



MONOGRAFÍA

Efectos de la deforestación en variables del ciclo hidrológico de la Amazonía

I.F. Ana María Velásquez Amaya

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Especialista en Gestión
Integral de Cuencas Hidrográficas

División de Ingenierías
Facultad de Ciencias Ambientales
Universidad Santo Tomás
Seccional Tunja

Jaime Andrés Moreno, PhD
Tutor

Abril de 2025

Tabla de Contenido

1.	Introducción	4
2.	Objetivos	8
2.1.	Objetivo general.....	8
2.2.	Objetivos específicos	8
3.	Metodología	8
4.	Desarrollo.....	9
4.1.	La Amazonía	9
4.2.	Deforestación de la Amazonía	11
4.3.	Efectos de la deforestación en variables del ciclo hidrológico de la Amazonía	15
5.	Discusión y Conclusiones	29
6.	Bibliografía	33

Índice de Figuras

Figura 1.	Mapa Región de la Amazonía.....	9
Figura 2.	Relación media de reciclaje de precipitación continental pc (1999-2008)	18
Figura 3.	Dinámica de los flujos de agua en diferentes escenarios.....	19
Figura 5.	Tamaño crítico de parche deforestado a escala continental	21
Figura 6.	Dinámica atmosférica inducida por el límite entre bosque y no bosque.	23
Figura 8	Efectos extratropicales en la precipitación debido a la deforestación en cada una de las tres principales regiones tropicales	24

Índice de Tablas

Tabla 1. Bosque existente para el 2000 y deforestación en el periodo 2001-2020 en la región Amazónica y los países que la conforman.....	12
---	----

1. Introducción

El planeta Tierra puede entenderse de manera simplificada como un sistema el cual contempla un conjunto de partes conectadas entre sí, que forman un todo (von Bertalanffy, 1968). Dentro de este sistema, los componentes abióticos (agua, suelo y aire) y el medio biótico (flora y fauna) mantienen interconexiones múltiples y complejas que sostienen la vida como hoy la conocemos.

El ciclo hidrológico abarca una serie de procesos de transformación y movimiento de los flujos de agua a través de distintos medios, formando un sistema interconectado y dinámico. Los bosques desempeñan un rol importante en los principales procesos o componentes del ciclo hidrológico, como son: la evapotranspiración, proceso mediante el cual la humedad es transferida por la cobertura forestal desde la biosfera a la atmósfera, incidiendo en la dinámica de las precipitaciones. Además, los sistemas radicales de los árboles desempeñan un papel clave en la regulación de la infiltración y la escorrentía, favoreciendo la recarga de acuíferos y controlando la erosión (Garate-Quispe et al., 2022). Estas interacciones inciden directamente en la estabilidad de los caudales de los ríos, regulando los niveles mínimos en períodos de sequía, y los máximos en épocas de lluvia (Chang, 2013). Cuando estos ecosistemas son degradados o eliminados, el ciclo hidrológico se ve alterado, generando cambios en la dinámica de las precipitaciones, flujos superficiales y disponibilidad de agua.

Los bosques son sistemas complejos y dinámicos caracterizados por una red de interrelaciones e interdependencias que los hace cruciales para la sostenibilidad de la vida de la fauna y flora silvestre, y de la humanidad. Se consideran ecosistemas estratégicos por los múltiples servicios ecosistémicos que brindan, incluyendo la captura de carbono, la regulación del ciclo del

agua, la estabilidad climática a nivel local y global y la disminución de erodabilidad (Márquez, 1997).

Como señala Barrios et al., (2020), los bosques cumplen un papel determinante en el ciclo hidrológico, y además cumplen un rol importante en la regulación del clima, tanto así, que la selva amazónica regula los patrones climáticos a nivel regional. Dado que, el Planeta Tierra es un sistema el cual está compuesto por una gran variedad de interrelaciones complejas múltiples, es claro que los demás componentes del medio ambiente están relacionados con los ecosistemas boscosos. Sin embargo, aún existe incertidumbre sobre el impacto exacto de la deforestación en el ciclo hidrológico. Mientras algunos investigadores sostienen que la pérdida forestal en regiones extensas, como la Amazonía, no altera significativamente el ciclo hidrológico, otros argumentan que el cambio en el uso del suelo y la deforestación afectan profundamente la dinámica de los ciclos planetarios (Poveda & Mesa, 1995).

La deforestación ha sido una constante en la historia de la humanidad desde la transición del nomadismo al sedentarismo, marcada por el inicio de la agricultura. Esta transición impulsó actividades como la construcción de viviendas, puentes y embarcaciones, que requirieron grandes cantidades de madera, generando una significativa reducción en las coberturas boscosas a lo largo del tiempo (Rodríguez y Valdés María, 2022). Ritchie (2021), resalta que, al finalizar la última era glacial hace 10.000 años, los bosques cubrían aproximadamente el 57% de la superficie habitable del planeta, equivalente a 6 mil millones de hectáreas. En la actualidad, esta cifra se ha reducido a 4 mil millones de hectáreas, lo que significa que el mundo ha perdido un tercio de su cobertura forestal. La deforestación ha reducido los flujos globales de vapor desde la tierra en un 4% (3.000 km³/año) (Gordon et al., 2005).

Por otro lado, Etter et al., (2020) señalan que, en Colombia a mediados del siglo XX, los ecosistemas forestales ocupaban originalmente alrededor de los 94 millones de hectáreas, equivalentes al 82,5% de la superficie terrestre del país, en la actualidad, los bosques ocupan aproximadamente 60 millones de ha, equivalente al 64% de su extensión original. En el estudio concluyen que la transformación de los bosques se ha acelerado mucho durante los últimos 50 años con el aumento de la población, la expansión de la frontera agrícola y el incremento de las economías ilícitas.

El cambio climático es una realidad, y uno de sus causantes es la deforestación abismal de los trópicos y de la Amazonía, de acuerdo con las investigaciones de Armenteras y Rodríguez (2004), la FAO estima una deforestación neta a nivel mundial de 0.20 % entre 1990 y 2000, 0.12% entre el 2000 y el 2005 y 0.14 % entre el 2005 y el 2010, con una pérdida neta de 5,2 millones de hectáreas en la década del 2000 al 2010.

Es importante destacar la estrecha interdependencia entre los bosques y el recurso hídrico, en particular los bosques de la Amazonía los cuales influyen significativamente en el clima y, por ende, en el ciclo hidrológico a escala regional y global. Sin embargo, la destrucción de los bosques se ha convertido en uno de los mayores problemas ambientales de la actualidad.

La Amazonía posee una de las selvas tropicales más extensas, con el sistema fluvial más grande del mundo, diversidad biológica y étnica (Nepstad, 2007). Sin embargo, con el paso del tiempo se ha venido diezmado por la tala rasa indiscriminada. La deforestación de la Amazonía es provocada principalmente por actividades como la ganadería extensiva, y habilitación de áreas para establecimiento de cultivos industriales, lo cual ha generado un grave daño al bioma amazónico, el cual es considerado uno de los ecosistemas más importantes para la estabilidad climática global (RAISG, 2022a). Este problema lleva décadas afectando la región; según el Fondo

Mundial para la Naturaleza (WWF), entre 1970 y 2013 se perdió más del 13% de los bosques amazónicos, y para 2018 las cifras alcanzaban aproximadamente 87,000 km² de pérdida (Vergara et al., 2022).

La deforestación en la Amazonía conlleva al aumento de condiciones más secas y cálidas, (Barlow et al., 2022), lo que podría llevar a un punto crítico e irreversible, transformando los bosques en sabanas secas. Este cambio está intrínsecamente relacionado con el ciclo hidrológico, siendo las principales variables, la precipitación, la evapotranspiración, la infiltración, la escorrentía y la reducción de los caudales (Poveda y Mesa, 1995). Estas alteraciones no solo impactarán a las comunidades locales de la Amazonía, sino también a otras regiones del mundo, comprometiendo la seguridad hídrica global. Por ello, resulta fundamental comprender y evaluar de manera integral los efectos de la deforestación en el ciclo hidrológico, para la implementación de estrategias de mitigación para garantizar la seguridad hídrica de las comunidades y las grandes urbes.

Este trabajo, en primer lugar, presenta una visión general de la Amazonía, su extensión y los países que la conforman. Posteriormente, se aborda el problema de la deforestación en la región, identificando sus principales causas. A continuación, se examinan los efectos de la pérdida de cobertura forestal sobre el ciclo hidrológico (precipitación, evapotranspiración, infiltración y escorrentía), desde diferentes perspectivas científicas. Finalmente, se discuten las implicaciones de estos procesos para la seguridad hídrica y se resalta la importancia de la conservación de los bosques amazónicos para asegurar la disponibilidad de agua a nivel regional y global.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Sintetizar y discutir los efectos de la deforestación en la Amazonía sobre las variables del ciclo hidrológico.

2.2. Objetivos específicos

- Construir una caracterización de los bosques de la Amazonía y de los procesos de deforestación.
- Construir una síntesis los potenciales efectos de la deforestación en Amazonía sobre las variables del ciclo hidrológico.
- Discutir y analizar las potenciales consecuencias de la deforestación sobre la seguridad hídrica.

3. Metodología

Para el desarrollo de esta monografía se empleó una metodología documental de carácter descriptivo centrada en la pregunta de investigación “¿Qué efectos tiene la deforestación en las variables del ciclo hidrológico de la Amazonía?”. La búsqueda de información se realizó en bases de datos científicas como ScienceDirect y redes de acceso abierto, como ResearchGate. Aunque la metodología no constituye una revisión sistemática, se priorizó la selección de documentos relevantes y de alta citación en el tema.

La búsqueda de literatura siguió una estrategia en cadena, buscando referencias a autores citados en libros y artículos científicos clave. Partiendo de estudios de investigadores reconocidos en el área, como son el profesor Miguel Ignacio Peña de la Universidad del Tolima y el profesor

Germán Poveda Jaramillo de la Universidad Nacional de Colombia. Adicionalmente, se realizó la búsqueda de reportes y artículos de noticieros reconocidos como BBC y Mongabay.

4. Desarrollo

4.1. La Amazonía

La Amazonía ocupa alrededor del 40% del territorio suramericano con una extensión de 6.92 millones Km², la cual está distribuida en los países: Brasil (64%), Perú (10%), Colombia (7%), Venezuela (6%), Bolivia (5%), Guyana (3%), Surinam (3%), Guayana Francesa (1%) y Ecuador (1%) (National Geographic, 2023).

Figura 1. Mapa Región de la Amazonía



Fuente: Elaboración propia (2025)

Este vasto ecosistema se destaca como una de las regiones más biodiversas del globo terráqueo, el cual cuenta con una alta riqueza en flora, fauna y culturas étnicas (Nepstad, 2007), siendo muy importante desde diferentes ámbitos de estudio.

La cuenca del río Amazonas alberga una de las redes de drenaje más extensas del planeta y concentra aproximadamente una quinta parte del agua dulce mundial (UNESCO, 2023). Esta vasta red de drenajes incluye cientos de afluentes, muchos de los cuales superan los 1,000 km de longitud, como los ríos Negro, Madeira y Tapajós (Posada-Gil y Poveda, 2022). Estos sistemas fluviales desempeñan un papel fundamental en la regulación del ciclo hidrológico, el transporte de sedimentos y nutrientes (Barrios et al., 2020).

La cuenca Amazónica presenta el sistema de agua dulce con la mayor biodiversidad del mundo, el cual contribuye a la generación de lluvias y a la estabilización del clima en todo el planeta, indica RAISG (n.d.). Sin embargo, la Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada (RAISG), indica que, cada vez es más vulnerable la cuenca Amazónica frente a la aceleración del calentamiento global. Durante 2013 y 2022, varios países amazónicos perdieron más de un millón de hectáreas de cuerpos de agua superficial, lo que ha reducido significativamente la disponibilidad de agua dulce en ríos, lagunas, humedales y otros ecosistemas acuáticos naturales.

La Amazonía es un macro ecosistema que tiene un papel clave en el ciclo hidrológico y climático a diferentes escalas, desde el local al planetario. Ciertamente la deforestación en la Amazonía incide en el clima tanto local, regional y global. Como lo indican Gedney y Valdes (2000), en su estudio donde emplearon un modelo de circulación general (GCM) demuestran que la deforestación completa de la Amazonía incide en las condiciones climáticas a largas distancias de la Amazonía. El modelo predice cambios estadísticamente significativos en las precipitaciones

invernales sobre el Atlántico, que se extienden hacia Europa occidental. Los autores concluyen que, la deforestación en la Amazonía induce cambios en la precipitación y la circulación de los flujos atmosféricos sobre el Atlántico norte y Europa.

4.2. Deforestación de la Amazonía

Son numerosas las actividades antropogénicas que han contribuido significativamente a la reducción de la masa boscosa de la Amazonía. Entre las principales se encuentran la expansión de las fronteras agrícolas y ganaderas, la minería, construcción de represas hidroeléctricas y de vías (Charity et al., 2016). Estas actividades son las principales causantes de la deforestación en esta macrorregión, generando innumerables daños irreversibles y en poco tiempo.

De acuerdo con el reporte anual de Global Forest Watch y la Universidad de Maryland, indican que los países de la Amazonía: Brasil, Bolivia, Perú y Colombia, están dentro de los diez (10) bosques, que más perdieron cobertura durante el año 2022 (Charity et al., 2016). Es una realidad que la deforestación es una de las mayores amenazas para la Amazonía, y de mantenerse la tasa actual de pérdida forestal, se estima que para el año 2030 podría desaparecer el 27% de este ecosistema (Gaia Amazonas, 2017).

La eliminación de la cubierta forestal ha expuesto el suelo al intenso brillo solar ecuatorial. Sin la estructura estratificada del bosque para absorber y moderar la radiación solar, el suelo se calienta, favoreciendo la degradación del paisaje. Además, durante los períodos de sequía, la limitada disponibilidad de agua provoca la muerte de los árboles, cuyo colapso expone aún más el suelo y aporta material inflamable que intensifica los incendios forestales. Esta situación se ha convertido en un ciclo destructivo de pérdida de cobertura boscosa, conformado por el calor

extremo y propagación del fuego. Como resultado se ha iniciado un proceso acelerado de sabanización en la Amazonía, amenazado el clima local, regional y global (Nepstad, 2007).

De acuerdo con el estudio de la RAISG (2022), el área boscosa en el año 2000 cubría el 73,5% (6.226.022 km²) de la región amazónica, en 20 años, la Amazonía ha perdido el 8,7% de bosques (542.581 km²). Por otro lado, en el reporte, informan que entre el 2001 y 2020 la superficie de bosque deforestada alcanzó un total de 542.581 km², concentrándose principalmente en Brasil (440.031 km²), Bolivia (39.239 km²), Perú (29.806 km²) y Colombia (23.004 km²). En la Tabla 1, se presentan los bosques existentes para el 2000 y el área deforestada entre el 2001 y 2020, de todos los países que conforman la Amazonía.

Tabla 1. Bosque existente para el 2000 y deforestación en el periodo 2001-2020 en la región Amazónica y los países que la conforman

País	Superficie boscosa en el año 2000 (km²)	Deforestación 2001 – 2020 (km²)	% Deforestación con relación al año 2000
Bolivia	469.816	39.239	8,35%
Brasil	4.089.067	440.031	10,76%
Colombia	441.936	23.004	5,21%
Ecuador	101.558	6.232	6,14%
Guyana	188.447	418	0,22%
Guyane française	82.169	237	0,29%
Perú	731.419	29.806	4,08%
Suriname	138.656	689	0,50%
Venezuela	392.856	2.925	0,74%
Amazonía	6.635.924	542.581	8,7%

Nota. Datos tomados de la RAISG (2022)

En Bolivia, se perdieron más de 3.000 km² de bosque tropical del Amazonas entre 2020 y 2021, la cuarta cifra más alta de deforestación en el mundo (RAISG, 2022b). La mayor parte de la deforestación de la Amazonía boliviana es producto de la extracción de oro y al desmonte generalizado de tierras para la agroindustria (Seth, 2024). Además, durante agosto de 2017 fue

aprobado una ley que permite la construcción de una nueva carretera de más de 300 km en medio de la reserva Territorio Indígena y Parque Nacional Isiboro Sécuré -Tipnis (Miranda, 2017).

En Brasil, de acuerdo con Luchetti et al. (2016) los niveles de pérdida de bosques más bajos se registraron en el año 1991 con poco más de 11.000 km², y los más altos fueron registrados en el año 1995, alcanzando los 29.059 km². Las causas de la deforestación se atribuyen a actividades principalmente económicas, entre las cuales está la producción de coca, agricultura y ganadería extensiva, silvicultura y la minería. El aumento de la deforestación estuvo influenciado por el presidente Jair Bolsonaro, cuyo periodo de gobierno fue desde 2019 – 2022, además, cabe resaltar que dicho mandatario ha sido el único presidente que ha negado la existencia del cambio climático en Sudamérica (Franchini et al., 2020). Tras el mandato anterior, el actual presidente de Brasil, Luiz Inácio Lula da Silva, se comprometió a frenar la deforestación y a eliminarla por completo para 2030. Como resultado de estas medidas, en 2023 se registró una reducción del 36% en la pérdida de bosques primarios (McGrath, 2024).

La Amazonía colombiana se compone de varias subregiones: la subregión del piedemonte colonizado está integrada por los departamentos de Caquetá y Putumayo; la subregión norte se compone del departamento del Guaviare; la subregión noroccidental se conforma por los departamentos de Guainía y Vaupés; y la subregión sur se compone del Departamento del Amazonas. Además, también se encuentra integrada, parcialmente, por los departamentos del Cauca, Meta, Nariño y Vichada (Olaya, 2021).

En 2020 La Amazonía colombiana representa el 68,2% de la deforestación a nivel nacional. De acuerdo con el Observatorio de conflictos socioambientales de la Amazonía (n.d.) en 2020 se perdieron 1093.02 km² de bosque, mientras que en 2021 la cifra aumentó a 1128.99 km². De esta pérdida, el 62,5% ocurrió en áreas protegidas y el 9% en Parques Nacionales Naturales. Desde

1990 los causantes de la deforestación en la Amazonía colombiana han sido la ganadería, agricultura, y minería (Nieves y Ruiz, 2021). No obstante, de acuerdo con el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – SINCHI, por dos años consecutivos, el país logró una reducción importante en las cifras de deforestación pasando de 1235.17 km² afectadas en 2022 a 795.26 hectáreas en 2023 (SINCHI, 2024).

Por otro lado, la Amazonía Ecuatoriana representa alrededor de la mitad del territorio nacional al ser el segundo país más pequeño de Suramérica (EFE Verde, 2019). El cambio del uso del suelo, de bosques a cultivos y pastizales ha sido una de las principales causantes de la deforestación, además de la tala ilegal de árboles para la obtención de madera y la expansión de la minería (El Oriente, 2023).

A lo contrario de los países anteriores, la Guyana presenta una de las menores tasas de anuales de deforestación según el gobierno. Así mismo La Guayana Francesa tiene el mayor porcentaje de bosques en áreas protegidas (aproximadamente del 50%) y la tasa más baja de deforestación de los países amazónicos. No obstante, los líderes ambientales manifiestan su preocupación por el aumento de la minería ilegal. Dentro de este grupo, está el país de Surinam, siendo uno de los países amazónicos con el mejor desempeño en conservación del bioma, sin embargo, también lucha contra actividades extractivas, como la minería ilegal del oro (C. Costa, 2020).

La Amazonía peruana en el 2019 contemplaba un área de alrededor 682741.6 km², la cual se divide en dos regiones, la selva baja y la selva alta. Las principales causas históricas de la deforestación son el cambio del uso del suelo, y la expansión de la agricultura y la ganadería (Barreda, 2021). Además, desde 2006, Perú ha experimentado un auge en la explotación de oro en

la Reserva Natural Tambopata, una de las áreas con mayor biodiversidad en la región, que ha afectado al ecosistema (C. Costa, 2020).

Por último, en Venezuela, según Gutiérrez (2022) entre 2016 y 2020 se perdieron más de 1400 km² de bosque primario en la Amazonía venezolana, siendo los principales promotores la minería ilegal, la expansión agrícola y los incendios. La falta de políticas que velen por la protección del ecosistema ha acelerado la transformación del bioma. En 2016, el presidente Nicolás Maduro firmó el decreto presidencial 2248, mediante el cual se creó la Zona de Desarrollo Estratégico Nacional Arco Minero del Orinoco – AMO, un área de 112,000 km² al sur del río Orinoco donde se legalizó la actividad extractiva (Contreras y Restrepo, 2022).

4.3. Efectos de la deforestación en variables del ciclo hidrológico de la Amazonía

Aunque en la actualidad persiste un debate científico entre la incidencia de los bosques en el clima, es claro que el complejo amazónico desempeña un papel fundamental en el ciclo hidrológico debido a su capacidad para retener grandes cantidades de humedad y regular los caudales mínimos y máximos, influyendo en el clima a diversas escalas.

A continuación, se presentan los principales componentes del ciclo hidrológico, agrupados según su fuerte interdependencia Precipitación y Evapotranspiración, y, por otro lado, Escorrentía e Infiltración. Si bien todos los elementos del ciclo hidrológico están interconectados, estas agrupaciones reflejan relaciones de mayor dependencia y secuencia entre sí.

4.3.1. Precipitación y Evapotranspiración

La precipitación y la evapotranspiración son procesos interdependientes fuertemente relacionados dentro del ciclo hidrológico, formando un sistema de retroalimentación en el que uno no puede existir sin el otro.

La precipitación es el proceso mediante el cual el agua presente en la atmósfera regresa a la superficie terrestre en estado sólido o líquido (Chang, 2013). La precipitación suministra agua a los drenajes, acuíferos, contribuye a la humedad del suelo necesaria para la formación de diferentes tipos de ecosistemas.

Para que ocurra la precipitación, el agua en la atmósfera debe enfriarse por debajo del punto de rocío, lo que provoca su condensación y eventual caída en forma de lluvia (Chang, 2013). No toda el agua precipitada, sigue el mismo destino, dado que es un ciclo. Una parte es interceptada por el área foliar de las coberturas vegetales y vuelve a evaporarse, otra se infiltra en el suelo y alimenta la humedad edáfica, los sistemas de drenaje o los acuíferos subterráneos.

La evapotranspiración agrupa dos procesos, la evaporación que ocurre cuando el agua líquida de la superficie terrestre presente en suelos, cuerpos de agua o retenida en el follaje de los bosques se convierte en vapor y regresa a la atmósfera. Por otro lado, está la transpiración que es el proceso mediante el cual el agua absorbida por las raíces de las plantas asciende por el sistema vascular y se libera en forma de vapor a través de los estomas de las hojas o las lenticelas en la corteza. Este intercambio continuo entre precipitación y evapotranspiración es importante para entender la regulación del clima y la disponibilidad de agua en diferentes hemisferios (Chang, 2013).

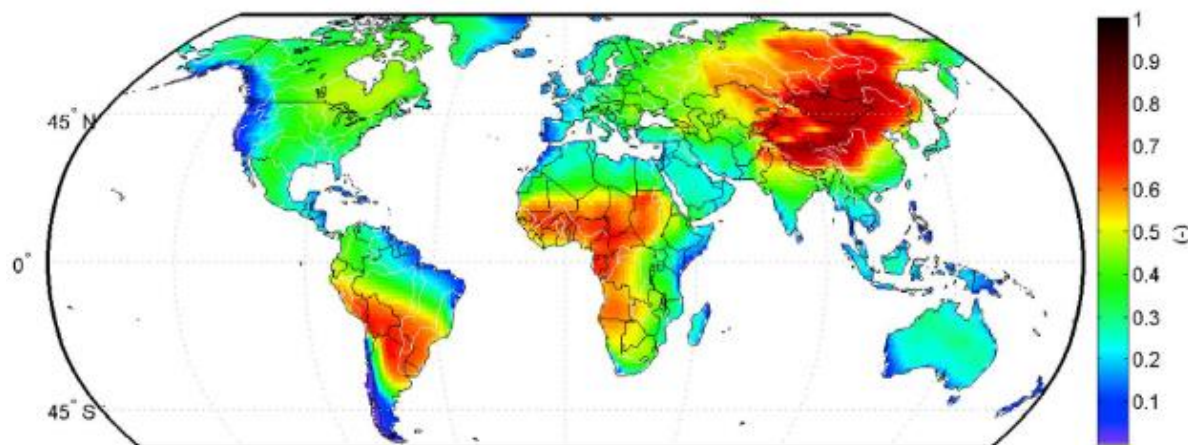
Es un hecho que los bosques dependen del agua para su subsistencia, no obstante, persiste un debate científico sobre la relación inversa. La comunidad científica ha abordado esta cuestión mediante estudios que analizan el comportamiento de la precipitación y la evapotranspiración en áreas deforestadas, así como en bosques primarios y secundarios.

Además, es otro hecho, que los bosques de la Amazonía tienen un rol determinante en el balance del régimen hidrológico (Poveda y Mesa, 1995), y principalmente se debe por el proceso de evapotranspiración, debido a que los árboles tienen la capacidad de recargar la humedad atmosférica (Ellison et al., 2017), lo que contribuye al reciclaje del agua. En la cuenca amazónica, la tasa de reciclaje de la precipitación varía entre un 24% y un 35%, con un valor medio del 28% (Costa et al., 2022)

Dentro de la comunidad científica que respalda la hipótesis de que la cobertura boscosa contribuye al aumento de la precipitación, una de las principales sustentaciones científicas es el reciclaje de la humedad. Van Der Ent et al. (2010), en su investigación emplearon el procedimiento de contabilidad basado en datos de reanálisis de ERA-Interim, donde calcularon las tasas de reciclaje de humedad y concluyeron que, en promedio, el 40% de la precipitación terrestre proviene de la evapotranspiración de la superficie terrestre, y el 57% de toda la evapotranspiración terrestre regresa como precipitación sobre la tierra.

La Figura 2 muestra la tasa de reciclaje de la precipitación continental ρ_c en todos los continentes, donde las regiones con los valores más altos son China, la cuenca del Congo en África occidental y la Amazonía en Sudamérica. Estas zonas tienen en común que albergan extensas selvas tropicales.

Figura 2. Relación media de reciclaje de precipitación continental ρ_c (1999-2008)



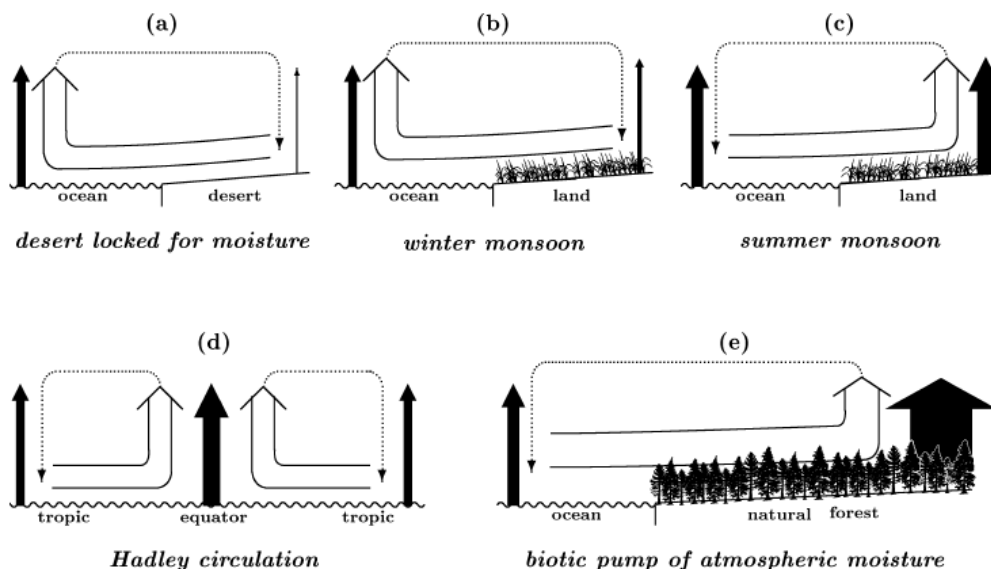
Fuente: tomada de Van Der Ent et al. (2010)

En el caso de América del Sur, el estudio señala que la cuenca del Río de la Plata, que atraviesa los países de Argentina y Paraguay, depende en un 70% de la evapotranspiración generada en la selva amazónica para su abastecimiento hídrico (Van Der Ent et al. 2010). En la investigación en mención, demuestran el importante papel de los patrones de viento globales, la topografía y la cobertura terrestre en los patrones de reciclaje de la humedad continental y la distribución de los recursos hídricos globales.

En el marco del reciclaje de humedad, Makarieva y Gorshkov (2007), analizan los principios geofísicos y ecológicos que permiten que las masas continentales de la Tierra mantengan niveles suficientes de humedad para sostener la vida. Su estudio concluye que las grandes cuencas hidrográficas se han formado y mantenido gracias a las llamadas “bombas bióticas de humedad”, es decir, los propios bosques, que actúan como mecanismos que atraen el vapor de agua desde los océanos hacia el interior de los continentes. Este proceso compensa la pérdida de agua por escorrentía y ayuda a mantener la humedad del suelo en los ecosistemas forestales.

En la Figura 3, las flechas negras representan el flujo de evaporación, cuyo grosor indica la magnitud de dicho flujo o fuerza evaporativa. Las flechas vacías ilustran los movimientos horizontales y ascendentes del aire cargado de humedad en la atmósfera inferior, mientras que las flechas punteadas corresponden a los flujos de compensación de aire seco en la atmósfera superior, tras la condensación del vapor de agua y la precipitación. Como se observa en el esquema (e), los bosques generan su propia precipitación al atraer aire húmedo desde el océano, regulando así el ciclo hidrológico. Sin embargo, la degradación de esta bomba biótica de humedad, causada por la deforestación, reduce el transporte de humedad atmosférica desde el océano hacia el interior continental, especialmente a través de las zonas costeras. Los autores, también señalan un claro ejemplo de esto es el desierto del Sahara, donde la ausencia de bosques está directamente relacionada con la escasez de precipitaciones.

Figura 3. *Dinámica de los flujos de agua en diferentes escenarios*



Fuente: Tomada de Makarieva y Gorshkov (2007)

Los estudios recientes de Makarieva et al. (2022) demuestran que la evapotranspiración de los bosques tropicales regula la convergencia atmosférica de vapor de agua, afirman los autores que los bosques actúan como reguladores activos del ciclo hidrológico, manteniendo la precipitación mediante mecanismos de retroalimentación que controlan la entrada de humedad desde los océanos.

Dado que la dinámica de los flujos de agua no se limita únicamente al área de la cuenca hidrográfica y bajo el concepto de reciclaje de humedad, Keys et al. (2012) destacan la relevancia de las denominadas cuencas pluviales, las cuales son regiones fuente de evapotranspiración que contribuyen a la precipitación en determinadas áreas, las cuales, por lo general son mucho más extensas que las cuencas hidrográficas. En su estudio, identificaron que la evaporación terrestre representa una fuente significativa de precipitación no solo en la misma área de la cuenca, sino, en diversas regiones del mundo, especialmente en aquellas ubicadas a sotavento, donde el estrés hídrico es mayor. Por lo tanto, la deforestación influye directamente en la estabilidad de las precipitaciones, y en la seguridad hídrica, afectándose los cultivos de secano.

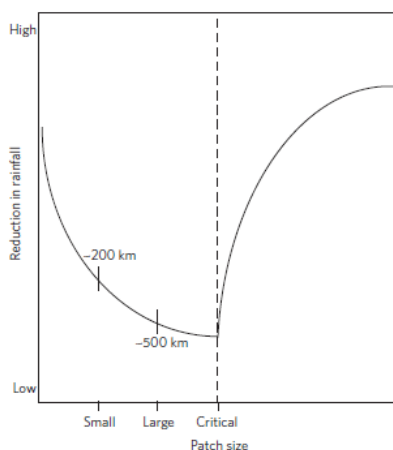
La remoción de la cobertura boscosa altera el reciclaje de humedad conllevando a un desequilibrio en el ciclo hidrológico, reduciendo las precipitaciones en la Amazonía. Zemp et al., (2017) demostraron que la deforestación puede disminuir las precipitaciones en la estación seca hasta en un 20%, Además, de incidir en el balance energético, debido a la ausencia de vegetación, hay un incremento en el albedo superficial (Santos Orozco et al., 2023), afectando la resiliencia del bosque, ya que, los bancos de semillas de especies arbustivas y arbóreas de importancia ecológica no cuentan con las condiciones climáticas necesarias para germinar, impidiendo la recuperación del bosque. En otras palabras, la deforestación puede llevar al ecosistema boscoso a un punto de no retorno.

Lawrence y Vandecar (2015) indican que la deforestación completa de los trópicos provocaría un aumento de las temperaturas medias globales, no obstante, los autores indican que no habría una incidencia en la precipitación media global.

Así mismo, Baker y Spracklen (2019), en su estudio titulado “Climate Benefits of Intact Amazon Forests and the Biophysical Consequences of Disturbance”, identificaron que la pérdida de bosque disminuyó el área foliar, y la evapotranspiración. Estos cambios están directamente relacionados con el aumento de la temperatura, que se intensifica a medida que avanza la deforestación, no obstante, no se presentaron cambios significativos en la precipitación.

La variación en los regímenes de precipitación depende del tamaño del área deforestada. Cuando se supere el punto crítico habrá un cambio abrupto en el ciclo hidrológico, llevando a una fuerte disminución de la precipitación en la región afectada (Lawrence y Vandecar, 2015), ver Figura 4. Además de la extensión de la deforestación, el patrón espacial en el que ocurre también es clave en la alteración del clima regional, afectando el reciclaje de humedad y la estabilidad del régimen de lluvias.

Figura 4. *Tamaño crítico de parche deforestado a escala continental*

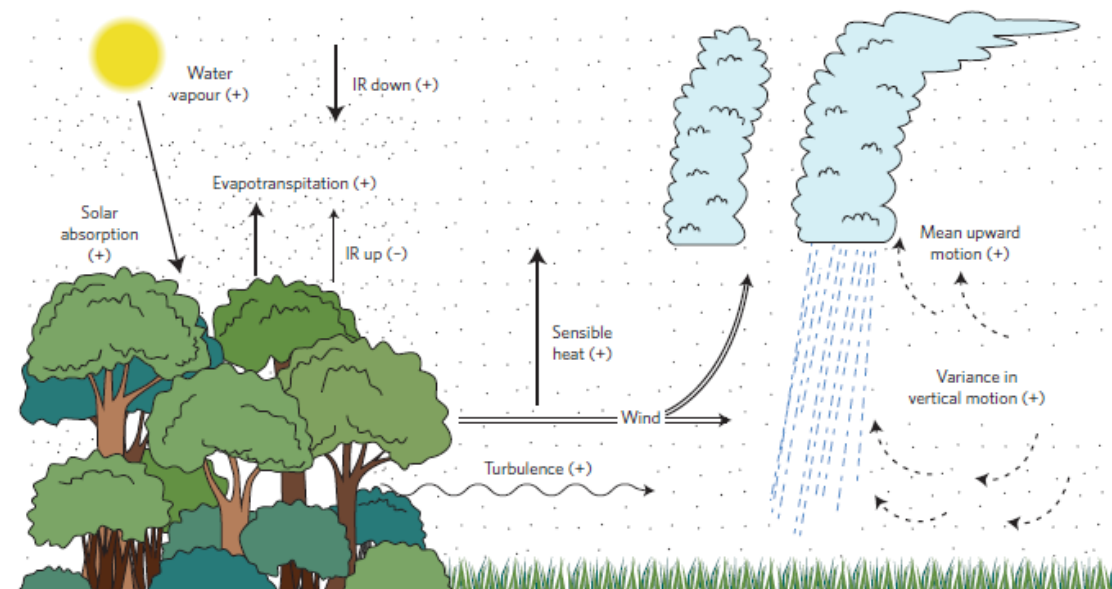


Fuente: Tomada de Lawrence y Vandecar (2015)

Nobre et al. (2009), señalaron que, en la cuenca amazónica influye la continuidad espacial del área deforestada. Sus resultados muestran que la deforestación completa provocó las mayores reducciones en la precipitación (26-42%), mientras que, cuando la deforestación se distribuyó uniformemente en una cuadrícula de celdas relativamente pequeñas la precipitación se redujo menos (14-22%). Cuando el mismo nivel de deforestación se produjo en una cuadrícula con celdas nueve veces más grandes, la reducción en la precipitación fue aún menor (12-15%). Esta investigación corrobora y mantiene la importancia de conservar grandes áreas de bosque para mantener la precipitación a sotavento.

De acuerdo con los modelos de circulación general (modelos informáticos globales en 3D del sistema climático que vinculan la atmósfera, los océanos y la superficie terrestre), los pequeños claros a escalas regionales pueden resultar incluso en un aumento de la precipitación local sobre el área deforestada, dado que, según los modelos de mesoescala se predice un aumento de la convección, y potencialmente un aumento de la convección y por lo tanto precipitación en las zonas deforestadas (Lawrence y Vandecar, 2015). Aunque, la deforestación reduce la evapotranspiración del área deforestada, los vientos aportan humedad de la zona boscosa adyacente, y tras la convección y formación de nubes, puede producirse lluvia (ver Figura 5).

Figura 5. Dinámica atmosférica inducida por el límite entre bosque y no bosque.



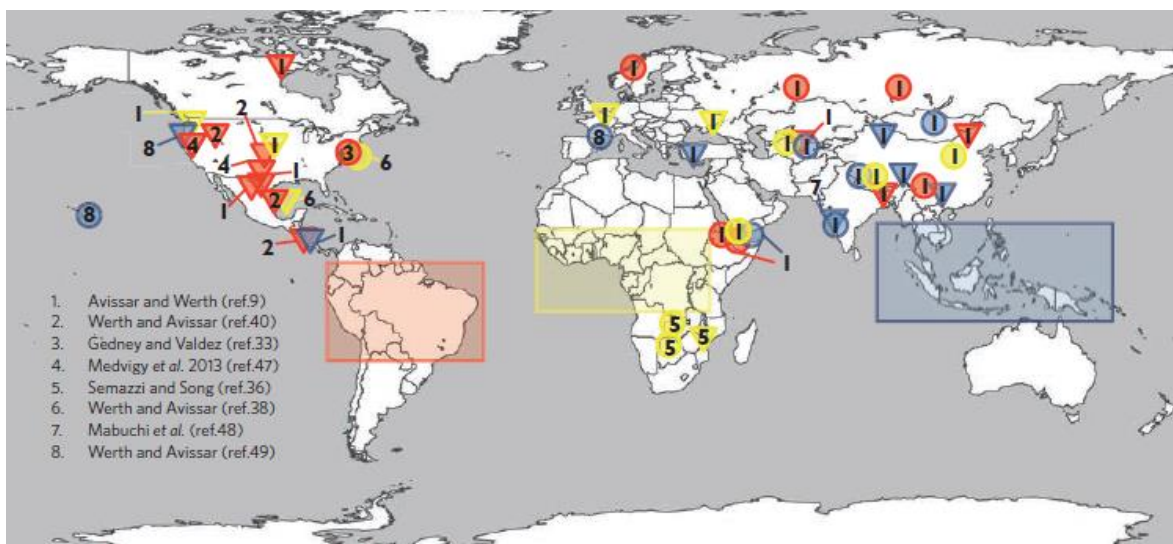
Fuente: tomada de Lawrence y Vandecar (2015)

Por otro lado, Spracklen et al., (2012) encontraron que en una simulación donde la deforestación fuera del 40% del bosque amazónico redujo la precipitación en un 12% durante la estación húmeda y en un 21% durante la estación seca en la cuenca Amazónica. Además, de incidir en la cuenca Amazónica se observó una disminución del 4% en la precipitación en la cuenca del Río de la Plata, situada a miles de kilómetros al sur de la Amazonía.

En el estudio de Lawrence y Vandecar (2015), la simulación de la deforestación completa de la Amazonía redujo las precipitaciones en el Medio Oeste de los EE. UU, así como en el Noroeste de los EE. UU. En otro modelo, aumenta las precipitaciones (particularmente en invierno) en la costa este de los EE. UU. y el Atlántico noreste, extendiéndose hacia Europa occidental y posiblemente afectando las precipitaciones en Europa. En la Figura 6, se presentan los efectos extratropicales en la precipitación por causa de la deforestación en cada una de las tres

principales tropicales del estudio (Amazonía, Sudeste Asiático, África Central). Los círculos y los triángulos representan el aumento y la disminución de la precipitación respectivamente, la cual se debe a la deforestación total de la Amazonía (rojo), África (amarillo) o el Sudeste Asiático (azul). Los recuadros indican la superficie de bosque tropical eliminada en cada región y los números hacen referencia al estudio del que se obtuvieron los datos. Se identifica como los efectos de la deforestación son a nivel global.

Figura 6 Efectos extratropicales en la precipitación debido a la deforestación en cada una de las tres principales regiones tropicales



Fuente: Tomada de Lawrence y Vandecar (2015)

Los flujos de agua generan interconexiones a largas distancias, ya que las selvas amazónicas, con sus altas tasas de evapotranspiración, contribuyen a la formación de los llamados ríos voladores, masas de vapor de agua que se desplazan a través de la atmósfera transportando humedad a otras regiones (Cifuentes y Cote, 2022), siendo este proceso crucial para la distribución de las precipitaciones a nivel continental.

Poveda et al., (2023), señalan que por causa de la deforestación y por consecuente la disminución de la evapotranspiración se podría provocar una disminución significativa en las precipitaciones del sureste del continente, afectando el equilibrio hídrico de ecosistemas y poblaciones dependientes de estas lluvias. Esto pondría en riesgo la seguridad hídrica de grandes centros urbanos como São Paulo, Río de Janeiro, Buenos Aires y Montevideo, donde el abastecimiento de agua depende, en gran medida del reciclaje de la humedad.

Los flujos atmosféricos juegan un papel esencial en la regulación del ciclo hidrológico, facilitando el reciclaje de la humedad, de largas extensiones boscosas, como La Amazonía que funciona como una bomba biótica, un mecanismo impulsado por la cobertura forestal que mantiene la humedad atmosférica y sustenta la vida biodiversa propia de los trópicos. Sin la presencia de bosques, la humedad proveniente del océano no sería suficiente para sostener las condiciones climáticas necesarias para la mantener la biodiversidad. A diferencia de los flujos de humedad geofísicos, que transportan vapor de agua desde los océanos hacia el interior del continente, la bomba biótica actúa de manera activa, redistribuyendo el agua dentro del ecosistema terrestre (Makarieva y Gorshkov, 2007).

De acuerdo con Makarieva y Gorshkov (2007), los bosques actúan como esponjas al acumular el agua a lo largo del tiempo y además funcionan como una bomba manteniendo estables las reservas hídricas necesarias para la vida. Diversos estudios han analizado los principios geofísicos y ecológicos que rigen la bomba de agua biótica, concluyendo que solo una cobertura forestal natural, intacta y contigua, con amplias fronteras adyacentes a grandes cuerpos de agua como mares y océanos, puede garantizar un nivel óptimo de humedad en los continentes.

En el artículo titulado "Influencia de la deforestación y el cambio climático en la formación de los 'ríos voladores de la Amazonía' y su impacto en la disponibilidad hídrica de Bogotá y la

región circundante". Los llamados ríos voladores son flujos de humedad impulsados por los vientos que desempeñan un papel clave en el régimen de precipitaciones de zonas alejadas de la selva (Cifuentes y Cote, 2022). Los autores destacan que Bogotá, ciudad capital que alberga aproximadamente al 15% de la población colombiana, enfrenta un creciente problema de abastecimiento de agua, el cual se ve agravado por la reducción de estos flujos de humedad debido a la deforestación. Esto evidencia la estrecha relación entre la conservación de los bosques amazónicos y la seguridad hídrica de regiones distantes.

El trabajo de Cifuentes & Cote (2022) demuestra que a lo largo de las trayectorias de los ríos aéreos la lluvia se intensifica o se mantiene constante, siempre que el río aéreo fluya sobre bosques y decrezca sobre otros tipos de vegetación. Esto ratifica la importancia del bosque para generar su propia lluvia. La deforestación reduce el caudal de los ríos aéreos por menor evapotranspiración del bosque y menor reciclaje de la lluvia, por lo tanto, si se reducen los ríos aéreos, se disminuye directamente la precipitación y los caudales de los drenajes en el periodo de sequía.

4.3.2. Infiltración y Escorrentía

La precipitación que llega a la superficie del suelo puede ser absorbida total o parcialmente por el suelo en el proceso de infiltración. El agua infiltrada puede perderse en el aire a través de la evapotranspiración, ser retenida en el suelo como almacenamiento de humedad del suelo, convertirse en agua subterránea a través de la percolación o correr lateralmente en el perfil del suelo como escorrentía subterránea para alcanzar los cauces de los drenajes (Chang, 2013).

La infiltración de agua en el suelo está directamente relacionada con las características físicas de este, las cuales varían según los cambios en el uso del suelo provocados por actividades antrópicas como la deforestación, que suelen dar paso a la ganadería y agricultura extensiva. Estas alteraciones disminuyen la capacidad de retención del agua del suelo, afectando el balance hídrico. Los bosques al presentar varios estratos son claves para la infiltración del agua, y además los sistemas radicales protegen el suelo de la erosión (Chang, 2013).

La deforestación en los trópicos, como la tala mecanizada de bosques, causan alteraciones de la capa superficial del suelo, como la pérdida de materia orgánica, aumento de la compactación, aumento de la probabilidad de inundaciones y erosión superficial (Peña-Arancibia et al., 2019), esto se debe a que la pérdida de cobertura arbórea reduce la interceptación y evaporación del dosel y la infiltración del suelo, lo que resulta en una mayor escorrentía durante las lluvias torrenciales (Lawrence y Vandecar, 2015).

Garate-Quispe et al., (2022) en su estudio titulado “Diferencias en la capacidad de infiltración del suelo en dos tipos de cobertura vegetal en la Amazonía Peruana”, concluyen que la capacidad de infiltración es mayor en los bosques primarios comparado con pastizales, por otro lado, señalan que los bosques con mayor abundancia, riqueza y diversidad arbórea tienden a presentar una mayor capacidad de infiltración.

Por otro lado, Poveda, et al., (2023) indican que una de las consecuencias más preocupantes de la deforestación es la intensificación de la frecuencia y magnitud de los eventos hidrometeorológicos extremos, como las sequías prolongadas y las tormentas torrenciales que conllevan a inundaciones.

Salazar et al. (2018) en su estudio, la deforestación debilita el reservorio forestal, un mecanismo que vincula la capacidad de regulación de las cuencas fluviales amazónicas con su cobertura forestal. Esta alteración incrementa la variabilidad extrema de los caudales, intensificando tanto las inundaciones en la estación húmeda como la disminución de los caudales en la estación seca.

Además de ser una bomba, los bosques extensos como la Amazonía son esponjas, al mejorar la capacidad de infiltración del suelo y la retención de humedad. La deforestación tropical generalmente resulta en una disminución de las tasas de evapotranspiración, y a su vez se presenta una reducción en la infiltración, que conlleva a un aumento del flujo superficial y puede causar una reducción de la recarga de aguas subterráneas y de los flujos de base (Peña-Arancibia et al., 2019).

4.4. Efectos sobre la seguridad hídrica

El profesor Poveda advierte que, en el futuro, ciudades capitales como Bogotá, Quito, Lima y La Paz podrían enfrentar escasez de agua debido a la deforestación en la Amazonía. Esto se debe a la importancia de los llamados ríos voladores, los cuales como se mencionó anteriormente, son corrientes de humedad atmosférica generadas por la evapotranspiración del bosque amazónico, que desempeñan un papel clave en la regulación climática de Sudamérica. Según el ingeniero Poveda, esta red de drenaje atmosférico es fundamental para el equilibrio hídrico de la región, ya que abastece de humedad a los glaciares y páramos andinos, fuentes esenciales de agua para grandes ciudades (Montes et al., 2020).

La deforestación acelerada representa una amenaza crítica para la seguridad hídrica de diversas capitales sudamericanas densamente pobladas, como Bogotá (Colombia), Quito

(Ecuador), Lima (Perú) y La Paz (Bolivia). Estas ciudades ya enfrentan desafíos significativos en el suministro de agua potable debido a la alta concentración de población, infraestructura limitada y creciente demanda.

En el caso específico de Bogotá, la situación es particularmente preocupante. En el año 2024, la ciudad experimentó racionamientos de agua como consecuencia de fenómenos climáticos extremos que afectaron los niveles de los embalses. Bogotá depende en gran parte del Sistema Chingaza, el cual se alimenta de fuentes hídricas provenientes de la región de la Orinoquía, un ecosistema que también está siendo presionado por procesos de deforestación (Hernández, 2024).

Además, la seguridad hídrica está estrechamente relacionada con la salud pública. La escasez o mala calidad del agua puede incrementar la incidencia de enfermedades como la desnutrición, la diarrea infantil, el cólera, las enfermedades transmitidas por vectores como el dengue y la malaria, así como afecciones cutáneas y respiratorias (Naciones Unidas, 2021). De esta manera, la pérdida de cobertura boscosa no solo impacta los ecosistemas naturales, sino también el bienestar y la salud de millones de personas en centros urbanos dependientes del buen funcionamiento de los ecosistemas amazónicos y andinos.

5. Discusión

El sistema Tierra presenta múltiples interconexiones complejas, en el cual la alteración o deterioro de uno de sus componentes impacta inevitablemente a los demás. Desde la perspectiva de la Teoría de Gaia, propuesta por James Lovelock (Carranza, 2013), la biosfera actúa como un sistema autorregulado en el que los organismos vivos influyen en las condiciones ambientales para mantener la vida en el planeta.

Ruiz-Vásquez et al., (2020) en su investigación donde analizaron los cambios en el transporte de humedad atmosférica hacia América del Sur tropical durante el período 1961-2010, obtuvieron resultados indican que, la deforestación amazónica fortalece el flujo transecuatorial de humedad desde el Atlántico Norte Tropical y el Mar Caribe hacia Sudamérica durante el verano austral. Sin embargo, durante el verano boreal, este flujo se debilita, reduciendo el transporte de humedad hacia latitudes septentrionales y alterando los patrones de precipitación en la región. Además, la deforestación en la cuenca amazónica incrementa la frecuencia de estaciones secas prolongadas en la Amazonía centro-sur entre un 29 % y 57 %, dependiendo del grado de deforestación.

La deforestación amenaza con desestabilizar estos procesos, poniendo en riesgo la biodiversidad y las comunidades locales, y el equilibrio climático global. La comprensión y preservación de este ecosistema son fundamentales para garantizar la sostenibilidad de los recursos hídricos y el bienestar humano. Toda vez que la deforestación conlleva a un aumento de la temperatura, que influye en los procesos del ciclo hidrológico, como la precipitación y evapotranspiración, poniendo en riesgo la seguridad hídrica en un principio de las comunidades locales. El Amazonas, contiene una red de drenajes basta y compleja que brinda el sustento de comunidades. El río Amazonas es el sustento de 2,2 millones de indígenas (The Nature Conservancy, 2022).

La deforestación no solo reduce la capacidad de los ecosistemas para regular el ciclo hidrológico mediante la disminución de la evapotranspiración, la infiltración y la retención de agua en los suelos, sino que también amplifica los efectos del cambio climático, intensificando la variabilidad en las precipitaciones y generando fenómenos extremos como sequías o inundaciones.

6. Conclusiones

Teniendo en cuenta la literatura consultada, no hay duda de que la erradicación total del bosque en la cuenca amazónica generaría cambios climáticos significativos a diferentes escalas geográficas. Sin embargo, el debate se centra en determinar cuánta deforestación es necesaria para que haya una incidencia en el ciclo hidrológico. Muchos autores coinciden en que, debido a la enorme extensión de la Amazonía, la pérdida de pequeños parches de bosque no tendría un impacto significativo en la precipitación (Lawrence & Vandecar, 2015). No obstante, a medida que la deforestación aumenta, otros componentes del ciclo hidrológico comienzan a verse afectados.

Sin la compleja estructura del bosque, caracterizada por diversos estratos vegetales, la evapotranspiración disminuiría considerablemente. Además, la ausencia de sistemas radiculares profundos, que mejoran la infiltración y regulan la humedad del suelo, afectaría la recarga de los acuíferos y aumentaría la escorrentía. Esto alteraría los caudales mínimos y máximos de los ríos durante las estaciones secas y lluviosas, respectivamente, impactando la estabilidad hídrica de la región.

Si bien se reconoce que la deforestación influye en el ciclo hidrológico, el umbral exacto a partir del cual los cambios se vuelven críticos aún es incierto. Sin embargo, esta incertidumbre no debe utilizarse como una justificación para continuar la tala indiscriminada. Algunos estudios han señalado que en zonas deforestadas la precipitación puede aumentar, pero sin la vegetación que regula el agua, se intensifican la erosión y la remoción del suelo y por lo tanto las inundaciones, afectando los sistemas productivos agropecuarios y, en consecuencia, a las comunidades locales.

Por ello, es fundamental adoptar una visión integral del problema y tomar medidas preventivas. Mientras la comunidad científica sigue investigando los efectos de la deforestación,

es imprescindible que los gobiernos implementen políticas y proyectos de conservación de la Amazonía, dado su papel crucial en la regulación hídrica global, como la Organización de Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA), la cual es una organización intergubernamental, constituida por los ocho países amazónicos: Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, Perú, Surinam y Venezuela, que suscribieron el Tratado de Cooperación Amazónica (TCA), el cual está orientado a promover el desarrollo armónico de los territorios amazónicos, de tal manera que las acciones conjuntas de los países amazónicas produzcan resultados equitativos y mutuamente beneficiosos en el logro del desarrollo sostenible/sustentable de la Región Amazónica (OTCA, n.d.).

Si se permite la permanencia y continuidad de la deforestación en La Amazonía, el continente sudamericano no contará con la bomba biótica reguladora del agua, la escorrentía inducirá la erosión de los suelos, impidiendo la recuperación del ecosistema, y cambiando lo que inicialmente era bosque a zonas áridas. Makarieva y Gorshkov (2007) indican que la deforestación en zonas boscosas extensas, conllevarían a la disminución de al menos un orden de magnitud del caudal de los ríos, aparición de sequías, inundaciones e incendios, desertificación parcial de la zona costera y desertificación completa de las partes interiores de los continentes, las pérdidas económicas asociadas superarían con creces los beneficios económicos de la tala de bosques, y además un escenario de este tipo haría imposible la vida de millones de personas.

Dado que este trabajo no se basó en una revisión sistemática de la literatura, sus resultados deben entenderse como una primera aproximación a los efectos de la deforestación sobre los flujos de agua en la Amazonía y sus posibles repercusiones en la seguridad hídrica de diversas regiones. No obstante, se recomienda que futuros estudios aborden esta temática mediante revisiones sistemáticas más rigurosas, que permitan fortalecer y profundizar el análisis y la comprensión del tema.

7. Bibliografía

- Armenteras, D., & Rodríguez, N. (2014). Dinámicas y causas de deforestación en bosques de Latino América: una revisión desde 1990. *Colombia Forestal*, 17(2), 233.
<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2014.2.a07>
- Baker, J. C. A., & Spracklen, D. V. (2019). Climate Benefits of Intact Amazon Forests and the Biophysical Consequences of Disturbance. *Frontiers in Forests and Global Change*, 2.
<https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00047>
- Barlow, J., Sist, P., Almeida, R., Arantes, C., Berenguer, E., Caron, P., Cuesta, F., Rodrigues da Costa Doria, C., Ferreira, J., Flecker, A., Heilpern, S., Kalamandeen, M., Lees, A. C., Nascimento, N., Peña-Claros, M., Pioniot Laroche, C., Santos Pompeu, P., Souza, C., & Valentim, J. F. (2022). *Capítulo 28: Opciones de restauración para la Amazonía*.
<https://doi.org/10.55161/TLUC8874>
- Barreda, S. (2021). Deforestación en la región Amazónica del Perú: situación y perspectivas. *Revista Electrónica de Medioambiente UCM*, 21, 20–39.
- Barrios, M., Mejía, L., & Olaya, E. (2020). *Estrategias de conservación del recurso hídrico superficial: elementos conceptuales y metodológicos con aplicación a fuentes hídricas del Quindío*. Sello Editorial Universidad del Tolima.
- Carranza, C. (2013). A defence of an organic Gaia theory. *Ecosistemas*, 22(2), 113–118.
<https://doi.org/10.7818/ECOS.2013.22-2.17>
- Chang, M. (2013). *Forest Hydrology. An Introduction to Water and Forests*. CRC Press.

- Charity, S., Dudley, N., Oliveira, D., & Stolton, S. (2016). *Living Amazon Report 2016: A regional approach to conservation in the Amazon*.
- Cifuentes, A., & Cote, M. (2022). Influencia de la deforestación y el cambio climático en la formación de los “ríos voladores de la Amazonia” y su impacto en la disponibilidad hídrica de Bogotá y la región circundante. *Revista Colombia Amazónica*, 13, 47–60.
- Contreras, C., & Restrepo, M. (2022, November 28). *La fiebre del oro desatada por Maduro en la Amazonía de Venezuela*. La Silla Vacía.
- Costa, C. (2020, February 18). *Destrucción del Amazonas: las principales amenazas para la mayor selva tropical del mundo en los 9 países que la comparten*. BBC.
- Costa, M., Borma, L., Brando, P., Marengo, J., Saleska, S., & Gatti, L. (2022). *Capítulo 7: Ciclos biogeofísicos: Reciclaje de Agua, Regulación Climática*. <https://doi.org/10.55161/BHKM6857>
- EFE Verde. (2019, July 25). *La Amazonía ecuatoriana, la más deforestada pero foco de otras amenazas*.
- El Oriente. (2023, August 28). *La deforestación de la Amazonía ecuatoriana genera preocupación mundial*.
- Ellison, D., Morris, C. E., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarso, D., Gutierrez, V., Noordwijk, M. van, Creed, I. F., Pokorny, J., Gaveau, D., Spracklen, D. V., Tobella, A. B., Ilstedt, U., Teuling, A. J., Gebrehiwot, S. G., Sands, D. C., Muys, B., Verbist, B., ... Sullivan, C. A. (2017). Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. *Global Environmental Change*, 43, 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002>

- Etter, A., Andrade, A., Saavedra, K., Amaya, P., Cortés, J., & Arévalo, P. (2020). *Ecosistemas colombianos: amenazas y riesgos. Una aplicación de la Lista Roja de Ecosistemas a los ecosistemas terrestres continentales*.
- Franchini, M., Carolina, A., Mauad, E., & Viola, E. (2020). De Lula a Bolsonaro: una década de degradación de la gobernanza climática en Brasil. *Análisispolítico*, 81–100.
- Gaia Amazonas. (2017). *Bioma amazónico*. <https://gaiaamazonas.org/el-bioma-amazonico/#refl>
- Garate-Quispe, J., Bejar Chura, N., Pillco Sardon, N., Herrera-Machaca, M., & Dueñas Linares, H. (2022). Diferencias en la capacidad de infiltración del suelo en dos tipos de cobertura vegetal en la Amazonía peruana. *Folia Amazonica*, 31(2), 227–241. <https://doi.org/10.24841/fa.v31i2.578>
- Gedney, N., & Valdes, P. J. (2000). The effect of Amazonian deforestation on the northern hemisphere circulation and climate. *Geophysical Research Letters*, 27(19), 3053–3056. <https://doi.org/10.1029/2000GL011794>
- Gordon, L. J., Steffen, W., Jönsson, B. F., Folke, C., Falkenmark, M., & Johannessen, Å. (2005). Human modification of global water vapor flows from the land surface. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(21), 7612–7617. <https://doi.org/10.1073/pnas.0500208102>
- Gutiérrez, J. (2022, October 7). *Deforestación en Amazonía venezolana se expande debido a ilegalidad, minería e incendios*. MONGABY.

- Keys, P. W., Van Der Ent, R. J., Gordon, L. J., Hoff, H., Nikoli, R., & Savenije, H. H. G. (2012). Analyzing precipitation sheds to understand the vulnerability of rainfall dependent regions. *Biogeosciences*, 9(2), 733–746. <https://doi.org/10.5194/bg-9-733-2012>
- Lawrence, D., & Vandecar, K. (2015). Effects of tropical deforestation on climate and agriculture. *Nature Climate Change*, 5(1), 27–36. <https://doi.org/10.1038/nclimate2430>
- Luchetti, J., Olivera, P. F., & Rodríguez, L. L. (2016). *Brasil: la deforestación de la Selva Amazónica y la producción sojera*. <http://ecologia10a.blogspot.com.ar/p/concepto.html>.
- Makarieva, A. M., & Gorshkov, V. G. (2007). Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1013–1033. www.hydrol-earth-syst-sci.net/11/1013/2007/
- Makarieva, A. M., Nefiodov, A. V., Nobre, A. D., Bardi, U., Sheil, D., Baudena, M., Saleska, S. R., & Rammig, A. (2022). *How transpiration by forests and other vegetation determines alternate moisture regimes*. <http://arxiv.org/abs/2204.07409>
- McGrath, M. (2024, April 4). *Brasil y Colombia reducen drásticamente sus niveles de deforestación*. BBC.
- Miranda, B. (2017, August 17). *TIPNIS, la controversial carretera que puede partir en dos una selva de Bolivia y que Evo Morales “insiste en construir.”* BBC.
- Naciones Unidas. (2021). *Resumen actualizado de 2021 sobre los progresos en el ODS 6: agua y saneamiento para todos*.

National Geographic. (2023, December 28). *En qué países se encuentra la Selva Amazónica.*

<https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2023/12/en-que-paises-se-encuentra-la-selva-amazonica>

Nepstad, D. (2007). *Los círculos viciosos de la Amazonía.*

Nieves, F., & Ruiz, J. (2021). Procesos de deforestación asociados a la minería legal en la

Amazonía colombiana. *Revista Ontare*, 9.

<https://doi.org/10.21158/23823399.v9.n0.2021.2943>

Nobre, P., Malagutti, M., Urbano, D. F., De Almeida, R. A. F., & Giarolla, E. (2009). Amazon

deforestation and climate change in a coupled model simulation. *Journal of Climate*, 22(21),

5686–5697. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2757.1>

Observatorio de conflictos socioambientales de la Amazonía. (n.d.). *Deforestación en el bioma*

amazónico colombiano. Retrieved April 19, 2025, from

<https://observatorioamazonia.fcds.org.co/fichas/deforestacion/deforestacion-en-el-bioma-amazonico-colombiano.html>

Olaya, D. (2021). La Amazonía colombiana como sujeto de derechos. Un caso de justicia

ambiental. *REVISTA IUS*, 16(49). <https://doi.org/10.35487/rius.v16i49.2022.719>

OTCA. (n.d.). *¿Quiénes somos? La OTCA.*

Peña-Arancibia, J. L., Bruijnzeel, L. A., Mulligan, M., & van Dijk, A. I. J. M. (2019). Forests as

‘sponges’ and ‘pumps’: Assessing the impact of deforestation on dry-season flows across the

tropics. *Journal of Hydrology*, 574, 946–963. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.064>

- Posada-Gil, D., & Poveda, G. (2022). Consistencia de las tendencias de largo plazo y el balance hídrico en la Amazonia. *Revista Colombia Amazónica*, 13, 27–46. <http://www.lba.cnpm.embrapa.br/>
- Poveda, G., & Mesa, O. (1995). Efectos hidrológicos de la deforestación. *Energética*, 16, 91–102.
- Poveda, G., Mesa, Ó., & Vélez, I. (2023). *Hidrología de Colombia: El ciclo del agua en una geografía compleja*. Universidad Nacional de Colombia.
- RAISG. (n.d.). *Storymap del Agua de MapBiomass: una herramienta interactiva sobre la crisis del agua en los 9 países amazónicos*.
- RAISG. (2022a). *Deforestación en la Amazonía al 2025*.
- RAISG. (2022b, September 19). *Brasil, Bolivia y Perú, los países con más índices de deforestación en selva Amazónica*.
- Ritchie, H. (2021). *Deforestation and Forest Loss*. <https://Ourworldindata.org/Deforestation> [Online Resource].
- Rodríguez, M., & Valdés María. (2022). *Colombia país de Bosques* (ALPHA, Ed.).
- Ruiz-Vásquez, M., Arias, P. A., Martínez, 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(9–10), 4169–4189. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05223-4>
- Salazar, J. F., Villegas, J. C., Rendón, A. M., Rodríguez, E., Hoyos, I., Mercado-Bettín, D., & Poveda, G. (2018). Scaling properties reveal regulation of river flows in the Amazon through

- a “forest reservoir.” *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(3), 1735–1748.
<https://doi.org/10.5194/hess-22-1735-2018>
- Seth, R. (2024, May 2). *La Amazonía boliviana enfrenta amenazas de todos lados*.
<https://Insightcrime.Org/Es/Investigaciones/Amazonia-Boliviana-Enfrenta-Amenazas-Todos-Lados/>.
- SINCHI. (2024, July 9). *Instituto SINCHI contribuye a la histórica reducción de la deforestación en la Amazonia colombiana*.
- Spracklen, D. V., Arnold, S. R., & Taylor, C. M. (2012). Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests. *Nature*, 489(7415), 282–285.
<https://doi.org/10.1038/nature11390>
- The Nature Conservancy. (2022, October 26). *Proteger la cuenca del Amazonas para la naturaleza y las personas*. <https://www.nature.org/es-us/que-hacemos/nuestras-prioridades/proteger-la-tierra-y-el-agua/proteger-cuenca-amazonas/>
- UNESCO. (2023, April 27). *Mejorando la cooperación y la gestión integrada del agua en la cuenca del río Amazonas*. <https://www.unesco.org/es/articles/mejorando-la-cooperacion-y-la-gestion-integrada-del-agua-en-la-cuenca-del-rio-amazonas>
- Van Der Ent, R. J., Savenije, H. H. G., Schaefli, B., & Steele-Dunne, S. C. (2010). Origin and fate of atmospheric moisture over continents. *Water Resources Research*, 46(9), 1–12.
<https://doi.org/10.1029/2010WR009127>
- Vergara, A., Arias, M., Gachet, B., Naranjo, L. G., Román, L., & Tamayo, J. Y. (2022). *Cita sugerida*. WWF.

von Bertalanffy, L. (1968). *General System Theory: Foundations, Development, Applications*.

Zemp, D. C., Schleussner, C. F., Barbosa, H. M. J., & Rammig, A. (2017). Deforestation effects on Amazon forest resilience. *Geophysical Research Letters*, 44(12), 6182–6190.
<https://doi.org/10.1002/2017GL072955>