

# SEQUÍAS EN LA AMAZONÍA

*Flávia R.C. Costa\**, *José Antonio Marengo\**, *Ana Luisa M. Albernaz*, *Ana Paula Cunha*, *Nicolás Cuvi*, *Jhan-Carlo Espinoza*, *Joice Ferreira*, *Ayan Santos Fleischmann*, *Juan Carlos Jimenez-Muñoz*, *Maria Belén Páez*, *Luciano Carramaschi de Alagão Querido*, *Jochen Schöngart* | **\*Autores Principales**

## MENSAJES PRINCIPALES

- Las fuertes sequías en la Amazonía han ido aumentando en frecuencia e intensidad, de cuatro en un siglo, a cuatro en menos de 25 años, en sintonía con el aumento de la deforestación y el calentamiento global. La sinergia de sequías, deforestación, incendios y degradación forestal, tiene el potencial de llevar a la Amazonía a un punto de no retorno en el que este ecosistema de importancia mundial puede reducir significativamente su capacidad para proporcionar servicios esenciales como el reciclaje de agua, el almacenamiento de carbono y el suministro de bienes para el bienestar humano.
- Las sequías aumentan la mortalidad de los árboles y, por tanto, la pérdida de biomasa, poniendo en peligro el funcionamiento de los sumideros de carbono que proporcionan los árboles. Las sequías también aumentan la mortalidad animal, especialmente cuando los niveles de los ríos disminuyen abruptamente y cuando los bosques se ven perturbados por incendios y degradación forestal.
- Las sequías aumentan el riesgo de incendios, con impactos directos como emisiones de carbono y pérdida de biodiversidad y de servicios ecosistémicos, además de poner en riesgo a la salud humana y a la seguridad alimentaria, retroalimentando de esta manera al calentamiento global.
- Los impactos socioeconómicos de las sequías son grandes y generan vulnerabilidad social, cultural y económica. Los impactos incluyen amenazas a: la seguridad y calidad del agua, la seguridad alimentaria, la salud pública, los derechos humanos, las economías de escala local y global, la movilidad, la producción de energía, la estabilidad de las riberas de los ríos y las migraciones humanas.
- Los impactos de las sequías varían en naturaleza e intensidad según las comunidades sociales afectadas (p. ej., pueblos indígenas, afrodescendientes, ribeirinhos, caboclos, etc.), las actividades económicas predominantes (p. ej., pesca, agricultura, extractivismo, servicios urbanos), el género, la edad, y las diferencias regionales entre los países y las regiones amazónicas (por ejemplo, tierras bajas, Andes amazónicos y pies for pie).
- Existen lagunas críticas en los conocimientos necesarios para planificar respuestas futuras e inmediatas a las crisis climáticas. Entre ellas, la falta de un seguimiento exhaustivo de los bosques, el clima y la hidrología de la Amazonía que sirva de base a los programas de adaptación, y la falta de datos sociales, económicos, culturales y demográficos a escala local y regional, especialmente en lo que respecta a las poblaciones vulnerables.

## RECOMENDACIONES

- Adoptar inmediatamente los objetivos del Acuerdo de París de la CMNUCC para reducir las emisiones de carbono con el propósito de frenar la creciente frecuencia de las sequías. Al mismo tiempo, redirigir los subsidios y las inversiones públicas y privadas de actividades intensivas en carbono, hacia aquellas que conservan las reservas naturales, así como restaurar los bosques, y aumentar las asignaciones presupuestarias para la adaptación y la gestión de catástrofes.
- Detener la deforestación y la degradación forestal, y establecer un programa para identificar áreas prioritarias que requieren conservación inmediata, y reforzar la protección de aquellas que ya están formalmente protegidas, incluidas las tierras Indígenas y las zonas de amortiguamiento alrededor de las Áreas Protegidas. Todas estas acciones son necesarias para garantizar la producción de agua de los bosques amazónicos y reducir la ocurrencia de bajos caudales de los ríos.
- Promover la creación de nuevos empleos climáticamente inteligentes en el sector de la conservación para generar fuentes de ingresos alternativas. Una de esas alternativas es la adopción de sistemas agroforestales y agroecológicos diversificados como parte de los procesos de restauración, mejorando la seguridad alimentaria, la gestión de los recursos naturales y los medios de vida alternativos.
- Implementar programas de monitoreo y sistemas de alerta temprana de sequías, incluyendo:
  - Modelos globales y regionales del sistema terrestre y modelos hidrológicos continentales desde los Andes hasta el océano Atlántico.
  - Detección de signos tempranos de estrés animal y vegetal debido a sequías;
  - Armonización de políticas sobre manejo integrado de incendios y monitoreo de incendios en tiempo real e intercambio de datos entre jurisdicciones.
- Implementar los mandatos establecidos en 2022 por la CMNUCC respecto al enfoque de derechos humanos y justicia climática. Evaluar la vulnerabilidad y exposición de las poblaciones a través de un enfoque intersectorial para el diseño de políticas; las acciones deben basarse en una comprensión integral de las realidades locales de los diferentes grupos socio-económicos y regiones.
- Implementar los Fondos de Pérdidas y Daños, así como los de Adaptación, y mejorar el financiamiento de acciones de mitigación y adaptación a la sequía a través de fondos nacionales e internacionales. Se requiere atención especial para los programas centrados en:
  - Capacitación, educación, vigilancia y manejo de incendios;
  - Avance y progreso en la ciencia, tecnología e innovación para mejores estrategias de tratamiento de agua y mayores capacidades de almacenamiento;
  - Mejorar la seguridad alimentaria a escala local;
  - Ciencia, tecnología y seguimiento de las enfermedades causadas o agravadas por las sequías.
- Invertir en el desarrollo de capacidades de la población y de los gobiernos locales para acceder directamente a diversos mecanismos financieros para la adaptación, y en la producción conjunta de soluciones con las poblaciones rurales y urbanas locales para gestionar los desastres causados por la sequía. Priorizar los esfuerzos de investigación y monitoreo para llenar los vacíos de datos ambientales, ecológicos y socio-económicos.

## RESUMEN GRÁFICO



↻ retroalimentación

### ACCIONES NECESARIAS:

#### PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

- Reducción inmediata de las emisiones de gases de efecto invernadero (Objetivos del Acuerdo de París).
- Redirigir las inversiones de actividades económicas intensivas en carbono a actividades económicas libres de carbono.
- Nuevas áreas de conservación en bosques con mayor potencial para sobrevivir a sequías y restauración forestal en tierras degradadas.
- Refuerzo de áreas de conservación y tierras indígenas.
- Inversión en monitoreo y comprensión del impacto y las causas de las sequías.

#### ADAPTACIÓN

- Implementar los Fondos de Pérdidas y Daños y Adaptación.
- Programas de control de incendios, almacenamiento y tratamiento de agua, seguridad alimentaria y seguimiento y control de enfermedades transmitidas por sequías
- Creación de capacidades y coproducción de soluciones con poblaciones rurales y urbanas locales para gestionar los desastres causados por la sequía.

## 1. DINÁMICA CLIMÁTICA E HIDROLÓGICA

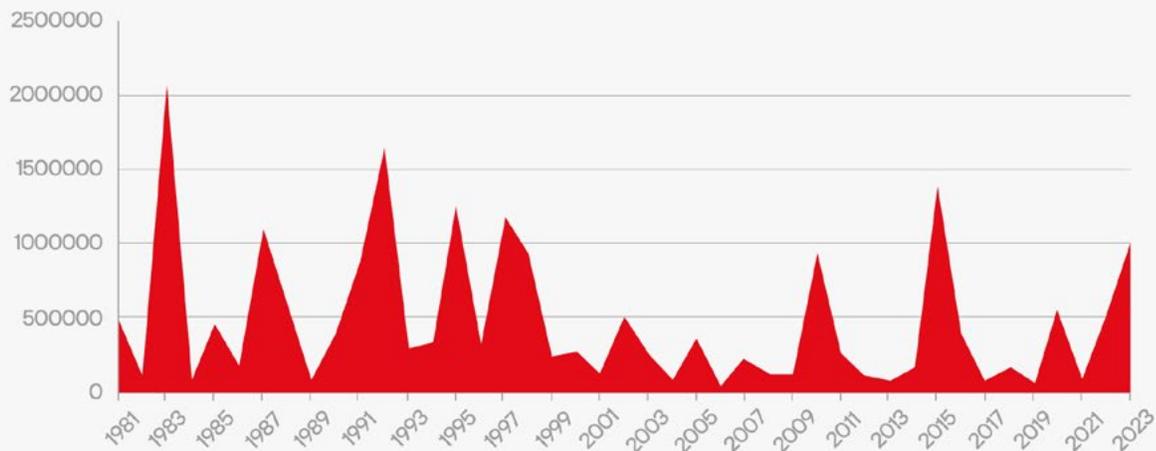
**Causas naturales de las sequías.** Desde principios del siglo XXI se han ocurrido cuatro sequías extremas en la Amazonía. Cada una de estas sequías se clasificó como “un evento que ocurre cada 100 años” en el momento de ocurrencia y, sin embargo, cada una fue superada por la siguiente<sup>1-4</sup>. La mayoría de las sequías severas en la región amazónica están asociadas con temperaturas anómalas de la superficie del mar (SST) en el Pacífico Ecuatorial, conocido como el evento de El Niño. Sin embargo, las sequías de 2005 y 2010 fueron inducidas en gran medida por altas anomalías de SST en el Atlántico Norte Tropical (TNA). Tanto El Niño como el TNA cálido, inhiben las precipitaciones sobre la Amazonía<sup>5,6</sup>. Otro contribuyente a las sequías es la fase cálida de la Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO)<sup>6,7</sup>, caracterizada por una variación cíclica de las condiciones oceánicas y atmosféricas a gran escala en el TNA. La mayoría de las sequías hidrológicas severas históricas en la cuenca del Amazonas (alrededor del 80%), coinciden con fases cálidas de AMO (1925-1970 y desde 1995), debilitando el transporte de humedad hacia y dentro de la Amazonía al este de los Andes por medio de los ríos atmosféricos (“ríos voladores”)<sup>8,9</sup> (**CUADRO 1**). Los ríos atmosféricos transportan una enorme cantidad de agua en forma de vapor, superior incluso al caudal de 19 Gt de agua que sale del propio río Amazonas.

**Variabilidad climática natural versus sequías inducidas por el hombre.** Aunque las sequías tienen un componente climatológico natural y siempre han ocurrido en la Amazonía, la frecuencia e intensidad de las sequías están aumentando, principalmente debido al calentamiento global, la deforestación y la degradación forestal inducidos por el hombre<sup>10</sup>. Los estudios de modelización y observación, sugieren que las sequías amazónicas ocurren a causa de una disminución en las precipitaciones y del inicio

tardío de la temporada de lluvias (estación seca más larga), durante los años de El Niño y/o TNA. Por otro lado, el aumento de la temperatura media global en la superficie (es decir, el calentamiento global), reduce las precipitaciones y eleva fuertemente las temperaturas locales, aumentando así la pérdida de agua a través del aumento de la evapotranspiración, lo que lleva a grandes déficits de agua en los sistemas terrestres y acuáticos<sup>11</sup>. El cambio climático ha aumentado la probabilidad de sequías hidrológicas (que impactan el flujo de los ríos) por un factor de 10, mientras que las sequías agrícolas (que impactan las actividades agrícolas), se han vuelto aproximadamente 30 veces más probables<sup>11</sup>. Además, varios años de deforestación en la Amazonía han producido extensas superficies de tierra seca, donde los pastos extensivos y las tierras de cultivo reducen significativamente el retorno de agua a la atmósfera cuando la vegetación desaparece en la estación seca. Estos contribuyen con alrededor del ~4% a la tendencia de la sequía atmosférica, y la retroalimentación de la “deforestación-sequía” aumenta a medida que la deforestación se acumula<sup>12,13</sup>.

En 2023 la Amazonía experimentó una situación extrema de sequía y calor. El índice de sequía integrado (que combina sequías meteorológicas, hidrológicas y agrícolas), se clasificó como severamente extremo en la región amazónica occidental de Brasil, sobre las regiones amazónicas boliviana y peruana, y se extiende a la mayor parte de la Amazonía al sur de 5°S (**Figura 1 a, b**)<sup>2</sup>. Un estudio reciente muestra que la transición de La Niña en 2022 a El Niño en 2023, está relacionada con este evento histórico<sup>2</sup>. De la misma manera, una TNA excepcionalmente cálida<sup>2</sup> junto con las señales del calentamiento global<sup>12</sup>, exacerbaron los impactos de El Niño sobre la región durante el invierno austral y la primavera de 2023, de modo que El Niño y el cambio climático fueron responsables cada uno del 50% de la reducción de las precipitaciones.

### a. Áreas afectadas por la sequía (km<sup>2</sup>)



### b. Índice Integrado de Sequía (IDI) 2023

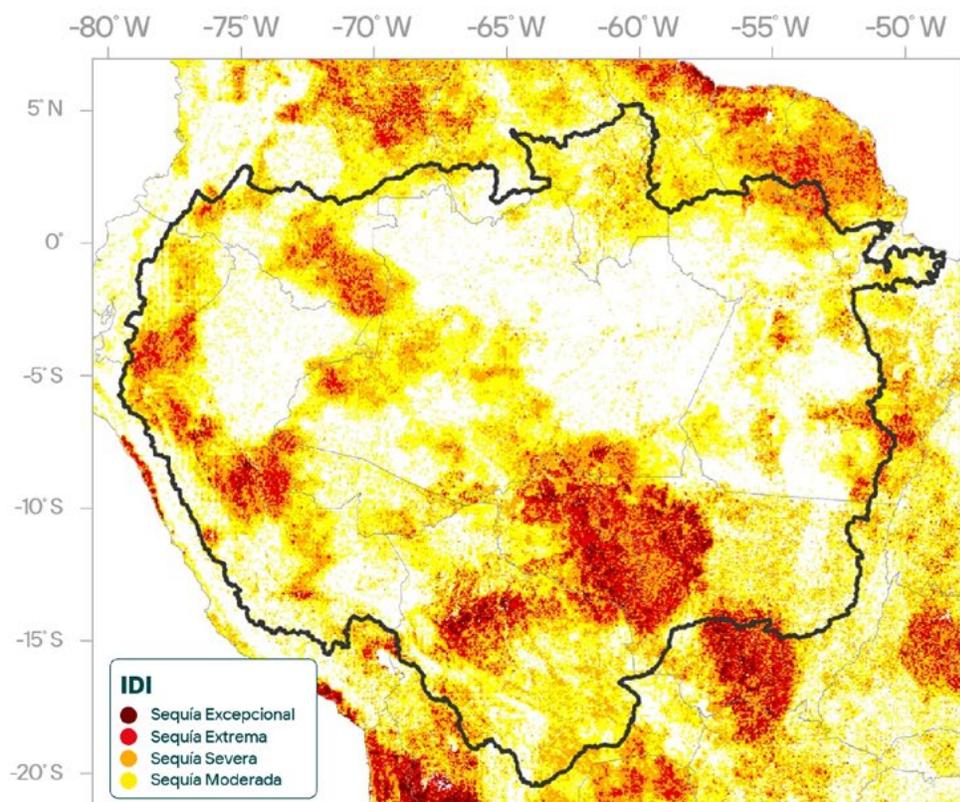


FIGURA 1. a) Área afectada por sequías en la región amazónica desde 1981; b) áreas afectadas por sequía hidrológica representadas por el Índice Integrado de Sequía (IDI<sup>99</sup>), utilizando SPI-12. El IDI combina el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) y el Agua Disponible del Suelo (ASW) junto con el Índice de Suministro de Agua para la Vegetación (VSWI) y, por lo tanto, representa la respuesta a las sequías meteorológicas, hidrológicas y agrícolas.

## CUADRO 1. DEFINICIONES

**Sequía agrícola:** condiciones que resultan en respuestas adversas de los cultivos, generalmente debido a la humedad limitada del suelo y a la alta demanda de transpiración de las plantas.

**Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO):** la AMO es una serie continua de cambios de larga duración en la temperatura de la superficie del mar del Océano Atlántico Norte, con fases frías y cálidas que pueden durar de 20 a 40 años y que tiene una diferencia de aproximadamente 1°F entre extremos. Estos cambios son naturales y han estado ocurriendo durante al menos los últimos 1.000 años. ([https://www.aoml.noaa.gov/phod/amo\\_faq.php](https://www.aoml.noaa.gov/phod/amo_faq.php))

**Ríos atmosféricos (“ríos voladores”):** regiones relativamente largas y estrechas de la atmósfera (como ríos en el cielo), que transportan la mayor parte del vapor de agua fuera de los trópicos. (<https://www.noaa.gov/stories/what-are-atmospheric-rivers>).

**Sequía:** un período de tiempo anormalmente seco lo suficientemente largo como para provocar un desequilibrio hidrológico grave. Desde un punto de vista climático, una sequía resulta de una escasez de precipitaciones durante un período prolongado, proveniente de un momento inadecuado de las precipitaciones en relación con las necesidades de la cobertura vegetal, o de un balance hídrico negativo debido a un aumento de la evapotranspiración potencial causada por altas temperaturas<sup>97</sup>.

**El Niño:** se refiere a un calentamiento superior al promedio de las temperaturas de la superficie del mar, en el Océano Pacífico tropical central y oriental. Esto hace que los vientos de superficie de bajo nivel, que normalmente soplan de este a oeste a lo largo del Ecuador (“vientos del este”), se debiliten o, en algunos casos, comiencen a soplar en la dirección inversa. El Niño se repite de forma irregular, de dos años a una década, y no hay dos fenómenos exactamente iguales. Los fenómenos de El Niño pueden alterar los patrones climáticos normales a nivel mundial. (<https://www.usgs.gov/faqs/what-el-nino-and-what-are-its-effects>)

**Sequía hidrológica:** período prolongado de precipitaciones por debajo de lo normal, que causa deficiencias en el suministro de agua, según lo medido por el caudal de los arroyos, los niveles de lagos y embalses, los niveles de agua subterránea y el contenido de humedad del suelo agotado.

**Fallo hidráulico:** la pérdida de la capacidad de conducir agua a través de los vasos de la planta más allá de un umbral de supervivencia, que se produce durante el estrés hídrico inducido por la sequía.

**Igapó:** vegetación estacionalmente inundada por aguas fluviales pobres en sedimentos y nutrientes, provenientes de los Escudos Guayanés y Brasileño.

**La Niña:** se refiere al enfriamiento periódico de las temperaturas de la superficie del océano Pacífico ecuatorial central y centro-este. Normalmente, los eventos de La Niña ocurren aproximadamente cada 3 a 5 años, pero en ocasiones, pueden ocurrir durante años sucesivos. La Niña representa la fase fría del ciclo de El Niño ([https://www.weather.gov/iwx/la\\_nina](https://www.weather.gov/iwx/la_nina))

**Megaincendios forestales:** incendios que se extienden por 10.000 ha o más y que surgen de eventos de ignición relacionados, ya sean únicos o múltiples<sup>98</sup>.

**Temperaturas de la superficie del mar (SST):** la temperatura de la superficie del mar (SST), se define como la temperatura de los primeros milímetros superiores del océano. (<https://ecowatch.noaa.gov/thematic/sea-surface-temperature>)

**Punto de no retorno:** para un sistema que ha sido perturbado, este es el punto de no retorno a las condiciones originales. En este caso, se aplica al punto más allá del cual grandes áreas de la Amazonía ya no tienen suficiente lluvia para sustentar bosques de hoja perenne y/o ancha.

**Várzea:** vegetación que es inundada estacionalmente por aguas de ríos ricos en sedimentos y nutrientes, los cuales descienden de los Andes.

Sin embargo, los fuertes déficits de agua en los sistemas terrestres y acuáticos se debieron casi en su totalidad al aumento de la temperatura global<sup>11</sup>. La intensidad de la sequía de 2015-16 también se ha relacionado con causas antropogénicas<sup>14</sup>.

### ***Impactos en los niveles de los ríos y en la temperatura del aire.***

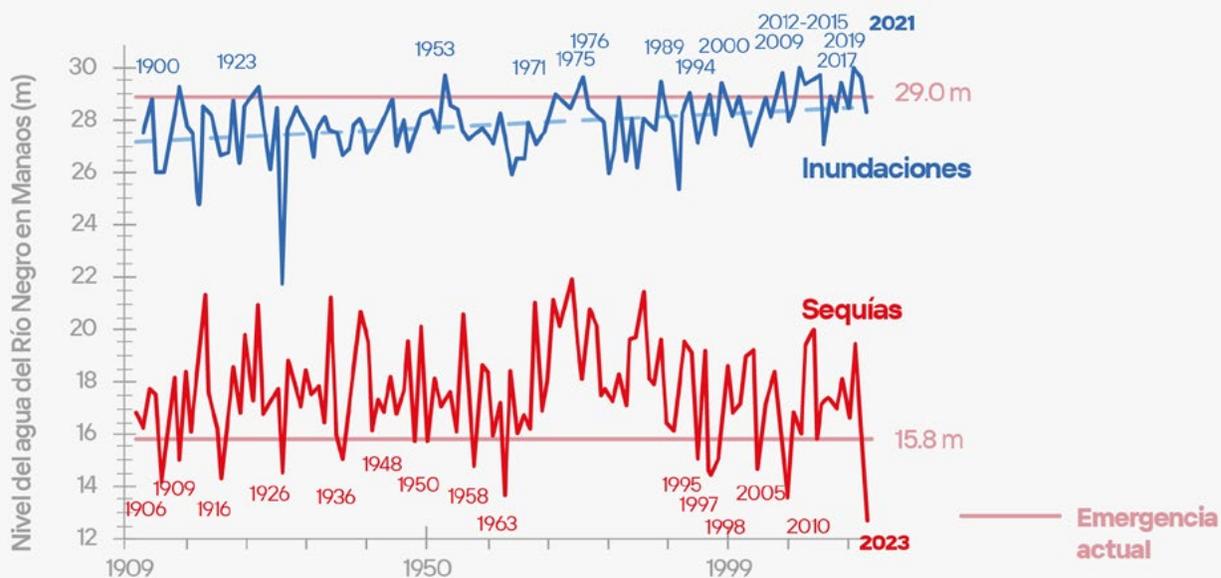
En los últimos 120 años, se han registrado 18 inundaciones graves y 12 sequías hidrológicas extremas en el puerto de Manaus, siendo la única serie disponible de niveles de agua del Amazonas que abarca más de 100 años<sup>1-3</sup>. El análisis de este conjunto de datos, indica una tendencia significativa de aumento de la frecuencia y magnitud de las inundaciones extremas en los últimos 120 años, incluido el mayor nivel de agua jamás registrado en Manaus en 2021<sup>3</sup>. Por otro lado, no se identifica ninguna tendencia a largo plazo con respecto al aumento de sequías hidrológicas extremas, sin embargo, el número de sequías extremas ha aumentado desde 1995: se produjeron seis sequías extremas entre 1995 y 2023, frente a siete en todo el período 1903-1994<sup>2</sup>. Considerando el nivel crítico de emergencia en el puerto de Manaus por inundaciones (>29 m) y sequías hidrológicas (<15,8 m), hay un aumento significativo de la amplitud anual de alrededor de 150 cm durante los últimos 30 años, en comparación con el período anterior (**Figura 2a**). En cuanto a la duración de la emergencia de ambos extremos, hasta la década de 1990 las sequías hidrológicas tenían más impactos en las poblaciones ribereñas que las inundaciones, mientras que las inundaciones han sido más fuertes en el siglo XXI. La duración media de las emergencias por inundaciones es en general mayor ( $53 \pm 24$  días) en comparación con las sequías ( $36 \pm 19$  días).

Este escenario cambió con la sequía de 2023-24. La mayoría de los principales ríos de la Amazonía, incluidos los ríos Solimões, Purus, Acre y Branco, sufrieron caídas extremas en sus niveles o

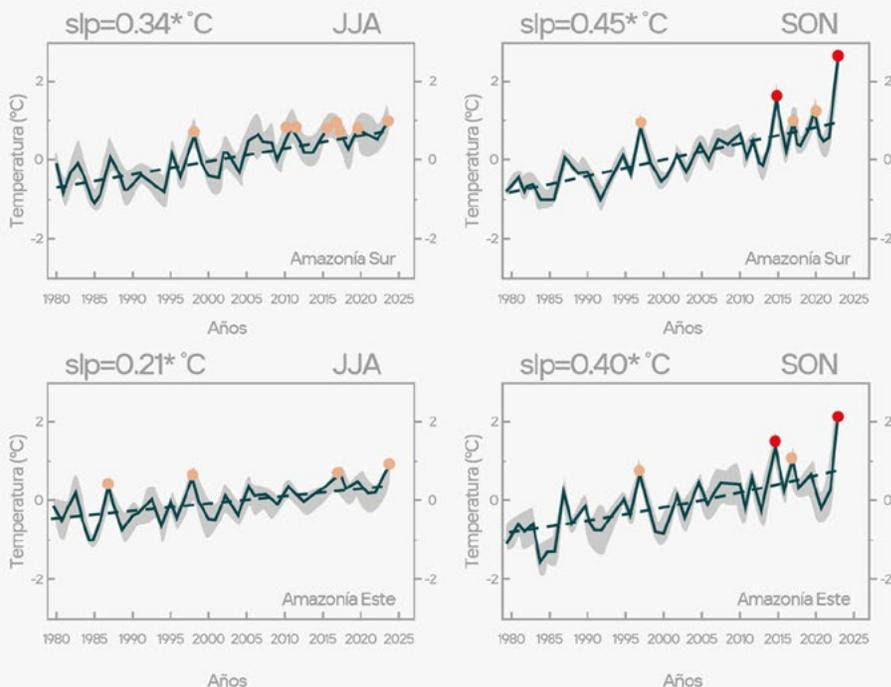
simplemente se secaron por completo. En octubre de 2023, el nivel del Río Negro en Manaus registró su nivel más bajo desde que comenzaron las mediciones en septiembre de 1902, 12,70 m (el nivel mínimo anual promedio de agua fue de 17,64 m para el período 1902-2022). En la Amazonía peruana, el río Huallaga en Tingo María presentó una anomalía de -45% en su caudal en octubre de 2023. Adicionalmente, los ríos Mamoré-Guaporé y Madeira en territorio boliviano se mantuvieron muy bajos debido a precipitaciones deficientes desde julio de 2022 hasta junio de 2023. En general, las sequías relacionadas con eventos de El Niño tienen un mayor efecto en los ríos con cabeceras en el hemisferio norte, ya que el período de reducción de precipitaciones coincide con el período natural de estiaje. Sin embargo, la sequía de 2023 comenzó mucho antes debido a los numerosos efectos sinérgicos analizados anteriormente y, por lo tanto, afectó a una gama más amplia de ríos a lo largo de la Amazonía.

Todas las regiones de estudio en la Amazonía tienen evidencia de tendencias de calentamiento estadísticamente significativas durante las últimas cuatro décadas (**Figura 2b**). Las tendencias de calentamiento son más altas para la temporada de septiembre, octubre y noviembre que para la temporada de junio, julio y agosto, y más altas para el sur y el este que para el norte y el oeste de la Amazonía. Si bien la serie temporal muestra picos de aumento de temperaturas relacionados con diferentes episodios de sequía, fue en 2023 cuando se observaron los valores más altos de anomalías positivas en la temperatura del aire<sup>2</sup>. Seis olas de calor durante el período de 6 meses comprendido entre junio y noviembre de 2023 en el oeste y las regiones del norte, exacerbaron los efectos de la falta de precipitaciones. El suroeste de la Amazonía tuvo un invierno y una primavera australes más cálidos debido a las cúpulas térmicas de aire caliente y seco. Las temperaturas máximas estuvieron entre +2°C y +5°C por encima del promedio en los estados

**a. Niveles máximos y mínimos anuales de agua del Río Negro**



**b. Series temporales de anomalías mensuales de la temperatura del aire en superficie promediadas a lo largo de las estaciones**



**FIGURA 2.** a) Niveles anuales máximos (inundaciones, líneas azules) y mínimos (sequías hidrológicas, líneas rojas), del Río Negro monitoreados en el puerto de Manaus de 1902 a 2023 (Amazonía central). Los años calendario indican inundaciones extremas ( $\geq 29$  m) y sequías ( $< 15,8$  m) (Fuente: J. Schöngart, INPA). b) Serie temporal de anomalías mensuales de la temperatura del aire en superficie promediadas por estaciones, JJA (Junio, Julio y Agosto) y SON (Septiembre, Octubre e Noviembre) de 1980 a 2023. La línea discontinua se refiere a la tendencia lineal, con el valor de la pendiente (slp) en  $^{\circ}\text{C}$  por década. Los valores estadísticamente significativos de la pendiente ( $p < 0,05$ ), están marcados con un asterisco. Los puntos de datos de anomalías son estadísticamente diferentes de cero en los niveles de 1 y 2 y están coloreados en amarillo y rojo, respectivamente. Los valores de las anomalías de temperatura se extrajeron del re-análisis de suelo ERA5.

brasileños afectados de Amazonas, Rondônia, Roraima y Acre en el trimestre de septiembre-octubre-noviembre de 2023. Los niveles de agua extremadamente bajos y la alta radiación solar entrante, hicieron que la temperatura del agua en los lagos (por ejemplo, el lago Tefé, en la Amazonía central) alcanzara más de 40°C.

El calentamiento global, combinado con la fase cálida de la AMO y el aumento de las temperaturas de la superficie del mar en el TNA, están directamente relacionados con el aumento de la temperatura del aire y la duración e intensidad de la estación seca (del orden de 1 a 2 semanas), especialmente en las regiones amazónicas que muestran una alta deforestación e incendios a gran escala<sup>15</sup>. Es probable que estos procesos combinados, reduzcan el período de retorno de eventos de sequía severa en los próximos años.

---

## 2. IMPACTOS ECOLÓGICOS DE LAS SEQUÍAS

---

### *Impactos en los ecosistemas de tierra firme.*

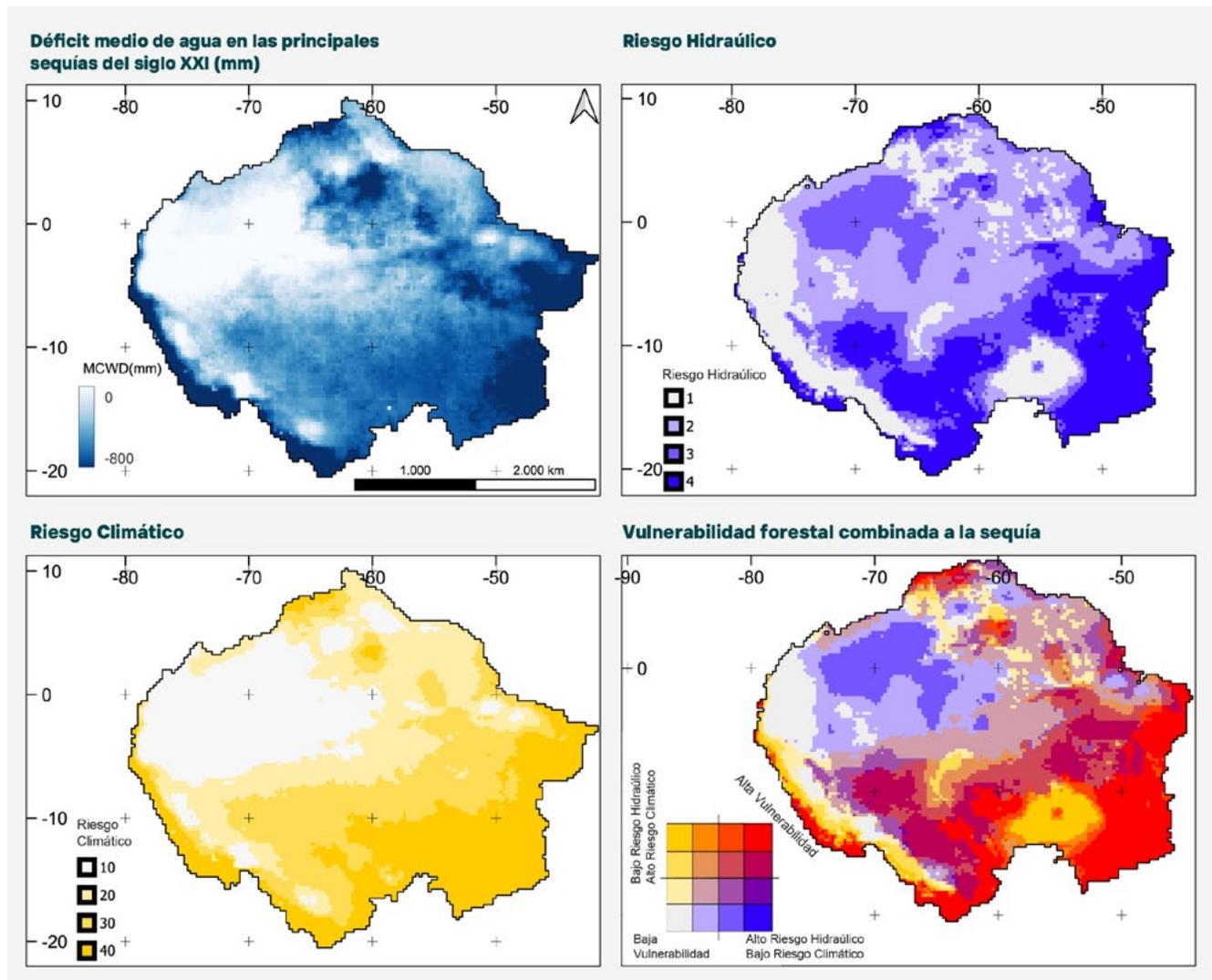
El monitoreo continuo a largo plazo (~50 años) de los bosques amazónicos no inundados y las sequías impuestas artificialmente, han demostrado la sensibilidad de los árboles del bosque amazónico al bajo suministro de agua, siendo el aumento de la mortalidad de los árboles la respuesta más consistente en diferentes estudios<sup>16-18</sup>. Estudios de teledetección también sugieren que las sequías disminuyen la capacidad fotosintética de los árboles, y la magnitud de este efecto ha ido aumentando a lo largo del tiempo<sup>19</sup>. Las plantas más sensibles son aquellas con baja resistencia a fallas hidráulicas, como ser los árboles más grandes, más expuestos a atmósferas más secas y árboles con menor ciclo vital (ya que ambos tienden a tener menor resistencia hidráulica), así como los árboles más pequeños situados en bosques dentro de las regiones más

secas de la Amazonía, debido a sus raíces poco profundas<sup>18-23</sup>. Estos patrones de mortalidad diferenciales, han aumentado el número de especies tolerantes a la sequía. al mismo tiempo que ha disminuido el número de especies intolerantes a la sequía<sup>24</sup>, que corren el riesgo de desaparecer. Las sequías repetidas probablemente harán que los bosques amazónicos estén dominados por un menor número de especies de árboles, de menor estatura y con mayor resistencia hidráulica.

Los bosques que naturalmente tienen estaciones secas más largas (dominantes en la mitad sur de la Amazonía), han sido los más afectados por fuertes sequías (**Figura 3**), con una mayor mortalidad de árboles y, en consecuencia, pérdida de biomasa<sup>25,26</sup>. Los efectos negativos de las sequías se ven exacerbados por la deforestación en el este y sur de la Amazonía<sup>12,27,28</sup>. Al mismo tiempo, los bosques con acceso constante al suministro de agua subterránea (en valles y tierras bajas) o los bosques que pueden explotar las reservas de agua del suelo profundo, han mostrado una mayor resiliencia a las sequías, sin una pérdida significativa de biomasa<sup>29,30</sup>. El sumidero de carbono proporcionado por el crecimiento de los árboles en toda la Amazonía (estimado entre 0,42 a 0,65 toneladas de C per hectare per year entre 1990 y 2007, alrededor del 25% del sumidero terrestre), ha ido disminuyendo en las últimas dos décadas<sup>30</sup>, pero se vio especialmente afectado por las sequías, cayendo a casi cero poco después de los eventos de 2009-2010 y 2015-2016, debido a un menor crecimiento de los árboles y una mayor mortalidad de los árboles<sup>24,25</sup>. Esto significa que las sequías pueden contrarrestar los sumideros de carbono de los bosques, acelerando el calentamiento global. Además, los impactos negativos del bajo suministro de agua interactúan con los del aumento de la temperatura<sup>31</sup>, de modo que las sequías con múltiples olas de calor, como en 2023, tienen el potencial de acelerar la pérdida de biomasa forestal. Se estima que alrededor del 21% de la Amazonía está degradada por las sequías extremas de este siglo<sup>32</sup>, sin considerar los impactos del evento de 2023-24.

Cambios en la estructura forestal causados por sequías – p.ej. disminución de la cobertura de dosel y alteración de la regeneración del sotobosque – conducen a una disminución de la fauna terrestre y acuática que depende de bosques intactos, lo que a su vez puede conducir a bosques vacíos<sup>33-35</sup>. Los cambios en la fenología de los árboles inducidos por la sequía, pueden disminuir la disponibilidad de frutos, lo que lleva a mayores tasas de mortalidad de los animales frugívoros. Las sequías también provocan estrés fisiológico de la fauna arbórea, disminuyendo

el tiempo dedicado a la alimentación con el efecto final de aumentar las tasas de mortalidad<sup>35</sup>. Los frecuentes eventos extremos secuenciales (sequías e inundaciones), aumentan las tasas de mortalidad de varios mamíferos terrestres<sup>35</sup> (pecarí de labios blancos, pecarí de collar, venado colorado, agutí negro, paca, oso hormiguero gigante y armadillo de nueve bandas), que son claves para la regulación de la diversidad forestal<sup>36,37</sup>. Las especies terrestres y acuáticas se ven afectadas de manera diferente, ya que los períodos prolongados de inundaciones



**FIGURA 3.** Vulnerabilidad ecológica de las regiones amazónicas a partir de los impactos de la sequía 2015-16 y vulnerabilidad intrínseca de los árboles. **Los mapas muestran mayores déficits hídricos durante las sequías, riesgos climáticos e hidráulicos y riesgos combinados de muerte de árboles que aumentan hacia las regiones sur y este de la Amazonía, con algunas zonas de alto riesgo en la región centro-oriental.** El déficit hídrico se calculó como el Déficit Máximo Acumulado de Agua (MCWD) para las principales sequías: 2005, 2009 y 2015. El riesgo climático se proyectó en función de la pérdida de carbono debido a la mortalidad de árboles durante la sequía de 2015-16, como función de la evolución histórica<sup>26</sup>. El riesgo hidráulico representa el riesgo de que los árboles pierdan la capacidad de conducir agua<sup>100</sup>. La vulnerabilidad combinada de los bosques a la sequía, es la superposición de los riesgos climáticos e hidráulicos, los colores más cálidos indican una mayor vulnerabilidad combinada a ambos factores.

tienen mayores impactos en las especies terrestres, disminuyendo la población de especies terrestres como el pecarí de labios blancos y el pecarí de collar, mientras que los períodos prolongados de sequía pueden disminuir las poblaciones de animales acuáticos de especies como los manatíes, delfines de río y varias especies de peces<sup>35,38</sup>.

***Impactos en los ecosistemas inundados estacionalmente.*** Las condiciones de sequía hidrológica en las llanuras aluviales de la Amazonía, varían considerablemente ya que estas áreas experimentan bajos niveles de agua en diferentes períodos del año, dependiendo de su ubicación geográfica, lo que tiene fuertes implicaciones para la disponibilidad de agua para las plantas y la vulnerabilidad a los incendios. Las sequías inducidas por fenómenos severos de El Niño (diciembre-marzo), coinciden con períodos de estiaje en el medio-alto río Negro, el río Branco y otros afluentes del escudo guyanés dominados por igapós<sup>27</sup>. En contraste, las llanuras aluviales de várzea se encuentran principalmente en el hemisferio Sur y tienden a ser menos vulnerables a las sequías inducidas por El Niño y a los riesgos de incendios debido a que los niveles de agua ya están aumentando durante este período<sup>39</sup>. En regiones donde las etapas de estiaje coinciden con la estación seca, la sequía puede aumentar la mortalidad de los árboles de las llanuras aluviales, especialmente de aquellos que tienen raíces poco profundas (plántulas enraizadas y árboles jóvenes de igapós). Los igapós también son más vulnerables a las sequías debido a los suelos mayormente arenosos o limosos<sup>40</sup>, que drenan más rápido que los suelos arcillosos de las várzeas y a los sistemas de raíces generalmente muy poco profundas ( $\leq 40$  cm)<sup>41</sup>.

El dosel del bosque en el igapó, generalmente es menos estratificado y más bajo, lo que resulta en una menor humedad relativa del aire en el suelo

del bosque<sup>42,43</sup>. Esto puede provocar que estos ecosistemas sean altamente vulnerables a los incendios<sup>44,45</sup>, como se documentó en las severas sequías de 1925-1926, 1982-1983, 1997-1998 y 2015-2016<sup>44,46,47</sup>. Las condiciones hidrometeorológicas secas generadas por El Niño, favorecen la propagación de incendios en el sotobosque a lo largo de la superficie del suelo, lo que provoca una mortalidad masiva de árboles<sup>43</sup>. Las represas como la Balbina, indujeron una sequía artificial severa y prolongada en la llanura aluvial de igapó aguas abajo, que causó una mortalidad generalizada de árboles<sup>48</sup>. Los bosques secundarios que se extienden por varias docenas de kilómetros a lo largo del río Uatumã aguas abajo de la presa Balbina, probablemente se establecieron y desarrollaron después de la mortalidad masiva de los antiguos bosques de igapó<sup>49,50</sup>. En contraste, se ha observado un mayor crecimiento de los árboles en la várzea amazónica central durante los eventos de El Niño, a medida que se extiende la temporada de crecimiento de las especies de árboles durante el período no inundado<sup>51,52</sup>. Con base en estas observaciones, podemos suponer que los impactos ecológicos para la vegetación de la llanura aluvial causados por la sequía histórica de 2023, podrían ser más intensos en los bosques de igapó en comparación con los bosques de várzea.

Aunque ocupan una fracción más pequeña en la Amazonía (alrededor del 6-10%<sup>53,54</sup>), las llanuras aluviales son capaces de sustentar una gran abundancia de animales y son esenciales para algunas etapas de sus ciclos de vida, ya que muchas especies acuáticas amazónicas (por ejemplo, manatíes y muchas especies de peces, incluido el arapaima), migran a cuerpos de agua más permanentes en la estación seca<sup>55-58</sup>. Sin embargo, las sequías extremas causan el rápido aislamiento de los cuerpos de agua de ambientes previamente conectados, y estos animales migratorios pueden quedar atrapados en cuerpos de agua aislados y poco profundos<sup>53</sup>, lo que podría conducir a una

sobreexplotación de animales atrapados en lagos poco profundos. Sin embargo, durante la sequía de 2023, cientos de mamíferos (por ejemplo, delfines de río)<sup>59</sup>, murieron debido al aumento de la temperatura del agua y la disminución de la concentración de oxígeno. Las sequías también tienen efectos duraderos en la fauna acuática, como los cambios en la composición de especies y tipos funcionales, como los observados en el evento de 2005 que todavía sigue teniendo impactos después de más de 10 años<sup>60</sup>. Además, la reducción del volumen de agua de los ríos puede aumentar el riesgo de incendios en las zonas circundantes. Existe evidencia de que la cubierta forestal es esencial para mantener la diversidad y la productividad de los peces<sup>58,60</sup>, por lo que la pérdida de vegetación puede aumentar la tasa de sedimentación, haciendo que los cuerpos de agua sean menos profundos e interrumpiendo las conexiones entre cuerpos de agua.

**Sequías e incendios.** Las sequías aumentan considerablemente la incidencia de incendios en la Amazonía, como se observó en 2005, 2010 y 2015<sup>61</sup>, y 2023<sup>62</sup>, lo que genera un ciclo de retroalimentación positiva entre incendios y sequías. Los altos déficits de agua, la mortalidad generalizada de los árboles y la caída de residuos generados por las sequías, aumentan la disponibilidad de combustibles, lo que convierte a los bosques que alguna vez fueron húmedos en sistemas más inflamables. Durante 2005 (14.584 km<sup>2</sup>) y 2010 (32.815 km<sup>2</sup>), el área forestal total quemada fue de dos a cuatro veces mayor a la media del período 2001-2018<sup>32</sup>. En la sequía extrema de 2015, el fuego se extendió más allá del Arco de Deforestación y afectó áreas en la Amazonía central que no habían sido afectadas anteriormente<sup>62</sup>. La región del bajo Tapajós en la Amazonía oriental – el epicentro de esa sequía – experimentó mega-incendios forestales sin precedentes, que quemaron alrededor de 10.000 km<sup>2</sup> de bosques<sup>61</sup>.

Las emisiones de carbono se encuentran entre los principales impactos de los incendios forestales durante las sequías extremas en la Amazonía. Se ha estimado que los incendios forestales son responsables de alrededor de un tercio de las emisiones de carbono atribuidas a la deforestación durante el período 2003-2015 y representan más de la mitad de las producidas por la deforestación de bosques primarios durante los años de sequía<sup>62</sup>. Un solo incendio forestal en el sotobosque puede reducir las reservas de carbono sobre el suelo hasta en un 50%<sup>63</sup>. En la región del bajo Tapajós, El Niño de 2015-16 y los incendios asociados, provocaron la muerte estimada de >2.500 millones de tallos leñosos, lo que provocó la emisión de 495 ± 94 Tg de CO<sub>2</sub>, con impactos globalmente relevantes<sup>64</sup>. Dicha área corresponde a solo el 1,2% de la Amazonía brasileña, pero las emisiones fueron mayores que las emisiones medias anuales de CO<sub>2</sub>, derivadas de la deforestación en toda la Amazonía brasileña entre 2009 y 2018<sup>64</sup>. Además, los incendios forestales pueden transformar un bosque en una fuente neta de carbono durante muchos años después de los incendios<sup>64</sup>, lo que resultó en alrededor de ~25% menos de carbono almacenado, incluso después de 30 años. Los incendios recurrentes, que se vuelven más probables con el tiempo a medida que una mayor parte de la región se ve afectada por sequías e incendios, pueden provocar pérdidas de carbono de más del 80% del carbono superficial<sup>63</sup>.

Los incendios forestales tienen efectos significativos en la biodiversidad, lo que lleva a altos niveles de rotación comunitaria, con la pérdida de especies sensibles de alto valor de conservación e importancia funcional, como las aves, con áreas de distribución más pequeñas y plantas con mayores densidades de madera<sup>64,65</sup>. Los incendios recurrentes cambian profundamente la estructura del bosque y la composición de las especies, con cambios mayores para aves, escarabajos, árboles y mamíferos frugívoros y granívoros<sup>66-68</sup>, lo que podría provocar la pérdida de servicios ecológicos y una

menor seguridad alimentaria para las personas locales y comunidades tradicionales que dependen de los productos forestales<sup>34</sup>. La alta frecuencia de sequías extremas puede convertir los bosques amazónicos en ecosistemas propensos a incendios, lo que convierte a los incendios en un factor relevante de un posible punto de no retorno de la Amazonía<sup>69</sup>.

---

### 3. IMPACTOS SOCIO-ECONÓMICOS DE LAS SEQUÍAS

---

Las sequías plantean grandes desafíos para los pueblos amazónicos y pueden generar impactos socio-económicos tanto a corto como a largo plazo, particularmente para los pueblos indígenas y las comunidades locales más vulnerables (**Figura 4**). Las sequías afectan los medios de vida de alrededor de ~47 millones de personas que viven en la región amazónica de muchas maneras: amenazas a la seguridad y la calidad del agua (especialmente el acceso al agua potable) en áreas rurales y urbanas, inseguridad alimentaria, incertidumbres en torno a la cosecha de algunos productos naturales, impactos en las economías locales y regionales, problemas de salud pública, interrupción del transporte, disminución de la producción de energía, acceso a los derechos humanos, cambios en los hábitos culturales e incluso efectos agravados con otros peligros como el colapso de las riberas de los ríos. Dentro de la Amazonía brasileña, aproximadamente 8,5 millones de personas, incluidos pueblos indígenas y comunidades locales, habitan áreas con infraestructura limitada y servicios insuficientes para hacer frente a los impactos de los extremos climáticos<sup>66</sup>.

Siendo los ríos la principal vía de transporte en la región, miles de personas tanto en áreas urbanas como rurales, se ven directamente afectadas por el aislamiento cuando las sequías disminuyen los niveles de los ríos<sup>69</sup>, como ocurrió en 2005<sup>70</sup>, especialmente

aquellos que viven en afluentes más remotos. En 2023, alrededor de 150.000 familias y más de 600.000 personas<sup>71</sup>, incluidos pueblos indígenas y habitantes de zonas rurales y ribereñas que dependen del transporte fluvial para acceder a alimentos, agua, asistencia médica y mercados para vender productos, se vieron afectados por la sequía, quedando aisladas durante varios meses. Por ejemplo, en el estado de Amazonas, Brasil, los 62 municipios permanecieron en estado de emergencia durante muchos meses. Otra externalidad relacionada con el transporte, es el aumento de los precios de los bienes, incluidos los alimentos: cuanto mayor sea la distancia entre los lugares de venta y los centros de distribución, generalmente ubicados en grandes ciudades como Manaus e Iquitos, mayor será el precio de los bienes durante las sequías. Este fenómeno no es nuevo: en la Amazonía brasileña, por ejemplo, en 2010, 62.000 familias sintieron el impacto de la sequía, exigiendo una inversión gubernamental del orden de 13,5 millones de dólares en ayuda de emergencia<sup>72</sup>. Entre 1997 y 2023, el estado de Acre, Brasil, experimentó cinco casos en los que municipios o estados declararon el estado de emergencia debido a crisis hídricas inducidas por la sequía<sup>73</sup>. Además, los bajos niveles de los ríos también están relacionados con desastrosos deslizamientos de tierra en las riberas de los ríos, causando pérdidas materiales y humanas<sup>74</sup>.

Los impactos de la escasez de agua en el transporte, también afectan la disponibilidad de energía en los hogares, que generalmente depende del combustible entregado por barco. Por ejemplo, la escasez de energía durante la sequía de 2023 en São Gabriel da Cachoeira, en el alto Río Negro – la ciudad con la tercera población indígena más grande de Brasil – tuvo un efecto en cascada en el funcionamiento de otros servicios básicos como la atención médica y la educación. De la misma manera, el bajo nivel de los ríos también afecta el funcionamiento de las represas hidroeléctricas. Ecuador introdujo cortes de energía de varias horas diarias durante dos meses debido a la severa sequía de 2023-2024, que afectó

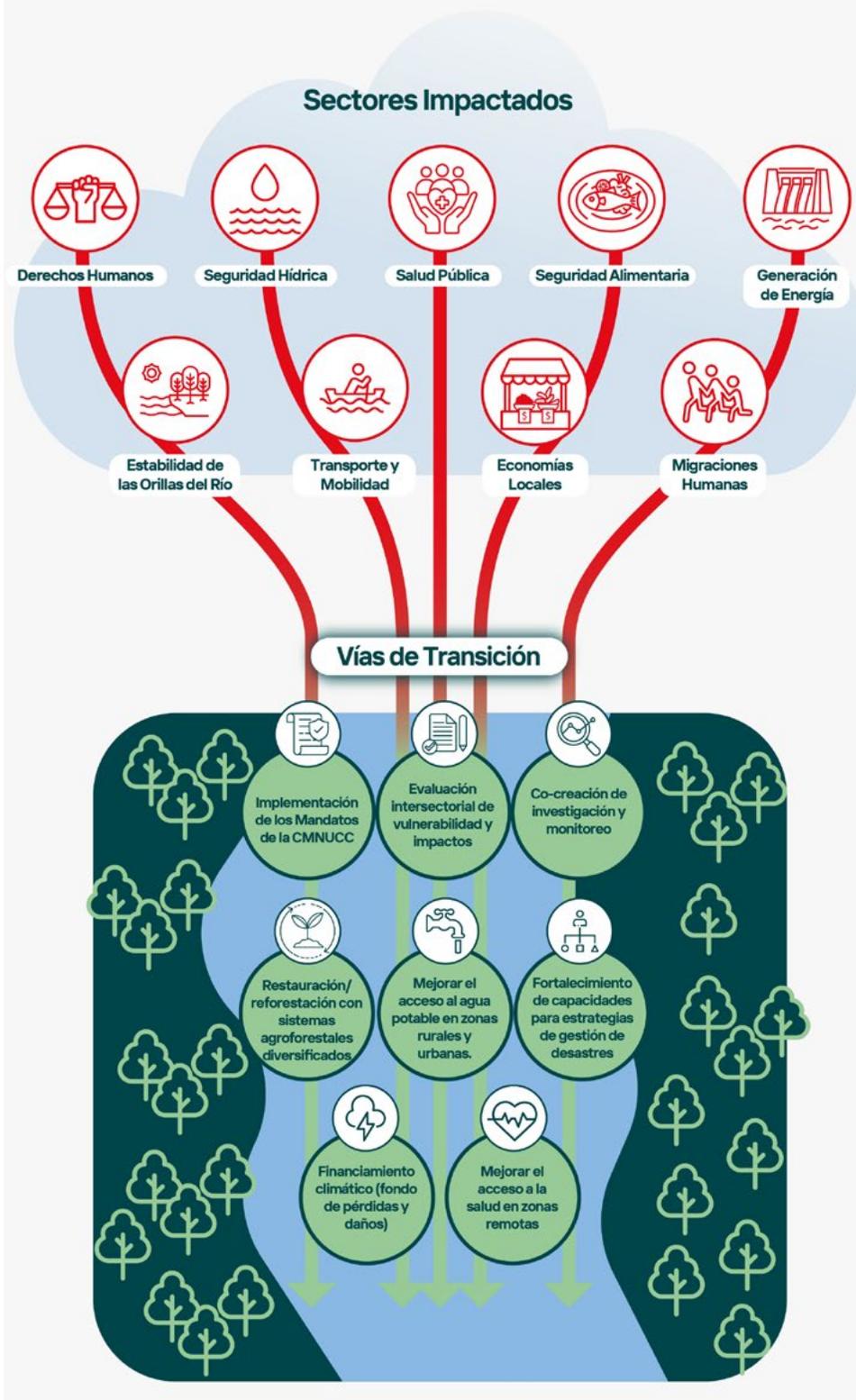


FIGURA 4. Sectores impactados y vías de transición hacia impactos socio-económicos reducidos y mejores soluciones para futuras sequías en la Amazonía.

la producción de algunas centrales hidroeléctricas. Manaus también experimentó 6 horas diarias de cortes de energía debido al bajo nivel de la presa Balbina durante la sequía de 1997<sup>75</sup>.

Desde las tierras altas hasta las tierras bajas, la producción y la seguridad alimentaria de la Amazonía se ven afectadas en gran medida por las sequías y las olas de calor que las acompañan. Las altas temperaturas del aire dañan cultivos básicos como el cacao, la yuca, así como productos extractivos como el açai<sup>76,77</sup>, pero también los grandes monocultivos de soja en regiones deforestadas<sup>78</sup>. La pesca se ve afectada debido a los desafíos para acceder a los lagos de pesca, el transporte a los principales mercados, y la alta mortalidad de peces durante estos eventos<sup>72,79-82</sup>. Asimismo, la falta de acceso a los mercados dificulta la comercialización de la producción de las comunidades<sup>76</sup>.

Los impactos en la salud causados por la falta de acceso a servicios médicos, el aumento de vectores de enfermedades, la desnutrición y el humo de

los incendios, son una gran preocupación durante las sequías extremas. Además, las altas temperaturas del aire tienen un gran impacto en la salud de la población amazónica. En este sentido, las comunidades rurales han estado cambiando los horarios de trabajo para evitar las horas más calurosas de la tarde, mientras que las clases se han suspendido en las escuelas debido al calor excesivo. La hospitalización infantil debido a enfermedades respiratorias causadas por la alta incidencia de incendios, alcanzó su punto máximo en los municipios afectados por la sequía en 2005<sup>83</sup>. La amplificación de los incendios durante las sequías graves plantea importantes repercusiones económicas; por ejemplo, solo el estado brasileño de Acre tuvo una pérdida económica total estimada de aproximadamente 243,36 ± 85,05 millones de dólares (7,03 ± 2,45% del PIB de Acre), durante la sequía de 2010<sup>84</sup>. Las enfermedades transmitidas por el agua, como la diarrea, son comunes durante las sequías extremas debido a mala calidad del agua. Los eventos compuestos de sequía y olas de calor también pueden provocar una mayor incidencia de enfermedades transmitidas por vectores como el dengue<sup>85</sup>. De hecho, la inseguridad hídrica es alta durante estos períodos secos debido a una infraestructura inadecuada para acceder al agua potable y a la falta de políticas públicas para resolver este problema. Las comunidades suelen tener solo pequeñas instalaciones de almacenamiento de agua de lluvia<sup>86</sup>, dependiendo de los cuerpos de agua adyacentes (generalmente contaminados), durante las sequías<sup>87</sup>. En 2023, incluso las comunidades con pozos de agua subterránea permanecían sin acceso al agua y dependiendo del suministro de las defensas civiles locales. Además, en general, varias áreas urbanas amazónicas también presentan altos niveles de inseguridad hídrica.

A medida que las sequías e inundaciones extremas se vuelven cada vez más frecuentes, se ha observado una migración relacionada con el clima, desde las llanuras aluviales a las tierras altas, y desde las zonas rurales a las urbanas<sup>70,88</sup>. Los movimientos migratorios

estacionales y permanentes, desde escalas subregionales (por ejemplo, de comunidades a áreas urbanas), a escalas regionales (por ejemplo, de áreas urbanas más pequeñas a más grandes), ocurren en la Amazonía debido a diferentes factores, incluida la búsqueda de un mejor acceso a la educación y otros servicios básicos<sup>89</sup>, lo que plantea desafíos adicionales para la capacidad de las personas de adaptarse a eventos climáticos extremos.

La gran diversidad social y cultural en toda la Amazonía, implica un patrón muy heterogéneo de impactos socio-económicos relacionados con la sequía, incluida la transferencia de conocimientos tradicionales. Las diferencias en los grupos sociales (p. ej. indígenas, afrodescendientes, ribereños, ribeirinhos, caboclos, etc.), actividades económicas predominantes (p. ej. pesca, agricultura, extractivismo, servicios urbanos), género y edad, y las diferencias regionales entre países y regiones amazónicas (p. ej. las tierras bajas, los Andes amazónicos y los pies de monte), requieren estrategias de adaptación y comprensión específicas de cada sitio para reducir los impactos de los desastres socio-climáticos. Por ejemplo, mientras que los extremos climáticos han incrementado las precipitaciones e inundaciones en las costas y Andes Occidentales del Ecuador, en contraste, las sequías han llegado a las zonas norte y este del país. En este sentido, las poblaciones de las zonas urbanas se han visto afectadas de manera diferente que las comunidades rurales.

Las comunidades remotas a menudo son ignoradas por las políticas climáticas y tienen acceso limitado a la información y a la participación en el debate climático<sup>88,90</sup>, así como a su derecho de consentimiento sobre las estrategias a ser adoptadas<sup>91</sup>. Esto llama la atención sobre la necesidad de mejorar nuestra comprensión de la vulnerabilidad de estas personas a escala regional y local<sup>87,92</sup>, y co-construir medidas de adaptación<sup>87,92</sup>. Si bien los pueblos amazónicos

generalmente coinciden en la percepción de los cambios ambientales y climáticos en curso, como el aumento de la temperatura del aire en verano, la percepción sobre los extremos climáticos difiere entre las culturas<sup>88</sup>. Muchas comunidades informan una mayor imprevisibilidad del clima y los regímenes fluviales<sup>77</sup>, lo que dificulta una adaptación adecuada a cambios en curso.

Los impactos socio-económicos de las sequías en la región amazónica exigen inversiones cuantiosas y variadas. A nivel nacional, existe una disparidad notable en la asignación presupuestaria para abordar los desastres relacionados con el clima. En 2022, países amazónicos como: Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador y Perú, gastaron colectivamente solo 287.829.541 dólares en gestión de desastres, significativamente menos que los 14.188.053.010 dólares invertidos en actividades intensivas en carbono, como la producción de combustibles fósiles. Sin embargo, estos gastos están relacionados con el conjunto de los países, yendo más allá de la propia región amazónica<sup>94</sup>. Colombia asignó la mayor proporción de su presupuesto, con 142 millones de dólares (0,19% de su presupuesto total), seguida por Ecuador con US\$ 14 millones (0,03%), Perú con US\$ 10 millones (0,02%), Brasil con US\$ 121 millones (0,01%) y Bolivia con US\$ 28.000 (0,0001%). Esta discrepancia muestra que, si bien la asignación de recursos es limitada, según el Índice de Finanzas Sostenibles, el costo por pérdidas y daños puede ser mayor con el transcurso del tiempo. De la misma manera, a medida que la Amazonia se acerca a un punto de no retorno, se estima que el costo asociado a la creciente frecuencia e intensidad de las sequías resultará en una pérdida de 45 mil millones de dólares en el Producto Interno Bruto hasta 2050 en los países más grandes de la cuenca (Brasil, Perú, Colombia, Bolivia y Ecuador), principalmente por la pérdida de cultivos y las consecuencias de los incendios<sup>93</sup>.

Todos los impactos socio-económicos explicados, y otros no detallados, no abordados en la literatura, o incluso desconocidos, pueden entenderse bajo el amplio paraguas de un enfoque de derechos humanos. Es importante, por ejemplo, considerar los mandatos establecidos en 2022 por la CMNUCC respecto del enfoque de justicia climática, incluidas las "pérdidas y daños", y los derechos de los niños y las generaciones futuras al desarrollo. Hasta la fecha, las respuestas de los gobiernos nacionales y locales a las sequías históricamente han priorizado estrategias reactivas como la asistencia de socorro de emergencia<sup>71,94</sup>. La situación actual, sin embargo, requiere que se desarrollen e implementen plenamente planes de mitigación y adaptación al clima, y que estos planes incorporen estrategias preventivas, considerando eventos futuros y estableciendo estrategias de adaptación a largo plazo a través de enfoques de co-construcción con las poblaciones locales<sup>89</sup>.

---

## CONCLUSIONES

---

La mitigación de las sequías requiere esfuerzos serios para controlar el calentamiento global, la deforestación y la degradación forestal, así como amplios esfuerzos para la restauración forestal<sup>95,96</sup>. La adaptación a las sequías, requiere enfoques multisectoriales y una gobernanza sólida, incluidas intervenciones en infraestructura, agricultura, saneamiento, acceso al agua potable (como cisternas de agua de lluvia, mayor cantidad de pozos y con mayor profundidad, filtros basados en nanotecnología y distribución de kits de tratamiento de agua de emergencia a comunidades remotas), salud, y el establecimiento de sistemas de alerta temprana de sequías para minimizar los impactos y pérdidas socio-económicas y ambientales. Estos esfuerzos requieren financiamiento climático internacional a través de presupuestos de adaptación, de pérdidas y daños, así como aquellos provenientes

de presupuestos nacionales y locales e iniciativas verdes, además del desarrollo de capacidades de las poblaciones locales y de iniciativas basadas en la socio-bioeconomía y la restauración forestal, para abordar los desafíos actuales y futuros planteados por las sequías en la Amazonía. Por lo tanto, es necesario fomentar la colaboración entre los sistemas de conocimientos científicos y tradicionales, el gobierno, la sociedad civil y el sector privado para maximizar la eficacia. Este enfoque holístico ayudará a abordar los problemas identificados y reforzará nuestra capacidad para mitigar los impactos de las sequías en la región amazónica.

---

## AGRADECIMIENTOS

---

Los autores agradecen a quienes contribuyeron a este informe de políticas. Este agradecimiento incluye las opiniones de expertos de: Carlos Nobre, Marielos Peña-Claros, Germán Poveda, Susan Trumbore, Paulo Nobre, y Emilio Villanova, así como las contribuciones de la consulta pública de: James Albert (University of Louisiana at Lafayette), Bernardo Flores (Unversidade Federal de Santa Catarina), Miriam Marmontel (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia), Mónica Moraes R. (Herbario Nacional de Bolivia), Hans ter Steege (Naturalis Biodiversity Center), y Ana Maria Gonzalez Velosa, Sandra Berman, Arthur Augusto De Freitas Catraio, Gabriela Sofia Flores, and Amy Juelsgaard del Banco Mundial. De la misma manera, los autores agradecen al Secretariado Técnico – Científico del SPA, particularmente a: Julia Arieira, Federico Viscarra, y Daniel Bernstein. Este informe de políticas fue traducido del inglés al portugués por Diego Brandão, y del inglés al español por Federico Viscarra.

---

## REFERENCIAS

---

1. Barichivich J, Gloor E, Peylin P, Brienen RJW, Schöngart J, Espinoza JC, Pattayak KC. Recent intensification of Amazon flooding extremes driven by strengthened Walker circulation. *Science advances*. 2018;4(9):eaat8785–eaat8785. doi:10.1126/sciadv.aat8785
2. Espinoza JC, Jimenez JC, Marengo JA, Schongart J, Ronchail J, Lavado-Casimiro W, Ribeiro JVM. The new record of drought and warmth in the Amazon in 2023 related to regional and global climatic features. *Scientific Reports*. 2024;14(1):8107. doi:10.1038/s41598-024-58782-5
3. Espinoza JC, Marengo JA, Schongart J, Jimenez JC. The new historical flood of 2021 in the Amazon River compared to major floods of the 21st century: Atmospheric features in the context of the intensification of floods. *Weather and Climate Extremes*. 2022;35:100406. doi:10.1016/j.wace.2021.100406
4. Papastefanou P, Zang CS, Angelov Z, de Castro AA, Jimenez JC, De Rezende LFC, Ruscica RC, Sakschewski B, Sörensson AA, Thonicke K, Vera C, Viovy N, Von Randow C, Rammig A. Recent extreme drought events in the Amazon rainforest: assessment of different precipitation and evapotranspiration datasets and drought indicators. *Biogeosciences*. 2022;19(16):3843–3861. doi:10.5194/bg-19-3843-2022
5. Cai W, McPhaden MJ, Grimm AM, et al. Climate impacts of the El Niño–southern oscillation on South America. *Nature Reviews Earth & Environment*. 2020;1(4):215–231. doi:10.1038/s43017-020-0040-3
6. Yoon JH, Zeng N. An Atlantic influence on Amazon rainfall. *Climate Dynamics*. 2010;34(2-3):249–264. doi:10.1007/s00382-009-0551-6
7. Espinoza JC, Ronchail J, Marengo JA, Segura H. Contrasting North–South changes in Amazon wet-

day and dry-day frequency and related atmospheric features (1981–2017). *Climate Dynamics*. 2019;52(9–10):5413–5430. doi:10.1007/s00382-018-4462-2

8. Liu T, Chen D, Yang L, Meng J, Wang Z, Ludescher J, Fan J, Yang S, Chen D, Kurths J, Chen X, Havlin S, Schellnhuber HJ. Teleconnections among tipping elements in the Earth system. *Nature Climate Change*. 2023;13(1):67–74. doi:10.1038/s41558-022-01558-4

9. Galaz V, Meacham M. Redirecting Flows - Navigating the Future of the Amazon. Published online April 19, 2024. doi:10.48550/ARXIV.2403.18521

10. Coelho CAS, Cavalcanti IAF, Costa SMS, Freitas SR, Ito ER, Luz G, Santos AF, Nobre CA, Marengo JA, Pezza AB. Climate diagnostics of three major drought events in the Amazon and illustrations of their seasonal precipitation predictions. *Meteorological Applications*. 2012;19(2):237–255. doi:10.1002/met.1324

11. Clarke B, Barnes C, Rodrigues R, Zachariah M, Stewart S, Raju E, Kimutai J, Philip S, Kew S, Bazo J. *Climate Change, Not El Niño, Main Driver of Exceptional Drought in Highly Vulnerable Amazon River Basin*. World Weather Attribution; 2024. <https://www.worldweatherattribution.org/climate-change-not-el-nino-main-driver-of-exceptional-drought-in-highly-vulnerable-amazon-river-basin/>

12. Staal A, Flores BM, Aguiar APD, Bosmans JHC, Fetzer I, Tuinenburg OA. Feedback between drought and deforestation in the Amazon. *Environmental Research Letters*. 2020;15(4):044024. doi:10.1088/1748-9326/ab738e

13. Leite-Filho AT, Soares-Filho BS, Davis JL, Abrahão GM, Börner J. Deforestation reduces rainfall and agricultural revenues in the Brazilian Amazon. *Nature Communications*. 2021;12(1):2591. doi:10.1038/s41467-021-22840-7

14. Marengo J A, Cunha AP, Espinoza JC. Extremes of hydrometeorology and dry season length in Amazonia associated with the drought of 2023, *Environmental Research Letters*. Preprint published online, 2024.

15. Ribeiro Neto GG, Anderson LO, Barretos NJC, Abreu R, Alves L, Dong B, Lott FC, Tett SFB. Attributing the 2015/2016 Amazon basin drought to anthropogenic influence. *Climate Resilience and Sustainability*. 2022;1(1):e25. doi:10.1002/cli.2.25

16. Marengo JA, Jimenez JC, Espinoza JC, Cunha AP, Aragão LEO. Increased climate pressure on the agricultural frontier in the Eastern Amazonia–Cerrado transition zone. *Scientific Reports*. 2022;12(1):457. doi:10.1038/s41598-021-04241-4

17. da Costa ACL, Rowland L, Oliveira RS, Oliveira AAR, Binks OJ, Salmon Y, Vasconcelos SS, Junior JAS, Ferreira LV, Poyatos R, Mencuccini M, Meir P. Stand dynamics modulate water cycling and mortality risk in droughted tropical forest. *Global Change Biology*. 2018;24(1):249–258. doi:10.1111/gcb.13851

18. Nepstad DC, Tohver IM, Ray D, Moutinho P, Cardinot G. Mortality of large trees and lianas following experimental drought in an Amazon forest. *Ecology*. 2007;88(9):2259–2269. doi:10.1890/06-1046.1

19. Rowland L, da Costa ACL, Galbraith DR, Oliveira RS, Binks OJ, Oliveira A a. R, Pullen AM, Doughty CE, Metcalfe DB, Vasconcelos SS, Ferreira LV, Malhi Y, Grace J, Mencuccini M, Meir P. Death from drought in tropical forests is triggered by hydraulics not carbon starvation. *Nature*. 2015;528(7580):119–122. doi:10.1038/nature15539

20. Aleixo I, Norris D, Hemerik L, Barbosa A, Prata E, Costa F, Poorter L. Amazonian rainforest tree mortality driven by climate and functional traits. *Nature Climate Change*. 2019;9(5):384–388. doi:10.1038/s41558-019-0458-0

21. Brum M, Vadeboncoeur MA, Ivanov V, Asbjornsen H, Saleska S, Alves LF, Penha D, Dias JD, Aragão LEOC, Barros F, Bittencourt P, Pereira L, Oliveira RS. Hydrological niche segregation defines forest structure and drought tolerance strategies in a seasonal Amazon forest. *Journal of Ecology*. 2019;107(1):318-333. doi:10.1111/1365-2745.13022
22. Esquivel-Muelbert A, Baker TR, Dexter KG, et al. Compositional response of Amazon forests to climate change. *Global Change Biology*. 2019;25(1):39-56. doi:10.1111/gcb.14413
23. Barros FDV, Bittencourt PRL, Brum M, et al. Hydraulic traits explain differential responses of Amazonian forests to the 2015 El Niño-induced drought. *New Phytologist*. 2019;223(3):1253-1266. doi:10.1111/nph.15909
24. Powers JS, Vargas G. G, Brodribb TJ, et al. A catastrophic tropical drought kills hydraulically vulnerable tree species. *Global Change Biology*. 2020;26(5):3122-3133. doi:10.1111/gcb.15037
25. Feldpausch TR, Phillips OL, Brien R, et al. Amazon forest response to repeated droughts. *Global Biogeochemical Cycles*. 2016;30(7):964-982. doi:10.1002/2015gb005133
26. Bennett AC, Rodrigues De Sousa T, Monteagudo-Mendoza A, et al. Sensitivity of South American tropical forests to an extreme climate anomaly. *Nature Climate Change*. 2023;13(9):967-974. doi:10.1038/s41558-023-01776-4
27. Laurance WF, Williamson GB. Positive feedbacks among forest fragmentation, drought, and climate change in the Amazon. *Conservation Biology*. 2001;15(6):1529-1535. doi:10.1046/j.1523-1739.2001.01093.x
28. Nobre CA, Sellers PJ, Shukla J. Amazonian deforestation and regional climate change. *Journal of Climate*. 1991;4(10):957-988. doi:10.1175/1520-0442(1991)004<0957:ADARCC>2.0.CO;2
29. Phillips OL, van der Heijden G, Lewis SL, et al. Drought–mortality relationships for tropical forests. *New Phytologist*. 2010;187(3):631-646. doi:10.1111/j.1469-8137.2010.03359.x
30. Costa FRC, Schiatti J, Stark SC, Smith MN. The other side of tropical forest drought: do shallow water table regions of Amazonia act as large-scale hydrological refugia from drought? *New Phytologist*. 2023;237(3):714-733. doi:10.1111/nph.17914
31. Brien R, Phillips OL, Feldpausch TR, et al. Long-term decline of the Amazon carbon sink. *Nature*. 2015;519(7543):344-348. doi:10.1038/nature14283
32. Sullivan MJP, Lewis SL, Affum-Baffoe K, et al. Long-term thermal sensitivity of Earth's tropical forests. *Science*. 2020;368(6493):869-874. doi:10.1126/science.aaw7578
33. Lapola DM, Pinho P, Barlow J, et al. The drivers and impacts of Amazon forest degradation. *Science*. 2023;379(6630). doi:10.1126/science.abp8622
34. Wilkie DS, Bennett EL, Peres C a., Cunningham A a. The empty forest revisited. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2011;1223(1):120-128. doi:10.1111/j.1749-6632.2010.05908.x
35. Bodmer R, Mayor P, Antunez M, Chota K, Fang T, Puertas P, Pittet M, Kirkland M, Walkey M, Rios C, Perez-Peña P, Henderson P, Bodmer W, Biccerra A, Zagarra J, Docherty E. Major shifts in Amazon wildlife populations from recent intensification of floods and drought. *Conservation Biology*. 2018;32(2):333-344. doi:10.1111/cobi.12993
36. Young C, Bonnell TR, Brown LR, Dostie MJ, Ganswindt A, Kienzle S, McFarland R, Henzi SP, Barrett L. Climate induced stress and mortality in vervet monkeys. *Royal Society open science*. 2019;6(11):191078-191078. doi:10.1098/rsos.191078

37. Lacher TE, Davidson AD, Fleming TH, Gómez-Ruiz EP, McCracken GF, Owen-Smith N, Peres CA, Vander Wall SB. The functional roles of mammals in ecosystems. *Journal of Mammalogy*. 2019;100(3):942-964. doi:10.1093/jmammal/gyy183
38. Bogoni JA, Peres CA, Ferraz KMPMB. Effects of mammal defaunation on natural ecosystem services and human well being throughout the entire Neotropical realm. *Ecosystem Services*. 2020;45:101173. doi:10.1016/j.ecoser.2020.101173
39. Fassoni-Andrade AC, Fleischmann AS, Papa F, et al. Amazon hydrology from space: scientific advances and future challenges. Published online March 25, 2021. doi:10.1002/essoar.10506527.1
40. Schöngart J, Wittmann F, Junk WJ, Piedade MTF. Vulnerability of Amazonian floodplains to wildfires differs according to their typologies impeding generalizations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2017;114(41):E8550-E8551. doi:10.1073/pnas.1713734114
41. Wittmann F, Householder JE, Piedade MTF, Schöngart J, Demarchi LO, Quaresma AC, Junk WJ. A Review of the ecological and biogeographic differences of amazonian floodplain forests. *Water*. 2022;14(21):3360. doi:10.3390/w14213360
42. Santos AR dos, Nelson BW. Leaf decomposition and fine fuels in floodplain forests of the Rio Negro in the Brazilian Amazon. *Journal of Tropical Ecology*. 2013;29(5):455-458. doi:10.1017/S0266467413000485
43. Almeida DRA de, Nelson BW, Schiatti J, Gorgens EB, Resende AF, Stark SC, Valbuena R. Contrasting fire damage and fire susceptibility between seasonally flooded forest and upland forest in the Central Amazon using portable profiling LiDAR. *Remote Sensing of Environment*. 2016;184:153-160. doi:10.1016/j.rse.2016.06.017
44. Resende AF de, Nelson BW, Flores BM, de Almeida DR. Fire damage in seasonally flooded and upland forests of the central Amazon. *Biotropica*. 2014;46(6):643-646. doi:10.1111/btp.12153
45. Carvalho TC, Wittmann F, Piedade MTF, Resende AF de, Silva TSF, Schöngart J. Fires in amazonian blackwater floodplain forests: causes, human dimension, and implications for conservation. *Frontiers in Forests and Global Change*. 2021;4. doi:10.3389/ffgc.2021.755441
46. Flores BM, Piedade MTF, Nelson BW. Fire disturbance in Amazonian blackwater floodplain forests. *Plant Ecology & Diversity*. 2014;7(1-2):319-327. doi:10.1080/17550874.2012.716086
47. Flores BM, Holmgren M. White-sand savannas expand at the core of the Amazon after forest wildfires. *Ecosystems*. 2021;24(7):1624-1637. doi:10.1007/s10021-021-00607-x
48. Williams E, Dall' Antonia A, Dall' Antonia V, Almeida JM de, Suarez F, Liebmann B, Malhado ACM. The drought of the century in the Amazon Basin: an analysis of the regional variation of rainfall in South America in 1926. *Acta Amazonica*. 2005;35(2):231-238. doi:10.1590/S0044-59672005000200013
49. Resende AF, Piedade MTF, Feitosa YO, Andrade VHF, Trumbore SE, Durgante FM, Macedo MO, Schöngart J. Flood-pulse disturbances as a threat for long-living Amazonian trees. *New Phytologist*. 2020;227(6):1790-1803. doi:10.1111/nph.16665
50. Neves JRD, Piedade MTF, Resende AF de, Feitosa YO, Schöngart J. Impact of climatic and hydrological disturbances on blackwater floodplain forests in Central Amazonia. *Biotropica*. 2019;51(4):484-489. doi:10.1111/btp.12667
51. Salerno L, Moreno-Martínez Á, Izquierdo-Verdiguier E, Clinton N, Siviglia A, Camporeale C. Satellite analyses unravel the multi-decadal impact of dam management on tropical floodplain

vegetation. *Frontiers in Environmental Science*. 2022;10. doi:10.3389/fenvs.2022.871530

52. Schöngart J, Junk WJ, Piedade MTF, Ayres JM, Hüttermann A, Worbes M. Teleconnection between tree growth in the Amazonian floodplains and the El Niño–Southern Oscillation effect. *Global Change Biology*. 2004;10(5):683–692. doi:10.1111/j.1529-8817.2003.00754.x

53. Schöngart J, Piedade MTF, Wittmann F, Junk WJ, Worbes M. Wood growth patterns of *Maclobium acaciifolium* (Benth.) Benth. (Fabaceae) in Amazonian black-water and white-water floodplain forests. *Oecologia*. 2005;145(3):454–461. doi:10.1007/s00442-005-0147-8

54. Melack JM, Hess LL. Remote sensing of the distribution and extent of wetlands in the Amazon basin. *Ecological Studies*. Published online 2010:43-59. doi:10.1007/978-90-481-8725-6\_3

55. Junk WJ, Piedade, M.T.F., Wittmann, F., Schöngart, J. *Várzeas Amazônicas: desafios para um manejo sustentável*. Editora INPA; 2020.

56. Arraut EM, Arraut JL, Marmontel M, Mantovani JE, Novo EMLDM. Bottlenecks in the migration routes of Amazonian manatees and the threat of hydroelectric dams. *Acta Amazonica*. 2017;47(1):7-18. doi:10.1590/1809-4392201600862

57. Ribeiro MCL de B, Petrere MJ. Fisheries ecology and management of the Jaraqui (*Semaprochilodus Taeniurus*, S. Insignis) in central Amazonia. *Regulated Rivers: Research & Management*. 1990;5(3):195–215. doi:10.1002/rrr.3450050302

58. Fernandes CC. Lateral migration of fishes in Amazon floodplains. *Ecology of Freshwater Fish*. 1997;6(1):36–44. doi:10.1111/j.1600-0633.1997.tb00140.x

59. Castello L, Hess LL, Thapa R, McGrath DG, Arantes CC, Renó VF, Isaac VJ. Fishery yields vary

with land cover on the Amazon River floodplain. *Fish and Fisheries*. 2017;19(3):431–440. doi:10.1111/faf.12261

60. Arantes CC, Winemiller KO, Petrere M, Castello L, Hess LL, Freitas CEC. Relationships between forest cover and fish diversity in the Amazon River floodplain. *Journal of Applied Ecology*. 2017;55(1):386–395. doi:10.1111/1365-2664.12967

61. Aragão LEOC, Anderson LO, Fonseca MG, et al. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nature communications*. 2018;9(1):536–536. doi:10.1038/s41467-017-02771-y

62. Mataveli G, Jones MW, Carmenta R, Sanchez A, Dutra DJ, Chaves M, de Oliveira G, Anderson LO, Aragão LEOC. Deforestation falls but rise of wildfires continues degrading Brazilian Amazon forests. *Global Change Biology*. 2024;30(2):e17202. doi:10.1111/gcb.17202

63. Withey K, Berenguer E, Palmeira AF, Espírito-Santo FDB, Lennox GD, Silva CVJ, Aragão LEOC, Ferreira J, França F, Malhi Y, Rossi LC, Barlow J. Quantifying immediate carbon emissions from El Niño-mediated wildfires in humid tropical forests. *Philosophical transactions of the Royal Society of London Series B, Biological sciences*. 2018;373(1760):20170312. doi:10.1098/rstb.2017.0312

64. Barlow J, Parry L, Gardner TA, Ferreira J, Aragão LEOC, Carmenta R, Berenguer E, Vieira ICG, Souza C, Cochrane MA. The critical importance of considering fire in REDD+ programs. *Biological Conservation*. 2012;154:1–8. doi:10.1016/j.biocon.2012.03.034

65. Berenguer E, Lennox GD, Ferreira J, et al. Tracking the impacts of El Niño drought and fire in human-modified Amazonian forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2021;118(30):e2019377118. doi:10.1073/pnas.2019377118

66. Barlow J, Lennox GD, Ferreira J, et al. Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. *Nature*. 2016;535(7610):144-147. doi:10.1038/nature18326
67. França FM, Ferreira J, Vaz-de-Mello FZ, Maia LF, Berenguer E, Ferraz Palmeira A, Fadini R, Louzada J, Braga R, Hugo Oliveira V, Barlow J. El Niño impacts on human-modified tropical forests: Consequences for dung beetle diversity and associated ecological processes. *Biotropica*. 2020;52(2):252-262. doi:10.1111/btp.12756
68. Silveira JM, Louzada J, Barlow J, Andrade R, Mestre L, Solar R, Lacau S, Cochrane MA. A multi-taxa assessment of biodiversity change after single and recurrent wildfires in a Brazilian Amazon forest. *Biotropica*. 2015;48(2):170-180. doi:10.1111/btp.12267
69. Barlow J, Peres CA. Ecological responses to el Niño-induced surface fires in central Brazilian Amazonia: management implications for flammable tropical forests. *Philosophical transactions of the Royal Society of London Series B, Biological sciences*. 2004;359(1443):367-380. doi:10.1098/rstb.2003.1423
70. Flores BM, Montoya E, Sakschewski B, et al. Critical transitions in the Amazon forest system. *Nature*. 2024;626(7999):555-564. doi:10.1038/s41586-023-06970-0
71. Lapola DM, Pinho P, Quesada CA, Strassburg BBN, Rammig A, Kruijt B, Brown F, Ometto JPHB, Premebida A, Marengo JA, Vergara W, Nobre CA. Limiting the high impacts of Amazon forest dieback with no-regrets science and policy action. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2018;115(46):11671-11679. doi:10.1073/pnas.1721770115
72. UNICEF. *Brazil Humanitarian Situation Report No. 2 (Amazon Drought)*; 2023. Accessed February 16, 2024. <https://www.unicef.org/mali/media/1561/file/ParisPrinciples.pdf>
73. Marengo JA, Borma LS, Rodriguez DA, Pinho P, Soares WR, Alves LM. Recent extremes of drought and flooding in Amazonia: vulnerabilities and human adaptation. *American Journal of Climate Change*. 2013;02(02):87-96. doi:10.4236/ajcc.2013.22009
74. Silva SS da, Brown F, Sampaio A de O, Silva ALC, Santos NCRS dos, Lima AC, Aquino AM de S, Silva PH da C, Moreira JG do V, Oliveira I, Costa AA, Fearnside PM. Amazon climate extremes: Increasing droughts and floods in Brazil's state of Acre. *Perspectives in Ecology and Conservation*. 2023;21(4):311-317. doi:10.1016/j.pecon.2023.10.006
75. Bandeira ICN, Adamy A, Andretta ER, Costa da Conceição RA, de Andrade MMN. Terras caídas: Fluvial erosion or distinct phenomenon in the Amazon? *Environmental Earth Sciences*. 2018;77(6). doi:10.1007/s12665-018-7405-7
76. Parry L, Davies G, Almeida O, Frausin G, de Moraes A, Rivero S, Filizola N, Torres P. Social vulnerability to climatic shocks Is shaped by urban accessibility. *Annals of the American Association of Geographers*. 2018;108(1):125-143. doi:10.1080/24694452.2017.1325726
77. Ávila JV da C, Clement CR, Junqueira AB, Ticktin T, Steward AM. Adaptive management strategies of local communities in two Amazonian floodplain ecosystems in the face of extreme climate events. *Journal of ethnobiology*. 2021;41(3):409-426. doi:10.2993/0278-0771-41.3.409
78. Tregidgo D, Campbell AJ, Rivero S, Freitas MAB, Almeida O. Vulnerability of the Açaí palm to climate change. *Human Ecology*. 2020;48(4):505-514. doi:10.1007/s10745-020-00172-2
79. Gusso A, Ducati JR, Veronez MR, Arvor D, Da Silveira LG. Monitoring the vulnerability of soybean to heat waves and their impacts in Mato Grosso state, Brazil. In: *2014 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium*. IEEE; 2014:859-862. doi:10.1109/IGARSS.2014.6946560

80. Anderson LO, Pinheiro RLG. Impacto das cheias na estrutura física das escolas da várzea de Santarém. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*. 2022;13(3):294-313. doi:10.6008/cbpc2179-6858.2022.003.0024
81. Marengo JA, Espinoza JC. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology*. 2016;36(3):1033-1050. doi:10.1002/joc.4420
82. Pinheiro JAC, Gonçalves VVC, Pereira HS, Fraxe TJP, Oka JM, Siqueira-Souza F, Freitas CEC. Perception of Amazonian fishers regarding environmental changes as causes of drastic events of fish mortality. *Brazilian Journal of Biology*. 2022;82. doi:10.1590/1519-6984.263339
83. Smith LT, Aragão LEOC, Sabel CE, Nakaya T. Drought impacts on children's respiratory health in the Brazilian Amazon. *Scientific reports*. 2014;4:3726-3726. doi:10.1038/srep03726
84. Campanharo W, Lopes A, Anderson L, da Silva T, Aragão L. Translating fire impacts in southwestern Amazonia into economic costs. *Remote Sensing*. 2019;11(7):764. doi:10.3390/rs11070764
85. Barcellos C, Matos V, Lana RM, Lowe R. Climate change, thermal anomalies, and the recent progression of dengue in Brazil. *Scientific Reports*. 2024;14(1):5948. doi:10.1038/s41598-024-56044-y
86. Gomes MCRL, Andrade LC de, Nascimento ACS do, Pedro JPB, Filho CRM. Conditions of use and levels of household access to water in rural communities in the Amazon. *Ambiente & Sociedade*. 2022;25. doi:10.1590/1809-4422asoc20210178r12vu202214oa
87. Sena JA, Beser de Deus LA, Freitas MAV, Costa L. Extreme events of droughts and floods in Amazonia: 2005 and 2009. *Water Resources Management*. 2012;26(6):1665-1676. doi:10.1007/s11269-012-9978-3
88. Funatsu BM, Dubreuil V, Racapé A, Debortoli NS, Nasuti S, Le Tourneau FM. Perceptions of climate and climate change by Amazonian communities. *Global Environmental Change*. 2019;57:101923. doi:10.1016/j.gloenvcha.2019.05.007
89. Pereira HC, Nascimento ACS do, Moura EAF, Corrêa DSS, Chagas HC das. Migração rural-urbana por demanda educacional no Médio Solimões, Amazonas. *Revista Brasileira de Educação*. 2022;27. doi:10.1590/s1413-24782022270029
90. Parry L, Radel C, Adamo SB, Clark N, Counterman M, Flores-Yeffal N, Pons D, Romero-Lankao P, Vargo J. The (in)visible health risks of climate change. *Social science & medicine (1982)*. 2019;241:112448-112448. doi:10.1016/j.socscimed.2019.112448
91. Lago MC do, Rebelo GH, Bruno AC, Henriques LMP. Tikuna perceptions of extreme weather events: a case study on an indigenous lands in the Upper Solimões River, Brazil. *Ethnobiology and Conservation*. 2024;13. doi:10.15451/ec2024-01-13.07-1-19
92. Langill JC, Abizaid C, Takasaki Y, Coomes OT. Integrated multi-scalar analysis of vulnerability to environmental hazards: Assessing extreme flooding in western Amazonia. *Global Environmental Change*. 2022;76:102585. doi:10.1016/j.gloenvcha.2022.102585
93. Banerjee O, Cicowiez M, Macedo MN, Malek Ž, Verburg PH, Goodwin S, Vargas R, Rattis L, Bagstad KJ, Brando PM, Coe MT, Neill C, Marti OD, Murillo JÁ. Can we avert an Amazon tipping point? The economic and environmental costs. *Environmental Research Letters*. 2022;17(12):125005. doi:10.1088/1748-9326/aca3b8
94. Pinho PF, Marengo JA, Smith MS. Complex socio-ecological dynamics driven by extreme events in the Amazon. *Regional Environmental Change*. 2015;15(4):643-655. doi:10.1007/s10113-014-0659-z

95. Barlow J, Anderson L, Berenguer E, Brancalion P, Carvalho N, Ferreira J, Garrett R, Jakovac C, Nascimento N, Peña-Claros M, Rodrigues R, Valentim JF. *Transforming the Amazon through 'Arcs of Restoration.'* 1st ed. Sustainable Development Solutions Network (SDSN); 2022:1-12 p. doi:10.55161/KJCS2175

96. Sist P, Peña-Claros M, Baldiviezo Calles JP, Derroire G, Kanashiro M, Mendoza Ortega K, Piponiot C, Roopsind A, Veríssimo A, Vidal E, Wortel V, Putz FE. *Forest Management for Timber Production and Forest Landscape Restoration in the Amazon: The Way towards Sustainability.* Sustainable Development Solutions Network (SDSN); 2023:1-12p. doi:10.55161/WXNQ3205

97. Henny van Lanen, Jürgen V. Vogt, Joaquín Andreu, et al. Climatological risk: droughts. In: *Science for Disaster Risk Management 2017: Knowing Better and Losing Less.* ; 2017. Accessed June 18, 2024. [https://drmkc.jrc.ec.europa.eu/portals/O/Knowledge/ScienceforDRM/ch03\\_s03/ch03\\_s03\\_subch0309.pdf](https://drmkc.jrc.ec.europa.eu/portals/O/Knowledge/ScienceforDRM/ch03_s03/ch03_s03_subch0309.pdf)

98. Linley GD, Jolly CJ, Doherty TS, et al. What do you mean, 'megafire'? *Global Ecology and Biogeography.* 2022;31(10):1906-1922. doi:10.1111/geb.13499

99. Cunha APMA, Zeri M, Deusdará Leal K, Costa L, Cuartas LA, Marengo JA, Tomasella J, Vieira RM, Barbosa AA, Cunningham C, Cal Garcia JV, Broedel E, Alvalá R, Ribeiro-Neto G. Extreme drought events over Brazil from 2011 to 2019. *Atmosphere.* 2019;10(11):642. doi:10.3390/atmos10110642

100. Garcia MN, Domingues TF, Oliveira RS, Costa FRC. The biogeography of embolism resistance across resource gradients in the Amazon. *Global Ecology and Biogeography.* 2023;32(12):2199-2211. doi:10.1111/geb.13765

## AFILIACIONES DE LOS AUTORES

**Flávia R.C. Costa:** Coordenação de Pesquisas em Dinâmica Ambiental, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Av André Araújo 2223, Manaus, Amazonas, 69067-375 Brazil.

**José Antonio Marengo:** Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN, Estrada Doutor Altino Bondesan, 500 - Distrito de Eugênio de Melo, São José dos Campos, São Paulo, 12.247-060, Brazil. jose.marengo@cemaden.gov.br

**Ana Luisa M. Albernaz:** Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia, Museu Paraense Emílio Goeldi, Av. Magalhães Barata, 376, Belém, Pará, 66040-170 Brazil.

**Ana Paula Cunha:** Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN, Estrada Doutor Altino Bondesan, 500 - Distrito de Eugênio de Melo, São José dos Campos, São Paulo, 12.247-060, Brazil.

**Nicolás Cuvi:** Departamento de Antropología, Historia y Humanidades, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Sede Ecuador, La Pradera e7 174 y Diego de Almagro, Quito, 170157, Ecuador.

**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.

**Joice Ferreira:** EMBRAPA Amazônia Oriental, Trav. Dr. Enéas Pinheiro s/nº, Bairro Marco, Belém Pará, 66095-903 Brazil.

**Ayan Santos Fleischmann:** Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, Estrada do Bexiga, 2584, 69553-225, Tefé, Amazonas, Brazil

**Juan Carlos Jimenez-Muñoz** Global Change Unit (GCU) of the Image Processing Laboratory (IPL), Universitat de València Estudi General (UEVG), C/ Catedrático José Beltrán 2, 46980 Paterna, Valencia, Spain.

**María Belén Páez:** Fundación Pachamama Mayurah, El Potrero vía Lumbisí, Alfonso Lamiña, Quito, 170157, Ecuador.

**Luciano Carramaschi de Alagão Querido:** Coordenação de Pesquisas em Biodiversidade, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Av André Araújo 2223, Manaus, Amazonas, 69067-375 Brazil.

**Jochen Schöngart:** Departamento de Dinâmica Ambiental, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), 2936, Av. André Araújo, Manaus, Amazonas 69067-375, Brazil

MÁS INFORMACIÓN EN  
[theamazonwewant.org](http://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](mailto:spa@unsdsn.org)