International Journal of Environmental Resilience Research and Science (IJERRS)
Revista Internacional Resiliência Ambiental Pesquisa e Ciência Sociedade 5.0 Resiliência Ambiental
ISSN 2675-3456

Variaciones climatológicas de la precipitación en el Valle del Guaporé (Rondônia - Brasil)[1]

Climatological variation of precipitation in the Guaporé Valley (Rondônia - Brazil)

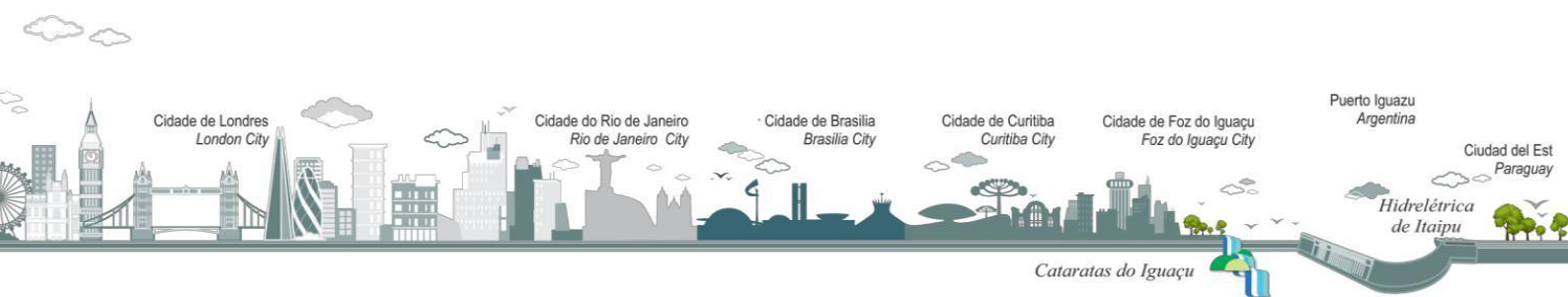
Juan Camilo Mantilla Velasquez[2]
Elsy Dayana Bohorquez Mercado[3]
Afonso Henrique Roldão[4]
Regina Célia Macêdo do Nascimento[4]

Resumen: El presente estudio tiene como objetivo comparar los patrones climatológicos de precipitación registrados entre 2015 y 2023 en tres localidades del valle del Guaporé, en el estado de Rondônia (Brasil): Príncipe da Beira, São Francisco do Guaporé y Pimenteiras. Para ello, se utilizaron datos de estaciones meteorológicas oficiales, lo que permitió evaluar la variabilidad espacial y la coherencia estacional del régimen pluviométrico en esta región de la Amazonía meridional. Los resultados muestran un patrón estacional amazónico bien definido, caracterizado por una temporada lluviosa intensa entre noviembre y marzo y un período seco pronunciado entre junio y agosto. Sin embargo, a pesar de esta sincronía temporal común, se observan diferencias significativas en la magnitud de la precipitación entre las tres estaciones. Los factores geográficos y ambientales locales (la proximidad a cuerpos de agua, la posición topográfica y los patrones de circulación de mesoescala) modulan significativamente la intensidad y la variabilidad de las lluvias en el valle del Guaporé. Las diferencias espaciales evidencian la importancia de los condicionantes locales en la distribución de la precipitación, lo cual resulta esencial para la comprensión de los procesos hidrológicos regionales y el monitoreo de posibles alteraciones climáticas en la Amazonía. El análisis de estas variables es fundamental no solo para generar conocimiento científico, sino también para orientar políticas públicas, fortalecer estrategias de adaptación, asegurar la soberanía hídrica y alimentaria de las poblaciones locales y proteger el papel climático global de la Amazonía.

Palabras claves: Estación seca; Microclimas; Variabilidad climática; Series pluviométricas; Temporada lluviosa.

[1] Trabalho apresentado no VI Workshop Internacional Resiliência Climática 2025 – RIPERC.

[2] Estudiante de pregrado en Ingeniería Ambiental en la Universidad de Córdoba (Colombia). ORCID: https://orcid.org/0009-0007-0120-8339 Correo: jc24mv@gmail.com
[3] Estudiante de pregrado en Ingeniería Ambiental en la Universidad de Córdoba (Colombia). ORCID: https://orcid.org/0009-0000-3477-1581 Correo:elsydayana09@gmail.com
[4] Estudiante de posgrado en Ciencias Ambientales en la Universid Federal de São Carlos (Brasil). ORCID: https://orcid.org/0009-0006-0848-5980 Correo: aroldao@ufscar.estudante.br
[4] Doctora en Ciencias Ambientales por la Universidad Federal de São Carlos (Brasil). ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6320-0817 Correo: nascimentoregina@ufscar.br



International Journal of Environmental Resilience Research and Science (IJERRS)
Revista Internacional Resiliência Ambiental Pesquisa e Ciência Sociedade 5.0 Resiliência Ambiental
ISSN 2675-3456

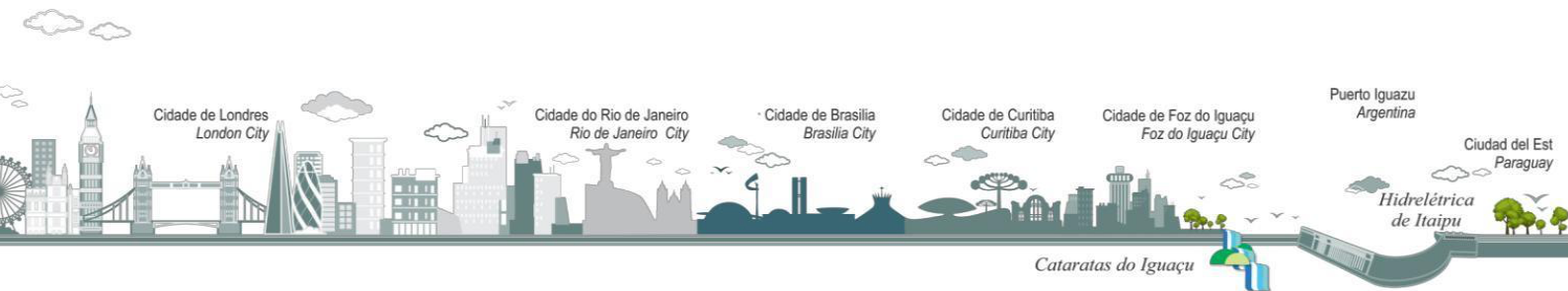
Abstract: This study aims to compare the climatological precipitation patterns recorded between 2015 and 2023 in three locations of the Guaporé Valley in the state of Rondônia, Brazil: Príncipe da Beira, São Francisco do Guaporé, and Pimenteiras. Data from official meteorological stations were used to evaluate the spatial variability and seasonal coherence of the rainfall regime in this region of the southern Amazon. The results show a well-defined Amazonian seasonal pattern, characterized by an intense rainy season from November to March and a pronounced dry period from June to August. However, despite this common temporal synchrony, significant differences were observed in the magnitude of precipitation among the three stations. Príncipe da Beira presents the highest rainfall amounts during the wet season, reaching values above 300 mm in the rainiest months. This behavior suggests the influence of local geographic factors, especially proximity to the Guaporé River and microclimates associated with the alluvial plain. São Francisco do Guaporé exhibits an intermediate pattern, with high accumulations during the rainy season but lower than those observed in Príncipe da Beira. In contrast, Pimenteiras records the lowest values among the three locations and shows a more intense dry season, with precipitation approaching zero between June and August. The combined analysis of the time series confirms that the regional seasonal dynamics are governed by the South American monsoon system. Nevertheless, the spatial differences within the Guaporé Valley highlight the importance of local environmental controls in shaping rainfall distribution, which is essential for understanding regional hydrological processes and monitoring potential climatic changes in the Amazon.

Keywords: Dry season; Microclimates; Climate variability; Rainfall time series; Rainy season.

INTRODUCCIÓN

La Amazonía tiene una gran relevancia en relación con su posición en el sistema climático global y regional, desempeñando un papel fundamental en el balance hídrico, el mantenimiento de los regímenes de precipitación y la regulación térmica en América del Sur (Duque-Gardeazabal; Friedman; Brönnimann, 2025). Así, los aspectos climatológicos de esta región, que incluyen la variabilidad pluviométrica, los regímenes de sequía y humedad, la evapotranspiración y las interacciones atmósfera–tierra, proporcionan insumos esenciales para comprender los impactos de las alteraciones ambientales y antrópicas, así como orientar estrategias de conservación y adaptación (Da Silva *et al.*, 2021).

En los últimos años, varias investigaciones han evidenciado cambios notables en el clima amazónico. Por ejemplo, un estudio reciente analizó la evapotranspiración en las cuencas amazónica y del Orinoco (la tercera mayor cuenca hidrográfica de América del Sur), demostrando influencias significativas de patrones de variabilidad océano-atmosféricas en el balance hídrico y en el comportamiento climático de la región (Duque-Gardeazabal; Friedman; Brönnimann, 2025).



International Journal of Environmental Resilience Research and Science (IJERRS)
Revista Internacional Resiliência Ambiental Pesquisa e Ciência Sociedade 5.0 Resiliência Ambiental
ISSN 2675-3456

Además, en el centro de la Amazonía brasileña, la ciudad de Manaos presentó una tendencia notable al aumento de la temperatura, incluso registrando valores máximos históricos, así como una disminución significativa de la humedad relativa del aire (Da Silva *et al.*, 2021).

Asimismo, la variabilidad e intensidad de los eventos extremos durante la temporada de lluvias, responsable de gran parte de la precipitación regional, han sido objeto de investigación detallada para comprender la complejidad atmosférica de la Amazonía (Viscardi *et al.*, 2024). De igual forma, existen evidencias que indican una tendencia de intensificación de sequías y disminución de la precipitación en diferentes subregiones de la Amazonía a lo largo de décadas, con impactos en los extremos climáticos y en la disponibilidad hídrica (Jesus; Santos; Cardoso, 2025).

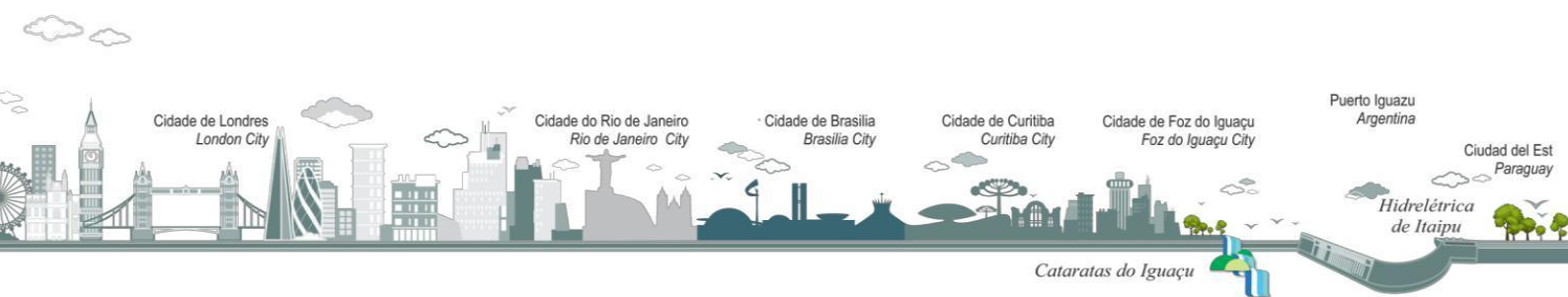
En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo comparar, a nivel climatológico, los patrones de precipitación registrados en dos sitios del Valle del Guaporé, Rondônia (Brasil), en el período de 2015 a 2023.

FALTA DE DATOS CLIMATOLÓGICOS EN LA REGIÓN AMAZÓNICA

Debido a diversos factores, entre ellos su extensión, el territorio amazónico presenta un déficit de datos, entre ellos los climáticos, una constatación de hace décadas que sigue vigente. En contextos anteriores, Fisch, Marengo y Nobre (1998) señalaron graves obstáculos que provocan la escasez de monitorización *in situ* y, en consecuencia, de datos climáticos, lo que da lugar a un conocimiento fragmentado de la climatología local. Este aspecto difiere de la gran relevancia medioambiental de la cuenca amazónica y de las dinámicas climáticas que de ella se derivan.

Además, el vacío evidenciado en la década de 1990 sigue siendo mencionado en la literatura del siglo XXI. En 2011, Paiva, Collinschonn y Buarque, al estudiar la modelización hidrológica basada en datos fluviométricos y pluviométricos, señalaron graves fallos en las series históricas por dos razones: la baja cobertura espacial de las mediciones y las inconsistencias temporales. Cuatro años después, en 2015, Almeida *et al.* corroboran el análisis al constatar la imposibilidad de caracterizar eventos a mesoescala sin la ayuda de productos de teledetección, refiriéndose específicamente al estado de Amazonas, ya que la distribución de las bases y estaciones de medición es irregular e insuficiente.

En los últimos años, el sesgo de localización también ha sido cuestionado por el Science



Panel For The Amazon - SPA (2021), con estudios que justifican las fallas y complicaciones reportadas por la literatura anterior al afirmar y confirmar que las estaciones de medición están ubicadas principalmente a orillas de grandes ríos y en centros urbanos, dejando grandes espacios entre las localidades no registradas y sin datos específicos, lo que por ejemplo, compromete los análisis finales al ocultar microclimas.

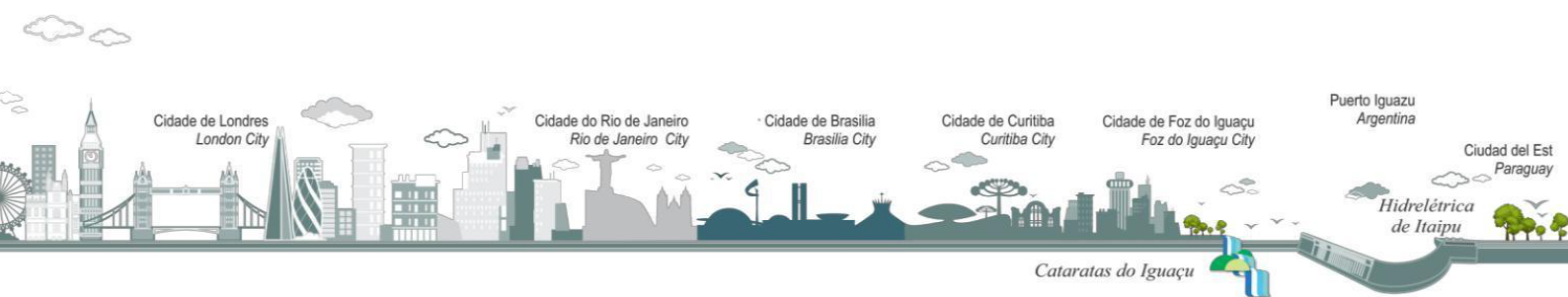
Ahora bien, ante la ausencia de datos específicos, los investigadores se ven obligados a trabajar con datos en cuadrículas, creando bases de datos e interpolando para suplir los déficits (Xavier; King; Scanlon, 2016), lo que conlleva una pérdida de precisión, sobre todo en el caso de los datos de reanálisis. Además, según Souza *et al.* (2009), el uso de satélites se convierte en la alternativa estándar para estimar la precipitación, especialmente en las zonas más remotas, ya que la red convencional instalada no capta la complejidad del régimen hídrico de la región.

En la práctica, estos aspectos generan inconsistencias en los datos que respaldan la gestión de riesgos y la planificación territorial. Del mismo modo que la escasez de datos con series largas y fiables dificulta la caracterización completa de la región, también compromete el análisis de la distinción entre variabilidades naturales e impactos climáticos antropogénicos, así como la previsión de eventos extremos (Marengo *et al.*, 2011).

LA IMPORTANCIA DE LA CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA EN LAS COMUNIDADES AMAZÔNICAS

La comprensión de la dinámica atmosférica en la Amazonía va mucho más allá del interés meteorológico, ya que constituye un elemento fundamental para la propia sostenibilidad socioeconómica de las poblaciones que viven en la región. Históricamente, las comunidades amazónicas (ribereñas, indígenas y extractivistas) han organizado su vida productiva, alimentaria y cultural en función de la previsibilidad del régimen hidrológico. Este patrón, descrito por Junk *et al.* (1989) como el “pulso de inundación”, se basaba en la alternancia relativamente estable entre los períodos de crecida y estiaje, responsables de regular la disponibilidad de nutrientes, los ciclos de migración de peces y el calendario de actividades de siembra y pesca.

Sin embargo, en las últimas décadas, este sistema ha mostrado señales claras de ruptura. Estudios recientes evidencian que el ciclo hidrológico amazónico experimenta un proceso de intensificación, en el que las sequías severas y las crecidas extremas se vuelven más frecuentes e



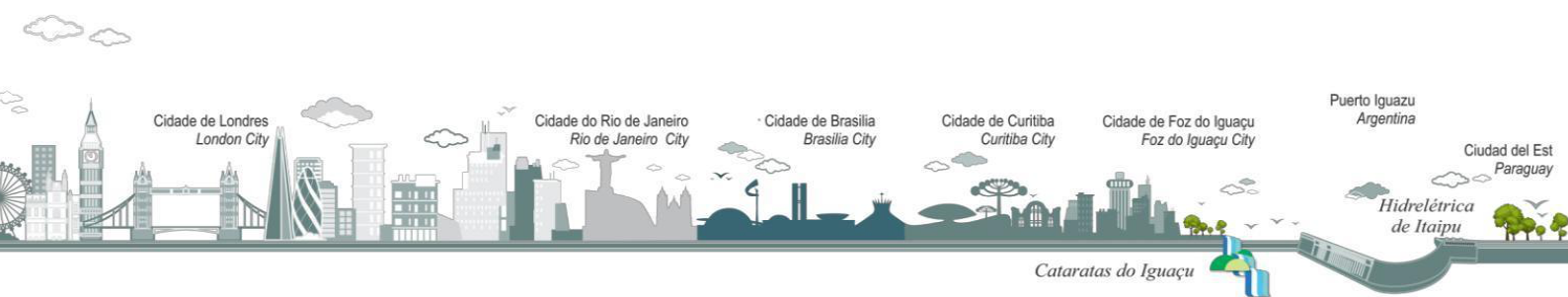
intensas. La sucesión de eventos críticos, como las sequías de 2005, 2010, 2015–2016 y, más recientemente, la sequía histórica de 2023, se suma a episódios de incremento de precipitaciones excepcionales como los registrados en 2009, 2012 y 2021 (Gloor *et al.*, 2013; Marengo; Espinoza, 2016; Souza Jr. *et al.*, 2024).

De acuerdo con lo anterior, investigaciones divulgadas entre 2023 y 2024 demuestran que, solo en las dos primeras décadas del siglo XXI, hubo tantas crecidas extremas como en todo el siglo anterior. La amplitud entre los niveles de agua en crecidas y en estiajes aumentó de manera significativa, afectando la dinámica de los igapós, las várzeas y las planicies inundables, que, a su vez, son pilares ecológicos y culturales de la vida amazónica (Grodofzig, Renoult; Mauritsen, 2024; Souza Jr. *et al.*, 2024; Zanin; Pareja-Quispe; Espinoza, 2024).

Parte de esta transformación está relacionada con los mecanismos climáticos globales. El Fenómeno El Niño–Oscilación del Sur (ENOS) altera la circulación de Walker e inhibe la formación de nubes sobre la Amazonía Oriental, provocando sequías intensas. Al mismo tiempo, el calentamiento desigual entre el Atlántico Tropical Norte y el Sur desplaza la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), lo que reduce las lluvias en diversas áreas de la cuenca. Estos fenómenos explican varios de los eventos extremos de las últimas décadas. No obstante, investigaciones más recientes muestran que los impactos antropogénicos, como la deforestación, los incendios y la degradación forestal, ya ejercen una influencia igual o mayor que la de las variabilidades oceánicas (Marengo *et al.*, 2018).

Asimismo, los estudios indican una pérdida creciente de resiliencia ecológica en la selva, especialmente en el suroeste y el norte de la Amazonía, regiones donde la vegetación ha mostrado menor capacidad de recuperación tras perturbaciones. Además, la deforestación es responsable de cerca de tres cuartas partes de la reducción de las lluvias y de hasta un sexto del aumento de la temperatura durante la estación seca en esas áreas, evidenciando el papel directo de la acción humana en la modificación del clima regional (Leite-Filho *et al.*, 2021; Lima *et al.*, 2023; Grodofzig, Renoult; Mauritsen, 2024).

Estas alteraciones amplían el riesgo de que el bioma se aproxime a un “punto de no retorno” (*tipping point* en inglés), en el cual la selva perdería su capacidad de recircular humedad y mantener el régimen de lluvias que sustenta su propia existencia (LOVEJOY; NOBRE, 2018). De igual forma, investigaciones recientes alertan de que porciones del territorio amazónico ya están sujetas a disturbios compuestos, que se refieren a la combinación de sequías extremas, incendios,



degradación forestal y aumento de la temperatura, capaces de desencadenar la conversión de la selva en ecosistemas más secos y empobrecidos. Este proceso no es únicamente ecológico; ya que, recae directamente sobre las comunidades, que dependen de la regularidad de las aguas para garantizar alimentación, transporte, ingresos, cultura y bienestar (Nobre *et al.*, 2016; Banerjee *et al.*, 2022; Flores *et al.*, 2024; Lapola *et al.*, 2024).

Ante este escenario, la caracterización climática de la Amazonía se convierte en una herramienta esencial para la planificación y la justicia socioambiental. A medida que los patrones históricos de precipitación y de fluviometría dejan de representar la realidad actual, resulta indispensable comprender las nuevas dinámicas atmosféricas, hidrológicas y ecológicas que emergen en el bioma.

El análisis de estas variables es fundamental no solo para generar conocimiento científico, sino también para orientar políticas públicas, fortalecer estrategias de adaptación, asegurar la soberanía hídrica y alimentaria de las poblaciones locales y proteger el papel climático global de la Amazonía. En un escenario de aceleradas mudanzas climáticas y crecientes presiones antrópicas, conocer el clima amazónico es, antes que nada, proteger vidas, culturas y ecosistemas.

METODOLOGÍA

Área de estudio

La presente investigación se llevará a cabo en el Valle de Guaporé, localizado en el extremo sudoeste del estado de Rondônia, Brasil, en la frontera con Bolivia, y forma parte de la amplia cuenca del río Madeira y del sistema hidrográfico amazónico (IBGE, 2019) (Imagen 1). Este valle se caracteriza por su rica biodiversidad, sus paisajes impresionantes y por una mezcla única de culturas indígenas y coloniales. Se trata de una depresión aluvial con altitudes entre 150 y 300 m s.n.m., caracterizada por una topografía predominantemente llana, llanuras de inundación y extensas planicies colmatadas por sedimentos recientes del río Guaporé, uno de los principales tributarios del Madeira (ANA, 2015).

Cidade de Londres London City
Cidade do Rio de Janeiro Rio de Janeiro City
Cidade de Brasilia Brasilia City
Cidade de Curitiba Curitiba City
Cidade de Foz do Iguaçu Foz do Iguaçu City
Puerto Iguazu Argentina
Ciudad del Est Paraguay
Hidrelétrica de Itaipu
Cataratas do Iguaçu

International Journal of Environmental Resilience Research and Science (IJERRS)
Revista Internacional Resiliência Ambiental Pesquisa e Ciência Sociedade 5.0 Resiliência Ambiental
ISSN 2675-3456

Imagen 1. Mapa de localizacion del Valle de Guaporé (Rondônia, Brasil) destacando las estaciones hidrometeorológicas de São Francisco do Guaporé, Príncipe da Beira y Pimenteiras

ZONA ESTUDIO DEL VALLE DEL GUAPORÉ EN RONDONIA		
Información del mapa	**Escala**	**Localización**
Referencia espacial Nombre: GCS WGS 1984 GCS: GCS WGS 1984 Datum: WGS 1984 Unidades de mapa: Degree Autoridad: EPSG WKID: 4326	39 19,5 0 39 78 Km **1:300000**	Mapa de referencia de V. Guaporé Mapa de referencia de Brasil

Fuente: Autor (Juan C. Mantilla V. 2025).

Cidade de Londres London City
Cidade do Rio de Janeiro Rio de Janeiro City
Cidade de Brasilia Brasilia City
Cidade de Curitiba Curitiba City
Cidade de Foz do Iguaçu Foz do Iguaçu City
Puerto Iguazu Argentina
Ciudad del Est Paraguay
Hidrelétrica de Itaipu
Cataratas do Iguaçu

El clima de la región es tropical húmedo, clasificado como Aw según Köppen-Geiger, con una marcada estacionalidad pluviométrica, donde posee una estación lluviosa entre octubre y abril, influenciada por la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS), y una estación seca entre mayo y septiembre, asociada a condiciones de subsidencia y a la reducción del transporte de humedad amazónica (Carvalho; Jones; Liebman, 2004; Alvares *et al.*, 2013).

Ahora bien, desde el punto de vista ecológico, el Valle del Guaporé constituye una zona de transición entre bosques amazónicos de tierra firme y áreas de savana o cerrado, lo que genera variabilidad espacial en la distribución de las lluvias debido a diferencias en el albedo, la circulación local y los patrones convectivos (Silva *et al.*, 2025). Esta combinación de factores atmosféricos, hidrológicos y ecológicos convierte al Valle del Guaporé en un territorio estratégico para el análisis de las variaciones climatológicas de la precipitación, especialmente en un contexto de alteraciones ambientales y de cambios en la disponibilidad hídrica en la Amazonia.

Fases Metodológicas

(I) Recolección de datos climáticos

Los datos de precipitación utilizados para analizar la variabilidad climatológica en el Valle del Guaporé se obtuvieron de la Agencia Nacional de Aguas y Saneamiento Básico (ANA) a través de la plataforma HIDROWEB, que proporciona series históricas de estaciones hidrometeorológicas cercanas al valle. Para este estudio se seleccionaron las estaciones de São Francisco do Guaporé, Forte Príncipe da Beira y Pimenteiras, considerando su representatividad espacial y la continuidad de sus registros, lo que permite caracterizar de manera confiable la dinámica pluviométrica regional (Imagen 1).

(II) Control de calidad y procesamiento inicial

Implicó una revisión exhaustiva de los datos descargados para identificar vacíos, inconsistencias, valores atípicos o problemas de continuidad. Aquellos registros con errores evidentes fueron depurados y, cuando fue necesario, los datos faltantes se completaron mediante métodos simples de estimación basados en promedios mensuales. Después de este proceso, se

definió el período comprendido entre 2015 y 2023 como intervalo de estudio, ya que ofrecía la mejor integridad y comparabilidad entre las estaciones. Con la serie ya depurada, se calcularon los valores medios mensuales y anuales que servirían de base para el análisis climatológico.

(III) Digitalización de datos en ArcGis Pro

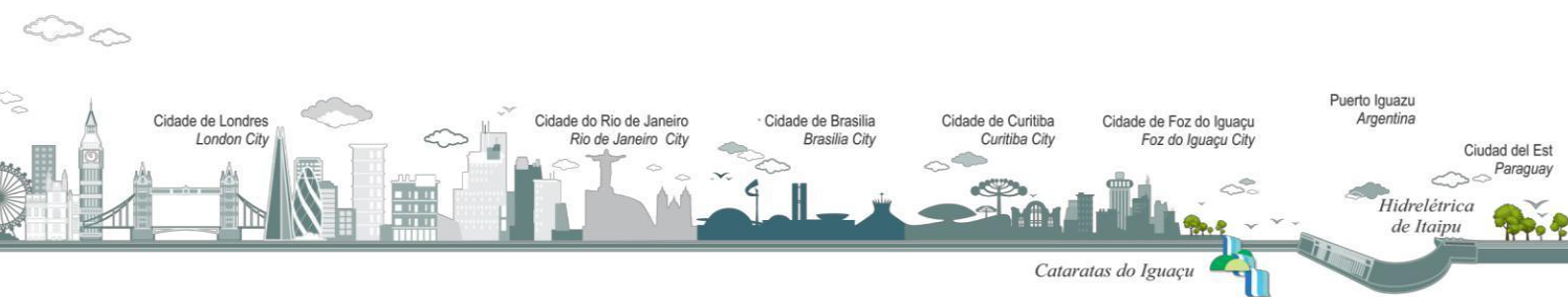
Se buscó integrar los datos en un entorno espacial que permitiera visualizar su distribución real en el Valle del Guaporé. Para ello, se georreferenciaron las estaciones mediante sus coordenadas oficiales en el software ArcGIS Pro, lo que permitió representar cartográficamente los puntos de medición y vincular los valores de precipitación procesados, facilitando así la comprensión del comportamiento espacial del régimen de lluvias en la región.

(IV) Estimación de la variación climatológica de los datos de precipitación

Consistió en la elaboración de gráficos comparativos mensuales y anuales para ambas estaciones, con el propósito de identificar fluctuaciones interanuales, comportamientos estacionales recurrentes y posibles anomalías significativas durante el período estudiado. Este análisis permitió evaluar la magnitud y dirección de los cambios en la precipitación a lo largo del tiempo y sirvió como base para discutir los procesos climáticos que intervienen en la dinámica pluviométrica del Valle del Guaporé.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

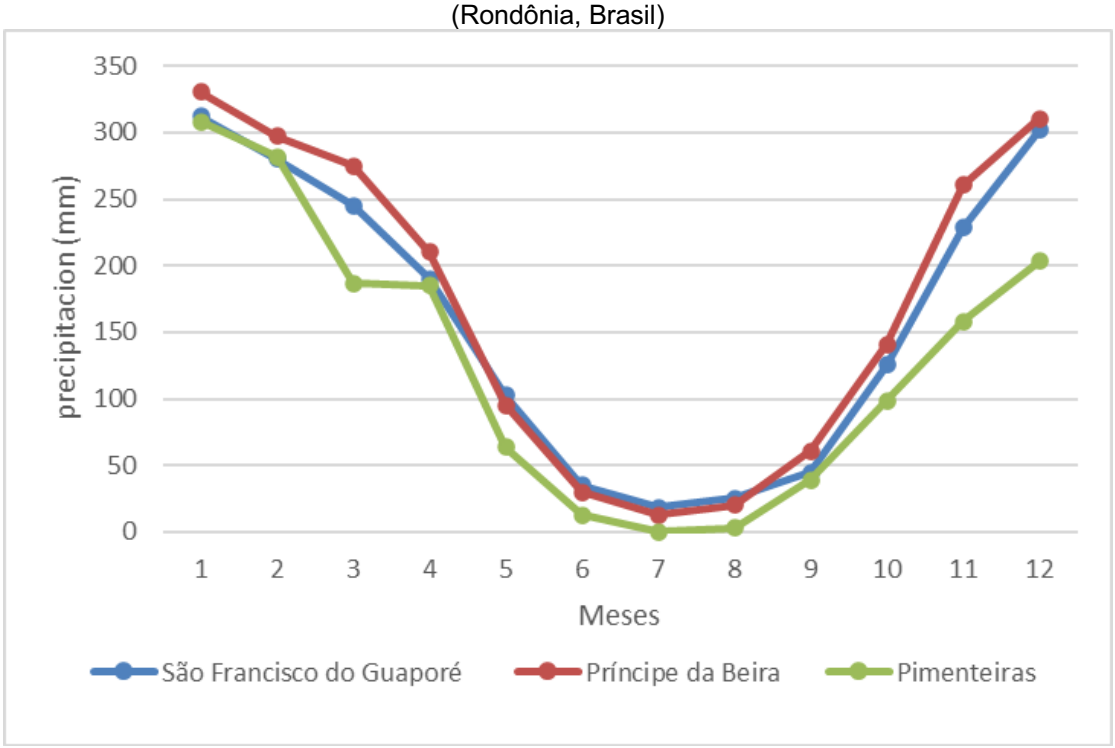
El estudio se basa en los registros históricos proporcionados por tres estaciones meteorológicas situadas dentro de la región, San Francisco del Guaporé, Pimenteiras y Príncipe da Beira con el fin de identificar patrones temporales, contrastes espaciales y tendencias que caracterizan el comportamiento pluviométrico entre los años 2015 y 2023. La descripción de los datos se orienta a comprender mejor la dinámica estacional de la lluvia en esta zona de transición amazónica, así como sus posibles implicaciones ambientales y climáticas. Se resalta que los datos presentados en el gráfico muestran las medias anuales de precipitación mensual de la región.



International Journal of Environmental Resilience Research and Science (IJERRS)
Revista Internacional Resiliência Ambiental Pesquisa e Ciência Sociedade 5.0 Resiliência Ambiental
ISSN 2675-3456

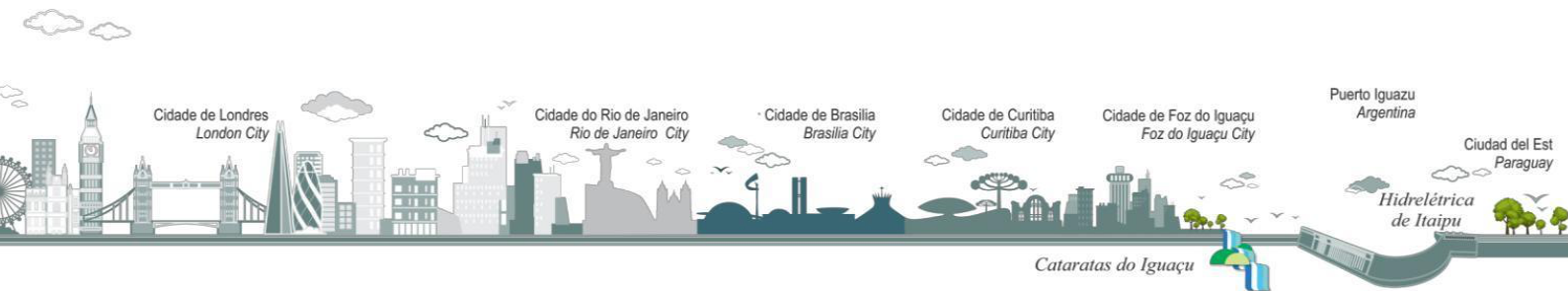
Por otra parte, el comportamiento medio de la precipitación entre 2015 y 2023 evidencia un régimen climático marcado por una fuerte estacionalidad en las tres localidades analizadas (São Francisco do Guaporé, Príncipe da Beira y Pimenteiras) (Imagen 2). Se observa la presencia de dos estaciones bien definidas: una estación lluviosa, que se extiende de noviembre a abril, y otra estación seca, concentrada entre junio y agosto, con períodos de transición relativamente cortos.

Imagen 2. Promedios anuales mensuales para el período 2015 a 2023 de la precipitación en las estaciones hidrometeorológicas São Francisco do Guaporé, Príncipe da Beira y Pimenteiras - Valle del Guaporé (Rondônia, Brasil)



Fuente: Autor (Juan C. Mantilla V. 2025).

Durante la estación lluviosa, los valores de precipitación alcanzan sus máximos, generalmente entre 200 y 350 mm mensuales. Este comportamiento refleja la intensa actividad convectiva típica de la Amazonía meridional, alimentada por la alta disponibilidad de vapor de agua y por la actuación de sistemas atmosféricos de gran escala, como la ZCAS. En este período, las tres localidades presentan patrones bastante semejantes: Príncipe da Beira registra, en promedio, valores ligeramente superiores, mientras que Pimenteiras tiende a mostrar totales algo más bajos, manteniendo la misma dinámica estacional.



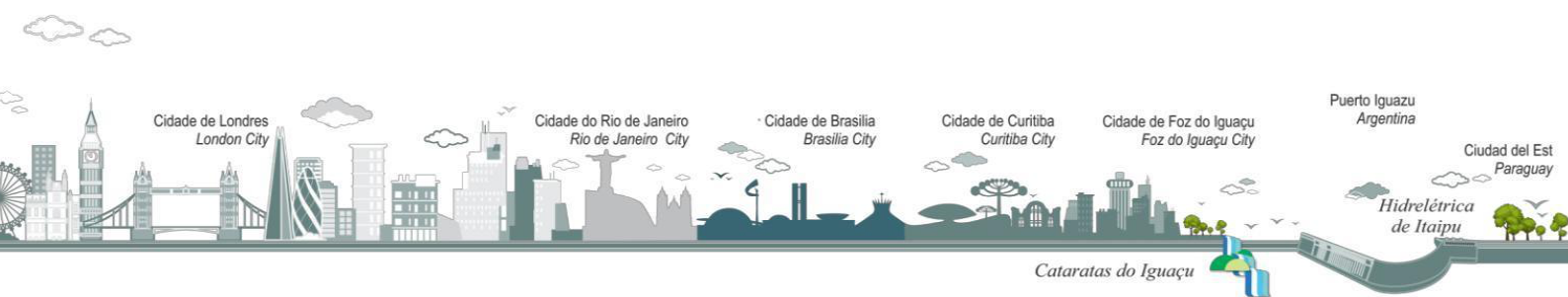
A partir de abril se inicia el período de transición hacia la estación seca. Aunque los totales pluviométricos de este mes aún se mantienen elevados, se observa una caída acentuada en mayo, cuando la precipitación disminuye entre 60 y 100 mm. Esta reducción marca el debilitamiento de los sistemas convectivos y el declive de la humedad atmosférica, que caracterizan el final de la estación lluviosa.

La estación seca, comprendida entre junio y agosto, presenta una ruptura marcada en el régimen pluviométrico anual. En este período, los totales mensuales suelen permanecer por debajo de 40 mm, con julio como el mes más crítico. Pimenteiras presenta la sequía más acentuada entre las tres localidades, registrando valores cercanos a cero, mientras que São Francisco do Guaporé y Príncipe da Beira registran precipitaciones ligeramente superiores, aunque igualmente bajas. Este patrón se debe a la predominancia de masas de aire más secas, a la reducción drástica de la convección y al aumento de la incidencia de cielo despejado, condiciones típicas de la temporada seca en la región.

A partir de septiembre, la precipitación vuelve a aumentar gradualmente, lo que caracteriza la transición hacia la estación lluviosa. En octubre, los totales ya superan los 100 mm y en noviembre se observa un incremento significativo de las lluvias, que vuelven a superar los 200 mm, lo que consolida el inicio de la nueva estación húmeda. Aunque las tres estaciones muestran una tendencia de aumento semejante, Príncipe da Beira nuevamente registra los mayores totales durante este período de recuperación.

En conjunto, los datos revelan un ciclo pluviométrico anual bien definido, en el que la alternancia entre una temporada lluviosa intensa y un periodo seco pronunciado se observa en las tres estaciones, aunque con particularidades locales. Estas diferencias, especialmente la mayor humedad relativa observada en Príncipe da Beira y la sequía más severa en Pimenteiras, resaltan la influencia de variables microclimáticas, como la proximidad de cuerpos de agua, la topografía y la circulación atmosférica local, sobre el régimen de precipitación regional.

La variabilidad interna del Valle del Guaporé refuerza la importancia de considerar los factores microclimáticos e hidrológicos en la interpretación de los datos, especialmente al comparar estaciones meteorológicas. Investigaciones previas han documentado que las variaciones en la altitud, la cobertura vegetal, la cercanía a cuerpos de agua y las características geomorfológicas pueden influir en los volúmenes de precipitación registrados en una misma región (Alvares *et al.*, 2013; Moreira *et al.*, 2023). En este contexto, la mayor pluviosidad observada en Príncipe da Beira



puede estar asociada a su proximidad al río Guaporé, lo que incrementa la disponibilidad de humedad y favorece interacciones río-atmósfera que intensifican la convección local.

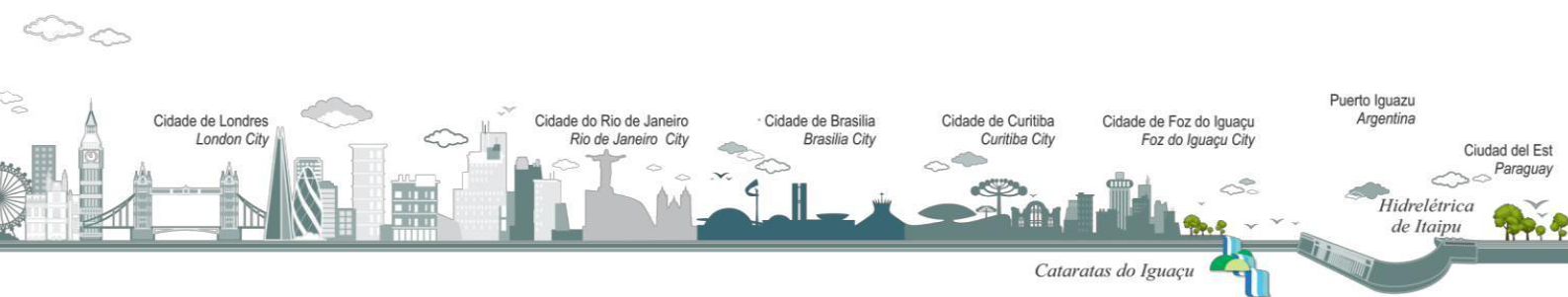
Además, estudios recientes indican que las tendencias a largo plazo de la precipitación en la Amazonía no son homogéneas. Algunas áreas presentan un aumento en el volumen de lluvias, mientras que otras muestran reducciones significativas, lo cual se debe a cambios en el uso del suelo, procesos de deforestación y la variabilidad climática de gran escala (Motta Paca *et al.*, 2020). Esta heterogeneidad espacial destaca la necesidad de comprender no sólo la estacionalidad regional, sino también cómo los factores ambientales locales pueden amplificar o atenuar las señales climáticas de gran escala.

El comportamiento observado en este estudio está en concordancia con la caracterización propuesta por Santos *et al.* (2017), quienes describen el régimen pluviométrico de Rondônia como altamente convectivo durante la estación húmeda, con acumulados mensuales que con frecuencia superan los 250 mm, mientras que la estación seca se caracteriza por reducciones drásticas en la precipitación. La coincidencia entre nuestros resultados y la literatura confirma la robustez del patrón estacional y subraya la importancia de analizar las variaciones locales para una caracterización climática más precisa.

CONCLUSIONES

Finalmente, a pesar de las limitaciones propias del contexto amazónico, como la inestabilidad en la disponibilidad de datos y la falta de coincidencia temporal entre los períodos históricos de las estaciones meteorológicas, el estudio permitió elaborar un análisis comparativo entre São Francisco do Guaporé, Príncipe da Beira y Pimenteiras, ubicadas en el valle del Guaporé, en Rondônia, Brasil. Es importante resaltar que incluso con estas restricciones, los registros disponibles revelan un patrón estacional amazónico bien definido, con lluvias intensas entre noviembre y marzo y un período seco claramente establecido entre junio y agosto. Los resultados muestran que, aunque las tres localidades responden a la misma dinámica atmosférica de gran escala, influenciada por el ciclo del monzón sudamericano y los sistemas convectivos amazónicos, existen diferencias espaciales marcadas en la magnitud de la precipitación.

De acuerdo con lo anterior, Príncipe da Beira destaca por presentar los mayores acumulados durante la estación húmeda, con valores que superan los 300 mm en los meses de máxima



pluviosidad. Esta mayor intensidad de las lluvias probablemente se relaciona con su proximidad al río Guaporé y con la presencia de microclimas asociados a la interacción río–atmósfera. En el caso de São Francisco do Guaporé, exhibe un comportamiento intermedio; ya que, sigue la misma estacionalidad, con elevados valores en la estación lluviosa, pero con volúmenes ligeramente inferiores a los de Príncipe da Beira. Por su parte, Pimenteiras presenta las menores precipitaciones entre las tres estaciones, especialmente durante la temporada seca, cuando sus registros se aproximan a cero entre junio y agosto, lo que refleja condiciones de mayor sequedad y menor influencia de la humedad fluvial.

Esta distribución espacial de la precipitación evidencia que, aunque existe una sincronía temporal regida por los mecanismos atmosféricos regionales, los factores geográficos y ambientales locales, como la proximidad a cuerpos de agua, la posición topográfica y los patrones de circulación de mesoescala, modulan significativamente la intensidad y la variabilidad de las lluvias en el valle del Guaporé. En consecuencia, Príncipe da Beira muestra una mayor sensibilidad a estos factores, mientras que Pimenteiras experimenta una sequía más pronunciada y persistente, que se prolonga hasta octubre, momento de la recuperación pluviométrica.

En conjunto, el análisis confirma que la combinación entre la fuerte estacionalidad amazónica y las particularidades microclimáticas locales es fundamental para comprender el régimen hidroclimático del sur de la Amazonía. Estos resultados subrayan la importancia de considerar la variabilidad espacial interna en estudios climatológicos y en el monitoreo de posibles alteraciones en la dinámica hidrológica regional, especialmente en áreas donde las limitaciones de datos constituyen un desafío recurrente. Esto último, compromete significativamente la planificación y la toma de decisiones en la gestión ambiental y territorial; debido a que, dificulta tanto la elaboración de diagnósticos precisos como la construcción de proyecciones futuras más confiables, restringiendo la comprensión profunda de los patrones climáticos locales. Con base en esto, ampliar y mejorar la base de datos disponible resulta esencial para respaldar estrategias de planificación y adaptación más eficaces y sostenibles frente a los cambios climáticos.

AGRADECIMIENTO

Los autores **VELASQUEZ, J.C.M.** y **MERCADO, E.D.B.** agradecen al Curso de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Córdoba (Colombia) por la financiación del intercambio estudiantil.

ROLDÃO, A.F. agradece al Programa de Posgrado en Ciencias Ambientales de la Universidad Federal de São Carlos. **NASCIMENTO, R.C.M.** agradece el financiamiento de la investigación de posdoctorado Proceso nº 2024/15462-4 de la Fundación de Amparo a la Investigación del Estado de São Paulo (FAPESP).

REFERENCIAS

ALMEIDA, Catherine Torres de; DELGADO, Rafael Coll; OLIVEIRA JÚNIOR, José Francisco de; GOIS, Givanildo; CAVALCANTI, Alessandro Sarmento. Avaliação de estimativas de precipitação do produto 3B43-TRMM do Estado do Amazonas**. Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 3, p. 279-286, 2015. DOI: 10.1590/2179-8087.112114

ALVARES, Clayton Alcarde *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507

ANA - Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**: Região Hidrográfica Amazônica. Brasília, Brasil: ANA. 2015. Disponível em: https://www.ana.gov.br

BANERJEE, Onil *et al.* Can we avert an Amazon tipping point? The economic and environmental costs. **Environmental Research Letters**, v. 17, n. 12, p. 125005, 2022. DOI 10.1088/1748-9326/aca3b8

CARVALHO, Leila MV; JONES, Charles; LIEBMANN, Brant. The South Atlantic convergence zone: Intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal of climate**, v. 17, n. 1, p. 88-108, 2004. DOI: 10.1175/1520-0442(2004)017<0088:TSACZI>2.0.CO;2

DA SILVA, Duany Thainara Corrêa *et al.* Caracterização climatológica da cidade de Manaus/AM. **Biodiversidade Brasileira**, v. 11, n. 4, p. 60-71, 2021. DOI: 10.37002/biobrasil.v11i4.17880

DUQUE-GARDEAZABAL, Nicolás; FRIEDMAN, Andrew R.; BRÖNNIMANN, Stefan. An Atlantic influence on evapotranspiration in the Orinoco and Amazon basins. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 29, n. 14, p. 3277-3295, 2025. DOI: 10.5194/hess-29-3277-2025

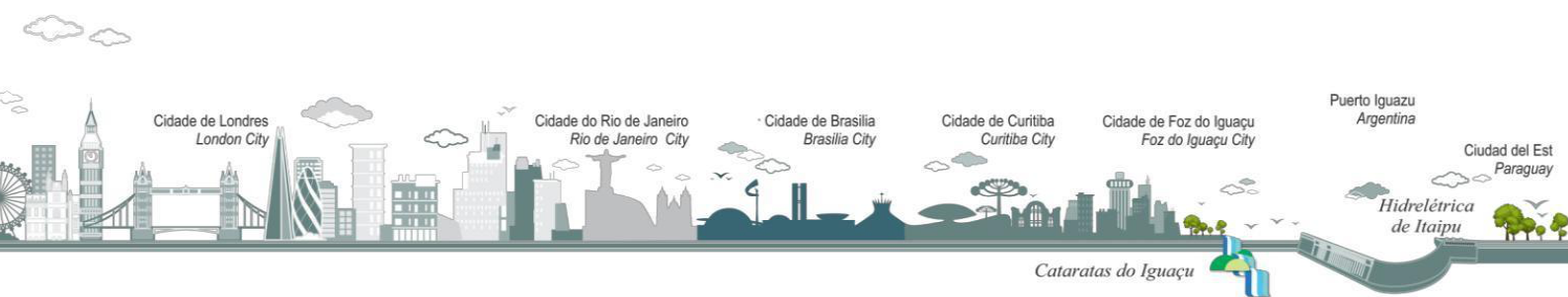
FISCH, Gilberto; MARENGO, José Antonio; NOBRE, Carlos Afonso. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 28, n. 2, p. 101-126, 1998. DOI: 10.1590/1809-43921998282126

FLORES, Bernardo M. *et al.* Critical transitions in the Amazon forest system. **Nature**, v. 626, n. 7999, p. 555-564, 2024. DOI: 10.1038/s41586-023-06970-0

GLOOR, M. *et al.* Intensification of the Amazon hydrological cycle over the last two decades. **Geophysical Research Letters**, v. 40, n. 9, p. 1729-1733, 2013. DOI: 10.1002/grl.50377

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.. **Atlas Geográfico Escolar**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. https://www.ibge.gov.br

JESUS, Nilzele de Vilhena Gomes; SANTOS, Cleber Assis dos; CARDOSO, Leticia Karyne da Silva. Secas em ascensão e precipitação em declínio na Amazônia: diagnóstico estatístico de extremos climáticos ao



longo de quase meio século. **Revista de Segurança, Desenvolvimento e Defesa**, v. 2, n. 2, p. 133-146, 2025.

JUNK, Wolfgang J. *et al.* The flood pulse concept in river-floodplain systems. **Canadian special publication of fisheries and aquatic sciences**, v. 106, n. 1, p. 110-127, 1989.

LAPOLA, David M. *et al.* The drivers and impacts of Amazon forest degradation. **Science**, v. 379, n. 6630, p. eabp8622, 2023. DOI: 10.1126/science.abp8622

LEITE-FILHO, Argemiro Teixeira *et al.* Deforestation reduces rainfall and agricultural revenues in the Brazilian Amazon. **Nature Communications**, v. 12, n. 1, p. 2591, 2021. DOI: 10.1038/s41467-021-22840-7

LIMA, Adriana L. *et al.* Effects of deforestation at different spatial scales on the climate of the Amazon basin. **Climate Research**, v. 91, p. 21-46, 2023. DOI: https://doi.org/10.3354/cr01717

LOVEJOY, Thomas E.; NOBRE, Carlos. Amazon tipping point. **Science advances**, v. 4, n. 2, p. eaat2340, 2018. DOI: 10.1126/sciadv.aat2340

MARENGO, Jose A. *et al.* Changes in climate and land use over the Amazon region: current and future variability and trends. **Frontiers in Earth Science**, v. 6, p. 228, 2018. DOI: 10.3389/feart.2018.00228

MARENGO, José Antonio; ESPINOZA, Jhan Carlo. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 3, p. 1033-1050, 2016. DOI: 10.1002/joc.4420

MARENGO, José Antonio; TOMASELLA, Javier; ALVES, Lincoln; SOARES, Wagner; RODRIGUEZ, Daniel. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. ***Geophysical Research Letters***, v. 38, n. 12, 2011. DOI: 10.1029/2011GL047436

MOREIRA, Rodrigo Martins *et al.* Precipitation variability for protected areas of primary forest and pastureland in Southwestern Amazônia. **Climate**, v. 11, n. 2, p. 27, 2023. DOI: 10.3390/cli11020027

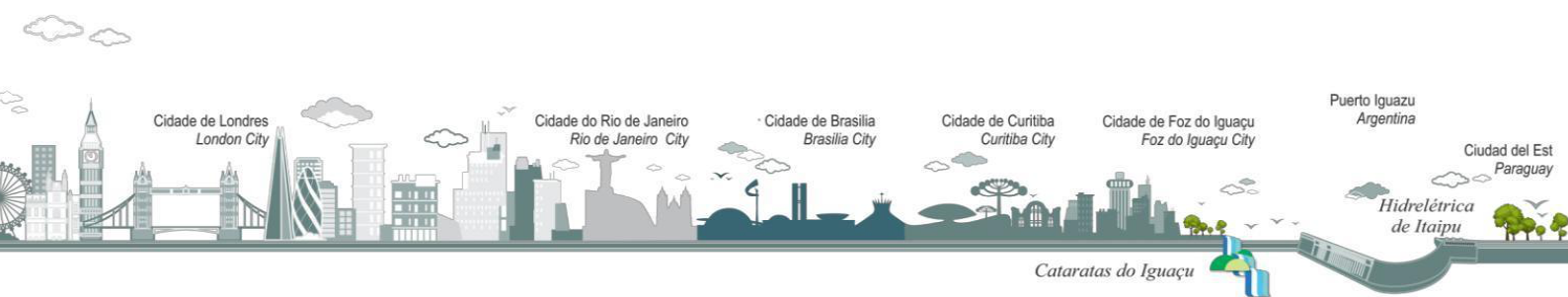
MOTTA PACA, Victor Hugo *et al.* Variability of trends in precipitation across the Amazon River basin determined from the CHIRPS precipitation product and from station records. **Water**, v. 12, n. 5, p. 1244, 2020. DOI: 10.3390/w12051244

NOBRE, Carlos A. *et al.* Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 39, p. 10759-10768, 2016. DOI: 10.1073/pnas.160551611

PAIVA, Rodrigo Cauduro Dias de; COLLISCHONN, Walter; BUARQUE, Diogo Costa. Validação de um modelo hidrológico de grande escala com dados de altimetria espacial na bacia amazônica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos,** v. 16, n. 3, p. 127-146, 2011. DOI: 10.21168/rbrh.v16n3.p127-146

SALATI, Eneas; VOSE, Peter B. Amazon Basin: a system in equilibrium. **Science**, v. 225, n. 4658, p. 129-138, 1984. DOI: 10.1126/science.225.4658.129

SANTOS, Sérgio Rodrigo *et al.* Variabilidade sazonal da precipitação na Amazônia: validação da série de precipitação mensal do GPCC. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 6, p. 1721-1729, 2017. DOI: 10.26848/rbgf.v10.6.p1721-1729

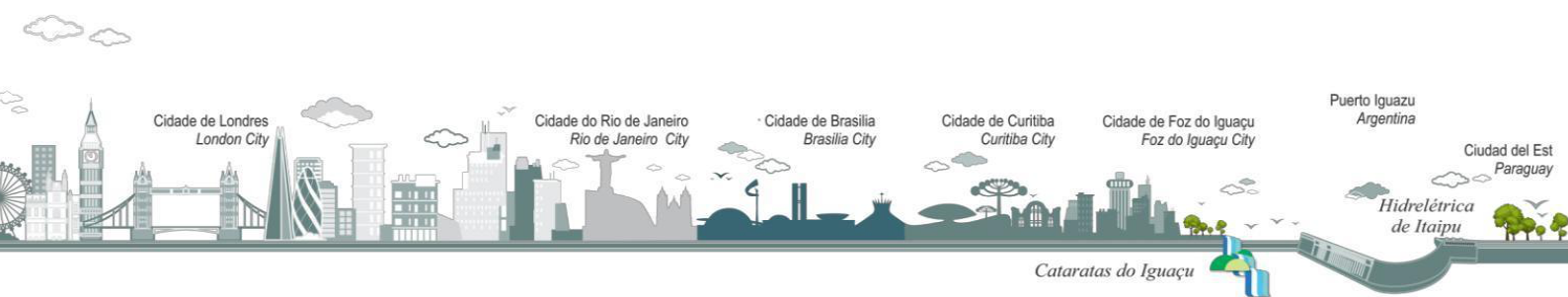


SOUZA JR., Carlos M. *et al.* Amazon severe drought in 2023 triggered surface water loss. **Environmental Research: Climate**, v. 3, n. 4, p. 041002, 2024. DOI: 10.1088/2752-5295/ad7c71

SOUZA, Everaldo Barreiros de; *et al.* Precipitação sazonal sobre a Amazônia oriental no período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 111-124, 2009. DOI: https://doi.org/10.1590/S0102-77862009000200001

SPA - SCIENCE PANEL FOR THE AMAZON. **Amazon Assessment Report 2021**. (Executive Summary). New York: United Nations Sustainable Development Solutions Network, 2021. DOI: 10.55161/RWSX6527

VISCARDI, Leandro Alex Moreira *et al.* Environmental controls on isolated convection during the Amazonian wet season. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 24, n. 15, p. 8529-8548, 2024. DOI: 10.5194/acp-24-8529-2024

XAVIER, Alexandre Candido; KING, Kevin W.; SCANLON, Bridget R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). ***I*nternational Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2016. DOI: 10.1002/joc.4518

ZANIN, Paulo Rodrigo; PAREJA-QUISPE, David; ESPINOZA, Jhan-Carlo. Evapotranspiration in the Amazon Basin: Couplings, hydrological memory and water feedback. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 352, p. 110040, 2024. DOI: 10.1016/j.agrformet.2024.110040