que intensifican los riesgos acumulativos para las rutas de los ríos voladores. Esta recomendación se vuelve aún más urgente ante la propuesta de flexibilización del licenciamiento ambiental en Brasil, que puede reducir el alcance de las evaluaciones de impactos acumulativos y transfronterizos precisamente en las regiones donde la expansión de la infraestructura amenaza funciones hidrológicas de escala continental.

B. Incluir la contribución al transporte atmosférico de humedad como criterio para la asignación de nuevas áreas de conservación forestal y para la distribución de recursos en áreas existentes

La planificación sistemática de la conservación en la Amazonía tradicionalmente se basa en un conjunto de criterios para identificar y priorizar áreas para protección. Entre los criterios más utilizados se encuentran^{55 56} :

- Valor de biodiversidad, con énfasis en áreas de alta riqueza de especies y endemismo.
- Nivel de amenaza, priorizando regiones bajo fuerte presión de expansión agropecuaria, explotación maderera y otras actividades humanas.
- Conectividad forestal, con el objetivo de mantener o fortalecer la conexión entre fragmentos de bosque.
- Refugios climáticos, identificando áreas capaces de albergar biodiversidad y poblaciones humanas bajo escenarios futuros de cambio climático.
- Factores socioeconómicos, como la ubicación de asentamientos, el acceso por carreteras y ríos, y el potencial económico de los recursos forestales.

Argumentamos que la contribución al transporte atmosférico de humedad debe incorporarse a este marco como un sexto criterio explícito. Como se demuestra en las Secciones I y II, la posición de la cobertura forestal en relación con las rutas de los ríos voladores es determinante para la generación de lluvias en las áreas sensibles de Perú y Bolivia, un servicio ecosistémico transfronterizo que los criterios actuales no capturan. Destinar y financiar áreas protegidas sin considerar su ubicación dentro de los corredores de transporte de humedad crea el riesgo de dejar desprotegidos justamente los bosques más críticos desde el punto de vista hidrológico. Una forma práctica de operacionalizar este criterio es el mapeo de las Zonas Críticas de Humedad Atmosférica: áreas donde la relevancia atmosférica, el riesgo de deforestación y la vulnerabilidad social se superponen. Estos territorios, definidos espacialmente, podrían orientar la priorización integrada de la asignación de áreas de conservación, del financiamiento para la restauración y de las inversiones en desarrollo sostenible, garantizando que la continuidad del transporte de humedad desde el Atlántico hasta los Andes sea tratada como un objetivo central y no como un beneficio colateral.

La aplicación más urgente de este criterio es la asignación de los Bosques Públicos No Destinados (FPND, la sigla en portugués). Estos aproximadamente 50 millones de hectáreas de la Amazonía brasileña permanecen bajo dominio federal o estatal, pero sin ninguna clasificación legal formal: no son áreas protegidas, ni concesiones, ni tierras tituladas⁵⁷. Como se muestra en la Sección I, los FPND corresponden a algunos de los tramos más vulnerables en las rutas de los ríos voladores, especialmente a lo largo del recorrido de la estación seca por el centro de la Amazonía. Su estatus regulatorio indefinido los expone intensamente a la extracción ilegal de madera, a invasiones y a la apropiación ilegal de tierras; se estima que entre 26% y 30% de la deforestación anual en la Amazonía brasileña ocurre en estas áreas, en gran parte mediante el uso irregular del Registro Ambiental Rural (CAR, la sigla en portugués) para reclamar posesión⁵⁸. Un análisis publicado en 2023 en Nature Communications⁵⁹, basado en 33 años de datos, demostró que cualquier

régimen formal de asignación de tierras -incluida la propiedad privada- reduce la deforestación de manera más eficaz que mantener tierras sin destinación. La asignación formal como áreas protegidas, especialmente cuando coincide con las Zonas Críticas de Humedad Atmosférica, constituye el mecanismo más eficaz tanto para contener la apropiación ilegal de tierras como para asegurar la continuidad hidrológica de las rutas de los ríos voladores.

Sin embargo, la asignación por sí sola no es suficiente. En muchas partes de la Amazonía brasileña, la permanencia del bosque depende menos del estatus legal y más de que las comunidades tengan un interés económico concreto en mantenerlo en pie. La protección legal debe ir acompañada de arreglos de gobernanza que aseguren presencia territorial y fortalezcan medios de vida basados en el bosque -por medio de reservas de desarrollo sostenible, concesiones forestales comunitarias, cadenas de productos forestales no madereros, sistemas agroforestales y otros mecanismos que reduzcan la presión por la conversión de tierras mientras generan ingresos locales.

El contexto de políticas globales refuerza el mandato para actuar. La Meta 3 (30×30) del Marco Global de Kunming-Montreal busca proteger el 30% de las áreas terrestres y de aguas interiores para 2030, y la Estrategia y Plan de Acción Nacional para la Biodiversidad de Brasil establece la meta de tener 80% de la Amazonía bajo algún nivel de protección, lo que implica una expansión



TROND LARSEN/ AMAZON CONSERVATION

significativa de las áreas destinadas. Este impulso crea una ventana de oportunidad: si la continuidad de los corredores de transporte de humedad se incorpora a los criterios de selección de estas nuevas áreas, la agenda 30×30 podrá generar simultáneamente resultados de biodiversidad y de seguridad hidrológica. De lo contrario, vastas áreas podrían ser destinadas de manera que no protejan las rutas atmosféricas de las cuales dependen Perú y Bolivia. Por ello, los procesos de asignación y de distribución de recursos deben considerar explícitamente el papel de cada área en el mantenimiento de

la funcionalidad de los ríos voladores, utilizando el marco de las Zonas Críticas de Humedad Atmosférica como referencia espacial.

Los instrumentos financieros para sostener esta agenda ya están en movilización. El programa Áreas Protegidas de la Amazonía (ARPA) ha destinado hasta ahora 128 millones de acres (51,8 millones de hectáreas), con una meta adicional de 22 millones de acres (8,9 millones de hectáreas)⁶⁰. Con la reactivación del Fundo Amazônia en 2023, el BNDES movilizó R\$ 3,4 mil millones para conservación y restauración forestal⁶¹. El recientemente creado Tropical Forests Forever Fund (TFFF) también se prepara para ofrecer un flujo estable de financiamiento de largo plazo para las unidades de conservación.

Integrar el criterio de transporte atmosférico de humedad en las decisiones de asignación de estos programas permitiría dirigir recursos hacia las áreas donde la protección forestal genera el mayor beneficio hidrológico -tanto para Brasil como para sus vecinos andinos.

C. Acelerar la restauración a lo largo de las rutas de los ríos voladores

Aunque este informe se centra en el riesgo de deforestación en la porción occidental de la Amazonía brasileña, las rutas de los ríos voladores durante las estaciones seca y de transición también atraviesan amplias áreas de la Amazonía oriental que ya han sido profundamente deforestadas.

La región sudeste de la Amazonía, especialmente las zonas severamente degradadas del sur de Pará, constituye un objetivo prioritario para la restauración forestal a gran escala, necesaria para recuperar la funcionalidad de los corredores atmosféricos de humedad. Iniciativas recientes, como el programa *Restaura Amazônia* del BNDES, alineado con la meta del PLANAVEG de restaurar 12 millones de hectáreas para 2030, representan un avance inicial importante. Sin embargo, dada la relevancia crítica de esta región para sostener el transporte de humedad, las inversiones deben ampliarse de manera significativa, orientarse estratégicamente hacia los principales corredores hidrológicos e integrarse con las políticas climáticas y de uso del suelo, de modo que se restablezca el ciclo regional de humedad y se estabilicen las lluvias aguas abajo.

Las estrategias de restauración deben priorizar áreas degradadas donde la recuperación ecológica pueda combinarse con sistemas productivos de base forestal, como agroforestería y economías comunitarias de restauración, aumentando tanto la permanencia como la viabilidad social.

En las zonas de transición entre bosque y áreas agrícolas, los sistemas agroecológicos también pueden funcionar como estrategias de adaptación, al mejorar la retención de humedad en el suelo, diversificar la producción, reducir la dependencia de monocultivos y mantener parte de las funciones de evapotranspiración en paisajes productivos.

D. Construir una gobernanza regional que refleje las responsabilidades ampliadas de Brasil

La ausencia de mecanismos eficaces de gobernanza regional sobre la cobertura forestal en la Amazonía constituye una vulnerabilidad crítica para Perú y Bolivia. Brasil controla cerca del 60% de la Cuenca Amazónica y ocupa la posición estratégica entre el Atlántico y la base de los Andes, lo que significa que, al remover o proteger su cobertura forestal, ejerce un control casi total sobre el destino de los ríos voladores que abastecen de humedad a los países andinos. A pesar de esta asimetría, los actuales arreglos de gobernanza para gestionar dependencias ambientales transfronterizas en la Amazonía están muy por debajo de lo necesario. La estructura de toma de decisiones por consenso de la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA), por ejemplo, crea obstáculos sistemáticos a la acción efectiva al otorgar poder de veto a cualquier Estado miembro.

La Declaración de Belém, adoptada en la Cumbre de Jefes de Estado de la OTCA en 2023, representó un avance al comprometer a los países miembros a evitar el punto de no retorno de

la Amazonía. Aun así, quedó corta en dos aspectos esenciales: no estableció responsabilidades diferenciadas que reflejen la influencia desproporcionada de Brasil sobre el transporte atmosférico de humedad, y no definió metas cuantitativas de deforestación por país, lo que imposibilita evaluar el progreso y exigir rendición de cuentas a los gobiernos. Fortalecer la gobernanza regional requerirá ir más allá de este marco inicial, avanzando hacia estructuras que reconozcan las dependencias asimétricas, definan objetivos de conservación espacialmente explícitos e incorporen mecanismos sólidos de monitoreo y cumplimiento.

En la práctica, esto implica avanzar en dos frentes complementarios:

- Desarrollar, en el ámbito de la OTCA, marcos de responsabilidad diferenciada que reconozcan formalmente las dependencias ambientales asimétricas dentro de la Cuenca Amazónica. Dado el papel desproporcionado de Brasil, esto incluye la aceptación de obligaciones reforzadas para mantener los corredores de transporte atmosférico de humedad que sostienen bosques y economías en los países vecinos.
- Formalizar estas responsabilidades mediante acuerdos bilaterales o multilaterales vinculantes -inspirados en modelos consolidados de gestión transfronteriza de recursos hídricos y cuencas compartidas- que establezcan obligaciones específicas para que Brasil mantenga la cobertura forestal en áreas críticas para el transporte de humedad hacia Perú y Bolivia, ya sea mediante la protección de corredores definidos de transporte de humedad o mediante la conservación de porcentajes mínimos de cobertura forestal dentro de "cuencas de precipitación" identificadas.

E. Desarrollar estrategias de adaptación climática para áreas sensibles

Las medidas de adaptación basadas en ecosistemas ya han sido recomendadas para el departamento de Pando, en Bolivia, incluyendo la diversificación de actividades económicas basadas en frutos amazónicos, sistemas agroforestales, manejo de recursos hídricos y restauración forestal⁶². La vulnerabilidad de la región ante una posible interrupción en el transporte de los ríos voladores refuerza la necesidad de extender este tipo de evaluación a otros departamentos -como el norte de Beni, Santa Cruz y La Paz- que también pueden enfrentar sequías más frecuentes e intensas. Dado el carácter transfronterizo del sistema de ríos voladores, estas estrategias deben desarrollarse en coordinación con Brasil y Perú, incorporando explícitamente el riesgo de reducción en el transporte atmosférico de humedad, además de otros factores de estrés climático.



F. Avanzar la agenda de investigación

Las recomendaciones anteriores se apoyan en una base científica en rápida evolución. Las siguientes prioridades de investigación fortalecerían el fundamento empírico para la acción política y reducirían incertidumbres críticas:

- Modelar los efectos de la restauración a gran escala en el sudeste de la Amazonía sobre la funcionalidad de las rutas de humedad en la estación seca, considerando distintos escenarios de cambio climático. Esto permitiría cuantificar cómo diferentes niveles de restauración pueden mejorar la capacidad de transporte de humedad y reducir la vulnerabilidad a la sequía en Perú y Bolivia bajo múltiples proyecciones climáticas.
- Mejorar el mapeo de los corredores de transporte atmosférico de humedad mediante técnicas avanzadas de modelización que incorporen variaciones estacionales, influencias topográficas en la circulación e impactos acumulativos de múltiples focos de deforestación. La modelización de la pérdida localizada de cobertura forestal debe generar estimaciones cuantitativas de la posible reducción de precipitación en las áreas sensibles.
- Modelar los efectos proyectados del cambio climático sobre las propias rutas estacionales, identificando áreas donde los caminos de humedad tienden a desplazarse en el futuro y que, por ello, deben ser priorizadas para protección, incluso si hoy no son críticas para las rutas existentes.
- Ampliar redes de monitoreo y esfuerzos de modelización para cuencas de drenaje y cuencas de precipitación, expandiendo estaciones de monitoreo de caudal y precipitación en toda la Cuenca Amazónica y mejorando modelos atmosféricos e hidrológicos para cuantificar las relaciones entre la humedad transportada por los ríos voladores y el flujo superficial en grandes ríos como el Madeira. Modelos mejor calibrados permitirían evaluaciones más sólidas del riesgo de sequía -desde reducciones de precipitación hasta descensos en el nivel de los ríos- fortaleciendo la planificación de adaptación climática en comunidades vulnerables.
- Reducir las principales incertidumbres en la relación entre la deforestación amazónica y el sistema climático regional, incluyendo efectos sobre el ciclo hidrológico y la conectividad Atlántico–Amazonía–Andes⁶³. Aunque la pérdida de bosque ya está asociada a la reducción de la evapotranspiración, alteraciones en la circulación y retrasos en el inicio de la estación lluviosa^{64 65}, estas dinámicas interactúan con el cambio climático global^{66 67}, de formas aún poco comprendidas⁶⁸. Fortalecer la capacidad de investigación en los países amazónicos -con sistemas de monitoreo mejorados, modelización biofísica atmosférica más avanzada y sistemas de alerta temprana- es esencial para reducir estas incertidumbres y consolidar la base de evidencia para políticas públicas^{69 70 71 72}.

Conclusión

Los bosques son el motor del ciclo hidrológico amazónico. A través de la evapotranspiración, recargan continuamente la atmósfera con humedad, alimentando los ríos voladores: vastos flujos atmosféricos que transportan agua desde el Atlántico tropical a lo largo de miles de kilómetros de selva hasta el pie de los Andes. Los bosques y las comunidades del suroeste amazónico, en Perú y Bolivia, dependen de este proceso para más del 70% de su precipitación anual.

Este white paper mapeó, por primera vez con resolución estacional, los caminos por los cuales se genera este servicio -y los puntos donde es más vulnerable a interrupciones. La ruta de la estación seca, simultáneamente la más crítica para el reciclaje de humedad y la más dependiente de bosque intacto, ya atraviesa áreas severamente degradadas en el sur de Pará y está directamente amenazada por la inminente pavimentación de la BR-319, que podría desencadenar hasta 5 millones de hectáreas adicionales de deforestación. La ruta de la estación de transición cruza extensas áreas de Bosques Públicos No Destinados (FPND), que carecen de la protección legal necesaria para evitar su conversión. La ruta de la estación lluviosa, aunque hoy se beneficia de una protección relativamente robusta, converge -al igual que las demás- sobre Acre antes de alcanzar Perú y Bolivia, donde múltiples proyectos de expansión vial pueden comprometer el transporte de humedad durante todo el año.

Las evaluaciones de exposición presentadas en la Sección II dejan claro lo que está en juego. La sequía amazónica de 2023–2024 -la más severa jamás registrada- mostró de forma concreta cómo se manifiesta esta ruptura, con consecuencias drásticas para las economías locales y los ecosistemas. Aunque el evento no puede atribuirse exclusivamente a la deforestación, evidencia la magnitud de los daños que una interrupción sostenida podría causar. Las decisiones de política pública en Brasil, al influir en el ritmo de la deforestación, afectan directamente los ríos voladores de los cuales dependen los países vecinos, pero los actuales arreglos de gobernanza no ofrecen mecanismos que reflejen esta responsabilidad.

Esto exige conservación espacialmente dirigida, gobernanza regional robusta y el reconocimiento de una nueva dimensión en el debate sobre la deforestación: incluso pérdidas localizadas de cobertura vegetal pueden generar impactos potenciales sobre comunidades y ecosistemas más allá de las fronteras nacionales.

Anexo I

Enfoque Metodológico

Para visualizar los caminos de transporte de humedad en las tres estaciones, utilizamos datos de la reanálisis ERA5 para el período 2001–2020. Este intervalo es adecuado porque captura (i) la intensificación de eventos climáticos extremos ya asociada al cambio climático y (ii) los posibles efectos de la deforestación reciente.

Las variables ERA5 empleadas fueron $viwve$ (flujo de vapor de agua integrado verticalmente en dirección este), $viwvn$ (flujo integrado en dirección norte) e ivt (magnitud del flujo vectorial). Para convertir estos campos de flujo en líneas de corriente (streamlines), construimos funciones de interpolación a partir de la malla regular latitud–longitud y definimos un campo de velocidad transformando los valores de flujo en velocidades angulares (grados por segundo), teniendo en cuenta el radio de la Tierra y la variación latitudinal del espaciamiento de la malla. La integración inversa de las líneas de corriente se realizó con el método Runge–Kutta 45 (RK45), iniciando en 680 puntos semilla distribuidos en una malla de $1,5^\circ \times 1,5^\circ$ sobre la Cuenca Amazónica y rastreando cada trayectoria hacia atrás en el tiempo para identificar el origen de la humedad. Este enfoque sigue el método utilizado en Santiago et al. (2025).

Para identificar las áreas más vulnerables a interrupciones en el reciclaje de humedad basado en la transpiración, combinamos los resultados espacialmente explícitos de dos estudios⁷³. Weng et al. (2018) cubre las estaciones seca y lluviosa y define “áreas sensibles” como aquellas en las que más del 50% de la precipitación se origina en la evapotranspiración amazónica, lo que corresponde al percentil 98 de sensibilidad al cambio en el uso del suelo. Staal et al. (2018) se centra en la estación seca y estima el efecto de la transpiración de los árboles amazónicos sobre la resiliencia del bosque; seleccionamos áreas con una fracción de pérdida de resiliencia igual o superior a 0,8, que representa la proporción de resiliencia que se perdería en ausencia de transpiración arbórea. La integración de estos dos conjuntos de datos permitió identificar, a lo largo de las estaciones, las áreas cuya precipitación es más dependiente del mantenimiento de la cobertura forestal amazónica.

- 1** - 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. *Journal of Climate*, 25(2), 543–556. <https://doi.org/10.1175/2011JCLI4189.1>
- 2** - Serrapilheira Institute. Rainfall from Amazonian indigenous territories accounts for 57% of Brazil's agricultural income. <https://serrapilheira.org/en/rainfall-from-amazonian-indigenous-territories-accounts-for-57-of-brazils-agricultural-income/>; 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. *Journal of Climate*, 25(2), 543–556. <https://doi.org/10.1175/2011JCLI4189.1>; Ruiz-Vasquez, M., Arias, P.A., Martinez, J.A., & Espinoza, J.C. (2020). Effects of Amazon basin deforestation on regional atmospheric circulation and water vapor transport towards tropical South America. *Climate Dynamics*, 54, 4169–4185. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05223-4>; Marengo, J.A., et al. (2018). Changes in climate and land use over the Amazon region: current and future variability and trends. *Frontiers in Earth Science*, 6, 228. <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00228>
- 3** - Amazon Cooperation Treaty Organization (ACTO)/ORA. (n.d.). Policy brief: Flying rivers and Amazon cooperation. Amazon Network for the Environment and Sustainable Development. https://ora-otca.cdn.prismic.io/ora-otca/aWmWhAlvOtkhBoZe_3-ORA_PolicyBriefs_RiosVoadores_EN.pdf
- 4** - Miguez-Macho, G., & Fan, Y. (2012). The role of groundwater in the Amazon water cycle: 1. Influence on seasonal streamflow, flooding and wetlands. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117, D15113. <https://doi.org/10.1029/2012JD017539>
- 5** - Beveridge, C.F., Espinoza, J.C., Athayde, S., et al. (2024). The Andes–Amazon–Atlantic pathway: A foundational hydroclimate system for social–ecological system sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 121(22), e2306229121. <https://doi.org/10.1073/pnas.2306229121>
- 6** - Keys, P.W., et al. (2024). Atmospheric water recycling: an essential feature of critical natural asset stewardship. *Global Sustainability*, 7, e2. <https://doi.org/10.1017/sus.2023.24>
- 7** - Keys, P.W., et al. (2024). Atmospheric water recycling: an essential feature of critical natural asset stewardship. *Global Sustainability*, 7, e2. <https://doi.org/10.1017/sus.2023.24>
- 8** - Staal, A., Tuinenburg, O.A., Bosmans, J.H.C., et al. (2018). Forest-rainfall cascades buffer against drought across the Amazon. *Nature Climate Change*, 8, 539–543. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0177-y>
- 9** - Weng, W., Luedeke, M.K.B., Zemp, D.C., Lakes, T., & Kropp, J.P. (2018). Aerial and surface rivers: downwind impacts on water availability from land use changes in Amazonia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(1), 911–927. <https://doi.org/10.5194/hess-22-911-2018>; 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*, 625, 130082. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130082>
- 10** - Sierra, J.P., Junquas, C., Espinoza, J.C., et al. (2021). Recent changes in the atmospheric circulation patterns during the dry-to-wet transition season in South Tropical South America (1979–2020): impacts on precipitation and fire season. *Journal of Climate*, 34(22), 9025–9042. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-21-0303.1>; Sierra, J.P., Espinoza, J.C., Junquas, C., et al. (2023). Impacts of land-surface heterogeneities and Amazonian deforestation on the wet season onset in southern Amazon. *Climate Dynamics*, 61, 4387–4408. <https://doi.org/10.1007/s00382-023-06835-2>; Ruiz-Vasquez, M., Arias, P.A., Martinez, J.A., & Espinoza, J.C. (2020). Effects of Amazon basin deforestation on regional atmospheric circulation and water vapor transport towards tropical South America. *Climate Dynamics*, 54, 4169–4185. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05223-4>; Comar, L.F.S., Abrahão, G.M., & Costa, M.H. (2022). A possible deforestation-induced synoptic-scale circulation that delays the rainy season onset in Am
- 11** - Lovejoy, T.E., & Nobre, C. (2019). Amazon tipping point: Last chance for action. *Science Advances*, 5(12), eaba2949. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aba2949>
- 12** - Imazon, Microsoft, & Fundo Vale. (2021). PrevisIA: Artificial intelligence platform for deforestation risk prediction in the Brazilian Amazon. <https://previsia.org.br/>; <https://previsia.org.br/a-metodologia/>
- 13** - Serviço Florestal Brasileiro. (2024). Cadastro Nacional de Florestas Públicas (CNFP). Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, Brasil. <https://www.gov.br/florestal/pt-br/assuntos/cadastro-nacional-de-florestas-publicas>
- 14** - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). (2024). Trechos Rodoviários. Catálogo de Metadados do SNIRH, Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional, Brasil. <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/ff37f924-e88d-4ee4-82e7-14a3e5efe0fd>
- 15** - Barber, C.P., Cochrane, M.A., Souza, C.M., & Laurance, W.F. (2014). Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon. *Biological Conservation*, 177, 203–209. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.07.004>
- 16** - Nolte, C., Agrawal, A., Silvius, K.M., & Soares-Filho, B.S. (2013). Governance regime and location influence avoided deforestation success of protected areas in the Brazilian Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(13), 4956–4961. <https://doi.org/10.1073/pnas.1214786110>

- 17** - Observatório BR-319. (2024). Monitoramentos. <https://observatoriobr319.org.br/monitoramentos/>
- 18** - Concerção Amazônia. (2024). Briefing on deforestation scenarios along the BR-319. https://concertacaoamazonia.com.br/?jet_download=d99777a0965303bb8cda6a7d3e291320757fb150
https://www.researchgate.net/publication/373976874_Amazon_deforestation_simulated_impact_of_Brazil's_proposed_BR-319_highway_project
- 19** - G1/Globo. (2025, August 27). Do isolamento à integração: com mais de R\$800 milhões do governo federal, AC vive expectativa de reconstrucción histórica da BR-364. <https://g1.globo.com/ac/acre/noticia/2025/08/27/do-isolamento-a-integracao-com-mais-de-r-800-milhoes-do-governo-federal-ac-vive-expectativa-de-reconstrucao-historica-da-br-364.ghtml>
- 20** - Agência do Acre. (2025). Em Marechal Thaumaturgo, Deracre avança na obra da passarela sobre o Rio Amônia. <https://agencia.ac.gov.br/em-marechal-thaumaturgo-deracre-avanca-na-obra-da-passarela-sobre-o-rio-amonia-com-inicio-do-terceiro-pilar/>
- 21** - Finer, M., Mamani, N., & Novoa, S. (2022). Impactos da rodovia proposta Cruzeiro do Sul–Pucallpa na Amazônia sul-occidental. MAAP/Amazon Conservation. <https://www.researchgate.net/publication/361459109>
- 22** - DAR (Derecho, Ambiente y Recursos Naturales). (2026). Chancay: Infraestructura e implicaciones para la Amazonia. <https://repositorio.dar.org.pe/items/38da0606-1db2-480b-a675-d0d1322bfc36>
- 23** - See note 21: Finer, M., Mamani, N., & Novoa, S. (2022). Impactos da rodovia proposta Cruzeiro do Sul–Pucallpa na Amazônia sul-occidental. MAAP/Amazon Conservation. <https://www.researchgate.net/publication/361459109>
- 24** - UN-SPIDER (United Nations Platform for Space-based Information for Disaster Management and Emergency Response). Disaster risk management.
- 25** - Milla, P., Espinoza, J.C., Gutierrez, R., Molina-Carpio, J., Ronchail, J., Espinoza-Romero, D., & Junquas, C. (2025). Recent changes in the dry-to-wet transition season in the Andean Altiplano and related atmospheric circulation patterns (1981–2022). *Climate Dynamics*, 63, 87. <https://doi.org/10.1007/s00382-024-07578-4>
- 26** - De la Cruz, G., Collado-Tello, R., Chávarri-Velarde, E., Lavado-Casimiro, W., & Espinoza, J.C. (2025). Long-term basin trends confirm a record 2022–2024 hydrological drought and water-storage losses in western Amazonia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 62, 102951. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102951>
- 27** - Lafuente, I., & Larrea-Alcázar, D. (2022). Adaptación basada en Ecosistemas (AbE) en el bosque amazónico de Pando. *Conservación Amazónica – ACEAA*. https://www.researchgate.net/publication/399078412_Adaptacion_basada_en_Ecosistemas_AbE_en_el_bosque_amazonico_de_Pando
- 28** - See note 28: Espinoza, J.C., Jimenez, J.C., Marengo, J.A., et al. (2024). The new record of drought and warmth in the Amazon in 2023 related to regional and global climatic features. *Scientific Reports*, 14, 8107. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58782-5>
- 29** - Gutierrez, R.A., Espinoza, J.C., Lavado, W., Junquas, C., Molina-Carpio, J., Condom, T., & Marengo, J.A. (2024). The 2022–23 drought in the South American Altiplano: ENSO effects on moisture flux in the western Amazon during the pre-wet season. *Weather and Climate Extremes*, 45, 100710. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2024.100710>
- 30** - Espinoza, J.C., Jimenez, J.C., Marengo, J.A., Schongart, J., Ronchail, J., Lavado-Casimiro, W., et al. (2024). The new record of drought and warmth in the Amazon in 2023 related to regional and global climatic features. *Scientific Reports*, 14, 8107. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58782-5>
- 31** - ANAPO/Unitel. (2024). ANAPO: Se dejarán de producir 15 millones de toneladas de granos por sequía – casi un 75% menos que en la campaña de invierno anterior. <https://unitel.bo/canal-rural/anapo-se-dejaran-de-producir-15-millones-de-toneladas-de-granos-por-sequia-casi-un-75-menos-que-en-la-campana-de-invierno-anterior-MG12508756>
- 32** - Trase. (2024). Deforestation and climate change threaten Bolivia’s soy sector. <https://trase.earth/insights/deforestation-and-climate-change-threaten-bolivia-s-soy-sector>
- 33** - FAO, Unión Europea y CIRAD. (2022). Perfil de sistemas alimentarios: Estado Plurinacional de Bolivia. Catalizar la transformación sostenible e inclusiva de nuestros sistemas alimentarios. Roma, Bruselas y Montpellier. <https://doi.org/10.4060/cb9535es>
- 34** - Böhrt, J.P. (2017). El sistema agroalimentario en Bolivia y su impacto en la alimentación y nutrición: Análisis de la situación 2005–2015. La Paz. https://www.biodiversidadla.org/Documentos/El_sistema_agroalimentario_en_Bolivia_y_su_impacto_en_la_alimentacion_y_nutricion_Analisis_de_situacion_2005-2015
- 35** - Condori-Apaza, V., Mamani-Luque, O.R., Alfaro-Alejo, R., Laqui, W., & Condori, W.F. (2021). Analysis and impact of meteorological droughts in the agriculture of Puno region, Peru. *E3S Web of Conferences*, 304, 03002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130403002>
- 36** - Ayala, R.Y., Meléndez Mori, J.B., Haro, N., & Oliva, M. (2025). Perception of climate change among smallholder potato producers in northern Peru. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, 119(1), 1–22. <https://doi.org/10.1080/27658511.2025.2521945>
- 37** - Climate Chance. (2022). Madre de Dios: From pathways planning to implementation. https://www.climate-chance.org/wp-content/uploads/2022/04/bt2022_cas-detude_perou_madre-de-dios_eng.pdf

- 36** - Lletget, L.P., & de la Vega-Leinert, A.C. (2020). The effects of climate change variability on rural livelihoods in Madre de Dios, Peru. *Regional Environmental Change*, 20(2), 53. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01649-y>
- 37** - Potter, E.R., Seimon, A., & Corrales, E. (2023). A future of extreme precipitation and droughts in the Peruvian Andes. *npj Climate and Atmospheric Science*, 6, 89. <https://doi.org/10.1038/s41612-023-00409-z>
- 38** - Andean Mountain Initiative (AMI). (2023). Vulnerability and adaptation to climate change in high mountain areas of the Andean Region: Regional synthesis. <https://iam-andes.org/wp-content/uploads/2023/12/AMI-2023-Vulnerability-and-ACC-Regional-synthesis.pdf>
- 39** - Lafuente, I., & Larrea-Alcázar, D. (2022). Adaptación basada en Ecosistemas (AbE) en el bosque amazónico de Pando. *Conservación Amazónica – ACEAA*. https://www.researchgate.net/publication/399078412_Adaptacion_basada_en_Ecosistemas_AbE_en_el_bosque_amazonico_de_Pando
- 40** - Pastana, D.N.B., Modena, É.S., Wadt, L.H.O., Neves, E.S., Martorano, L.G., Lira-Guedes, A.C., Souza, R.L.F., Costa, F.F., Batista, A.P.B., & Guedes, M.C. (2021). Strong El Niño reduces fruit production of Brazil-nut trees in the eastern Amazon. *Acta Amazonica*, 51(3), 270–279. <https://doi.org/10.1590/1809-4392202002661>
- 41** - Marca, N.R., & Pareja, A., et al. (2024). ¿La temperatura y precipitación condiciona la productividad de castaña (*Bertholletia excelsa*)? Un análisis a partir de la comercialización en Bolivia. V Congreso Boliviano de Ecología. <https://www.researchgate.net/publication/392073602>
- 42** - Ashley, C., & Mdoe, N. (2002). Social impact of ethical and conventional brazil nut trading on forest-dependent people in Madre de Dios, Peru. Natural Resources Institute, University of Greenwich (DFID Forestry Research Programme project R7285). https://www.researchgate.net/publication/228389382_Social_Impact_of_Ethical_and_Conventional_Brazil_Nut_Trading_on_Forest-Dependent_People_in_Peru
- 43** - Guariguata, M.R., Cronkleton, P., Shanley, P., & Taylor, P.L. (2008). The compatibility of timber and non-timber forest product extraction and management in the community and smallholder sector of tropical America. *Forest Ecology and Management*, 256(7), 1481–1490. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.11.013> [FLAG: authors to verify this is the correct source for the CIFOR-ICRAF link provided, which may point to a different Guariguata publication.]
- 44** - Herzog, S., Jørgensen, P.M., Martinez, R., & Martius, C. (2010). Efectos del cambio climático en la biodiversidad de los Andes tropicales: el estado del conocimiento científico. Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI), São José dos Campos, Brasil. <https://www.researchgate.net/publication/230758651>
- 45** - Swenson, J.W., Young, B.E., Beck, S., Comer, P., Cordova, J., Embert, D., Encarnación, F., Ferreira, W., Franke, I., Grossman, D., et al. (2012). Plant and animal endemism in the eastern Andean slope: challenges to conservation. *BMC Ecology*, 12, 1. <https://doi.org/10.1186/1472-6785-12-1>
- 46** - Brando, P.M., Balch, J.K., Nepstad, D.C., Morton, D.C., Putz, F.E., Coe, M.T., Silvério, D., Macedo, M.N., Davidson, E.A., Nóbrega, C.C., Alencar, A., & Soares-Filho, B.S. (2014). Abrupt increases in Amazonian tree mortality due to drought–fire interactions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(17), 6347–6352. <https://doi.org/10.1073/pnas.1305499111>
- 47** - Cruz, M., Pradel, W., Juarez, H., Hualla, V., & Suarez, V. (2023). Deforestation dynamics in Peru: A comprehensive review of land use, food systems, and socio-economic drivers. International Potato Center (CIP). <https://doi.org/10.4160/cip.2023.12.007> [FLAG: authors to verify this is the intended source for the claim about Andean wetland carbon storage; the URL provided points to this CIP deforestation review, not a peatlands carbon study. For the peatlands claim, a more appropriate reference may be: Hribljan, J., et al. (2015). Carbon storage and long-term rate of accumulation in high-altitude Andean peatlands of Bolivia. *Mires and Peat*, 15(12), 1–14. https://www.fs.usda.gov/nrs/pubs/jrnl/2015/nrs_2015_hribljan_001.pdf
- 48** - Molina-Carpio, J., Espinoza, J.C., Vauchel, P., Ronchail, J., Gutierrez Caloir, B., Guyot, J.L., & Noriega, L. (2017). Hydroclimatology of the Upper Madeira River basin: spatio-temporal variability and trends. *Hydrological Sciences Journal*, 62(6), 911–927. <https://doi.org/10.1080/02626667.2016.1267861>
- 49** - Climate Policy Initiative. (2025, October 10). When the river runs dry: How Amazon deforestation threatens the Brazilian economy. <https://www.climatepolicyinitiative.org/publication/when-the-river-runs-dry-how-amazon-deforestation-threatens-the-brazilian-economy/>
- 50** - Reuters. (2024, October 4). Brazil drought drops Amazon port river level to 122-year low. <https://www.reuters.com/world/americas/river-level-amazon-rainforest-port-hits-122-year-low-amid-drought-2024-10-04/>
- 51** - Santos de Lima, L., et al. (2024). Severe droughts reduce river navigability and isolate communities in the Brazilian Amazon. *Communications Earth & Environment*, 5, 355. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01530-4>
- 52** - Reuters. (2024, August 8). Northern Brazil cuts hydro power use with prolonged drought. <https://www.reuters.com/business/environment/northern-brazil-cuts-hydro-power-use-with-prolonged-drought-2024-08-08/>
- 53** - iSciences. (2024, November 11). Escalating drought risk in the Amazon River Basin. <https://www.isciences.com/blog/2024/11/11/escalating-drought-risk-in-the-amazon-river-basin>
- 54** - Finer, M., Ariñez, A., Sierra, J.P., Espinoza, J.C., Weng, W., Vriesendorp, C., Bodin, B., & Beavers, J. (2025). The Amazon tipping point – importance of flying rivers connecting the Amazon. MAAP: 232. Amazon Conservation Association. <https://www.maaprogram.org/amazon-flying-rivers/>
- 55** - Veríssimo, A., Cochrane, M.A., Souza Jr., C., & Salomão, R. (2002). Priority areas for establishing national forests

- in the Brazilian Amazon. *Conservation Ecology*, 6(1), 4. https://www.researchgate.net/publication/287639494_Priority_Areas_for_Establishing_National_Forests_in_the_Brazilian_Amazon
- 56** - Cavalcante, R.B.L., et al. (2022). Multicriteria approach to prioritize forest restoration areas for biodiversity conservation in the eastern Amazon. *Journal of Environmental Management*, 318, 115590. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115590>
- 57** - Moutinho, P., & Azevedo-Ramos, C. (2023). Untitled public forestlands threaten Amazon conservation. *Nature Communications*, 14, 1152. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-36427-x> [see also note 59]
- 58** - Moutinho, P., & Azevedo-Ramos, C. (2023). Untitled public forestlands threaten Amazon conservation. *Nature Communications*, 14, 1152. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-36427-x>; Silvestrini, R., Alencar, A., Castro, I., Guyot, C., Gomes, J., Savian, G., & Batista, A.M. (2025). O raio-X da redução do desmatamento na Amazônia. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM). https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2025/09/NT_RaioX_Reducacao_Desmatamento_AMZ_v03-1-2.pdf
- 59** - See note 57: Moutinho, P., & Azevedo-Ramos, C. (2023). Untitled public forestlands threaten Amazon conservation. *Nature Communications*, 14, 1152. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-36427-x>
- 60** - World Bank. (n.d.). Protecting the Amazon rain forest: Amazon Region Protected Areas Project (ARPA). <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/537771468020663006>
- 61** - COP30 Brazil. (2023). BNDES records historic high in forest investments after reactivation of Amazon Fund. <https://cop30.br/en/news-about-cop30/bndes-records-historic-high-in-forest-investments-after-reactivation-of-amazon-fund>
- 62** - See note 39: Lafuente, I., & Larrea-Alcázar, D. (2022). Adaptación basada en Ecosistemas (AbE) en el bosque amazónico de Pando. *Conservación Amazónica – ACEAA*. https://www.researchgate.net/publication/399078412_Adaptacion_basada_en_Ecosistemas_AbE_en_el_bosque_amazonico_de_Pando
- 63** - Beveridge, C.F., Espinoza, J.C., Athayde, S., et al. (2024). The Andes–Amazon–Atlantic pathway: A foundational hydroclimate system for social–ecological system sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 121(22), e2306229121. <https://doi.org/10.1073/pnas.2306229121>
- 64** - Sierra, J.P., Junquas, C., Espinoza, J.C., Segura, H., Condom, T., Andrade, M., Molina-Carpio, J., Ticona, L., Mardoñez, V., Blacutt, L., Polcher, J., Rabatel, A., & Sicart, J.E. (2022). Deforestation impacts on Amazon–Andes hydroclimatic connectivity. *Climate Dynamics*, 58, 3609–3635. <https://doi.org/10.1007/s00382-021-06025-y>
- 65** - Ruiz Vasquez, M., Arias, P.A., Martinez, A., & Espinoza, J.C. (2020). Effects of Amazon basin deforestation on regional atmospheric circulation and water vapor transport towards tropical South America. *Climate Dynamics*, 54, 4169–4185. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05223-4>
- 66** - Coe, M.T., Costa, M.H., & Soares-Filho, B.S. (2009). The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River: Land surface processes and atmospheric feedbacks. *Journal of Hydrology*, 369(1–2), 165–174. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.02.043>
- 67** - Sierra, J.P., Espinoza, J.C., Junquas, C., et al. (2023). Impacts of land-surface heterogeneities and Amazonian deforestation on the wet season onset in southern Amazon. *Climate Dynamics*, 61, 4387–4408. <https://doi.org/10.1007/s00382-023-06835-2>
- 68** - Marengo, J.A., Espinoza, J.C., Fu, R., Jimenez Muñoz, J.C., Muniz Alves, L., Ribeiro da Rocha, H., & Schöngart, J. (2024). Long-term variability, extremes and changes in temperature and hydrometeorology in the Amazon region: A review. *Acta Amazonica*, 54(3). <https://doi.org/10.1590/1809-4392202200980>
- 69** - Espinoza, J.C., Arias, P.A., Moron, V., Junquas, C., Segura, H., Sierra-Pérez, J.P., Wongchuig, S., & Condom, T. (2021). Recent changes in the atmospheric circulation patterns during the dry-to-wet transition season in South Tropical South America (1979–2020): impacts on precipitation and fire season. *Journal of Climate*, 34(22), 9025–9042. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-21-0303.1>
- 70** - Espinoza, J.C., Ronchail, J., Marengo, J.A., & Segura, H. (2019). Contrasting North–South changes in Amazon wet-day and dry-day frequency and related atmospheric features (1981–2017). *Climate Dynamics*, 52, 5413–5430. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4462-2>
- 71** - Marengo, J.A., Costa, M.C., Cunha, A.P., Espinoza, J.C., Jimenez, J.C., Libonati, R., Geirinhas, J.L., Miranda, V., Trigo, I.F., Sierra, J.P., Maia, T.O., Medeiros, O., et al. (2026). Characterisation of the exceptional heatwave conditions observed in Brazil during the record-hot years of 2024 and 2025. *International Journal of Climatology*. <https://doi.org/10.1002/joc.70219>
- 72** - Miranda, V., Albuquerque, R., Geirinhas, J.L., Peres, L., Libonati, R., Jimenez, J.C., & Trigo, I.F. (2026). Satellite-based land surface temperature and soil moisture observed during the 2023–2024 drought–heatwave events in the Amazon Basin. *Environmental Research: Climate*. <https://doi.org/10.1088/2752-5295/ae2d89>
- 73** - Weng, W., Luedeke, M.K.B., Zemp, D.C., Lakes, T., & Kropp, J.P. (2018). Aerial and surface rivers: downwind impacts on water availability from land use changes in Amazonia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(1), 911–927. <https://doi.org/10.5194/hess-22-911-2018>; Staal, A., Tuinenburg, O.A., Bosmans, J.H.C., et al. (2018). Forest-rainfall cascades buffer against drought across the Amazon. *Nature Climate Change*, 8, 539–543. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0177-y>

AMAZON

CONSERVATION

www.amazonconservation.org

1025 Connecticut Ave NW · Suite 415 · Washington DC 20036 · USA

Consultas de prensa y contacto:

communications@amazonconservation.org