

Disponibilidad y distribución temporal de observaciones hidrometeorológicas en la cuenca del río Pilcomayo

Denise Cáceres¹ y Andrew Ogilvie²

¹ IRD Bolivie, UMR G-EAU

² UMR G-EAU, AgroParisTech, Cirad, Université de Montpellier, IRD, INRAE, Montpellier SupAgro, Montpellier 34196, France

06 de abril de 2026

Contenido

1. Introducción	1
2. Datos hidrometeorológicos	2
2.1. Precipitación	2
2.2. Altura del río	7
2.3. Caudal del río	9
3. Conclusiones y perspectivas	13
Referencias	14

1. Introducción

La cuenca hidrográfica del río Pilcomayo es un sistema transfronterizo compartido por Bolivia, Argentina y Paraguay. Desde 1995, la gestión de este sistema es coordinada por la Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo (CTN), un organismo internacional creado para fomentar la cooperación entre los tres países. En el marco de esta misión, la Comisión desarrolló el portal de datos pilcomayo.net, una plataforma que centraliza y pone a disposición información hidrológica y meteorológica proveniente de estaciones de monitoreo distribuidas a lo largo de la cuenca.

A partir de este portal, el presente reporte presenta un inventario de observaciones hidrometeorológicas clave – precipitación, altura y caudal del río – y un análisis de su distribución temporal en 18 estaciones seleccionadas (véase el mapa más abajo). Estas estaciones se ubican dentro de la cuenca delimitada según el producto HydroBASINS (Lehner & Grill, 2013). Con base en este análisis, el reporte ofrece una caracterización parcial de los regímenes de precipitación e hidrología de la cuenca. Cabe señalar que en este reporte solo se consideraron las observaciones disponibles hasta finales de julio de 2025 (es decir, hasta el final del año hidrológico 2025).

Este trabajo fue realizado en el marco del proyecto “Vulnerabilidades y adaptaciones a los cambios en la disponibilidad de recursos hídricos en la cuenca transfronteriza Pilcomayo” (pulso-pilcomayo.com), liderado por el Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo (IRD). Los scripts utilizados para generar las figuras (en lenguaje R) están disponibles en el repositorio GitHub Pilcomayo-HYDRO o pueden solicitarse a través del correo electrónico d.caceres.iturra lde@gmail.com.

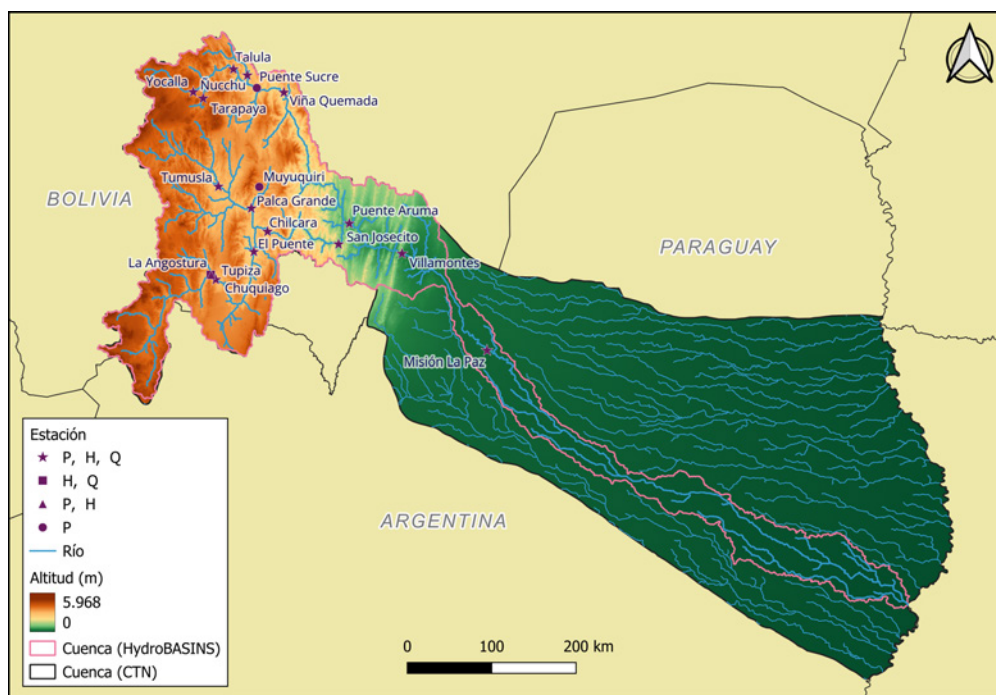


Figura 1: Mapa de la cuenca hidrográfica del río Pilcomayo. Las estaciones de monitoreo se representan con distintos símbolos puntuales según las variables observadas: P (precipitación), H (altura del río) y Q (caudal). Se muestran dos delimitaciones de cuenca: en negro la delimitación de la CTN y en rosado la delimitación según el producto HydroBASINS.

2. Datos hidrometeorológicos

A lo largo de este reporte, el término “año” se utiliza para referirse al año hidrológico, definido como el período comprendido entre agosto y julio del año siguiente. El análisis presentado en esta sección se extiende hasta el final del año hidrológico 2025, es decir, hasta finales de julio de 2025. Todos los períodos mencionados corresponden a años hidrológicos.

2.1. Precipitación

Las series de precipitación utilizadas en las figuras 2 a 6 se obtuvieron a partir de registros instantáneos recolectados en las estaciones de monitoreo. Estos datos se encuentran en los archivos brutos identificados con el prefijo “planilla_precipitaciones”, disponibles para descarga en el portal. Para cada estación, la precipitación diaria se obtuvo mediante la suma de todas las mediciones instantáneas registradas a lo largo del día, mientras que la precipitación mensual se calculó como la suma de las precipitaciones diarias correspondientes a cada mes. El código utilizado para procesar los datos brutos y generar las series diarias se encuentra disponible en el script `Calculate_and_plot_daily_precipitation.R`, accesible en el repositorio GitHub Pilcomayo-HYDRO.

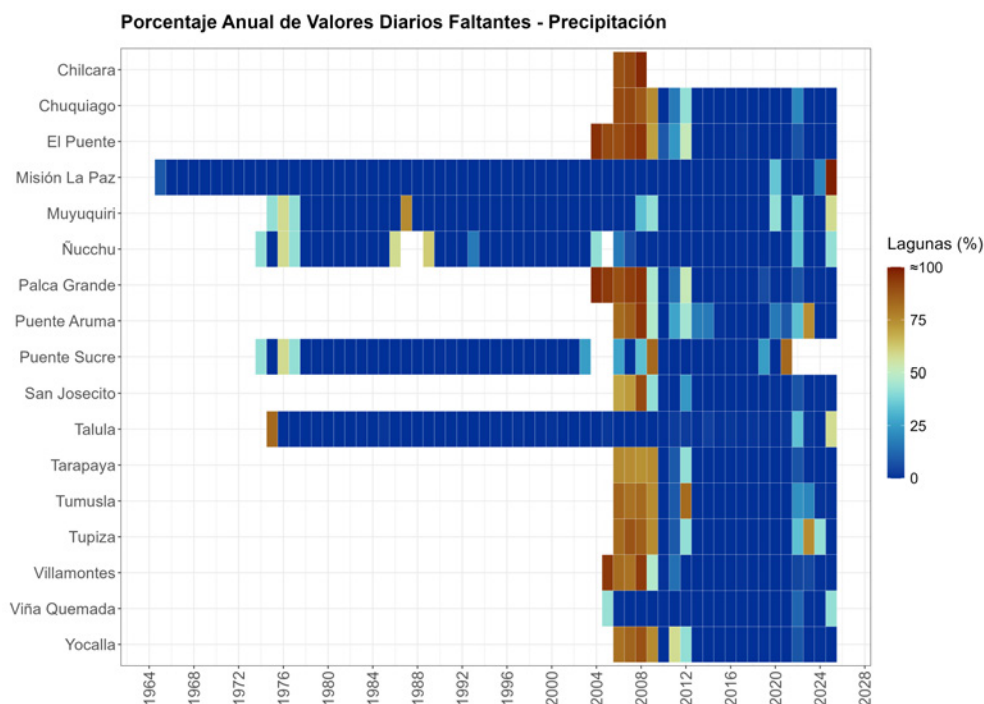


Figura 2: Porcentaje anual de datos diarios de precipitación faltantes por estación. Cada celda corresponde a un año hidrológico (p. ej., el año hidrológico 2025 abarca de agosto de 2024 a julio de 2025).

La disponibilidad de datos diarios de precipitación presenta una marcada heterogeneidad entre estaciones (Fig. 2). Chilcara, actualmente inactiva, solo cuenta con tres años consecutivos de registros, con lagunas superiores al 75 % en cada año. En contraste, Misión La Paz, con registros que se remontan al año 1965, dispone de la serie diaria de precipitación más extensa y completa del conjunto de estaciones analizadas. Entre las estaciones activas hasta el año 2025, le siguen Muyuquiri, Ñucchu y Talula, todas ellas con períodos de observación comparables. El resto

presenta series que se inician en el año 2006 o en años inmediatamente anteriores; no obstante, en la mayoría de estos casos se observan lagunas muy considerables (superiores al 50 %) hasta el año 2009. Con base en esta observación, se tomó el período agosto de 2009 a julio de 2025 (es decir, los años hidrológicos 2010-2025) para el análisis de la distribución temporal de la precipitación diaria y mensual observada (Figs. 3-6). Asimismo, se excluyeron las estaciones inactivas, es decir, Chilcara y Puente Sucre.

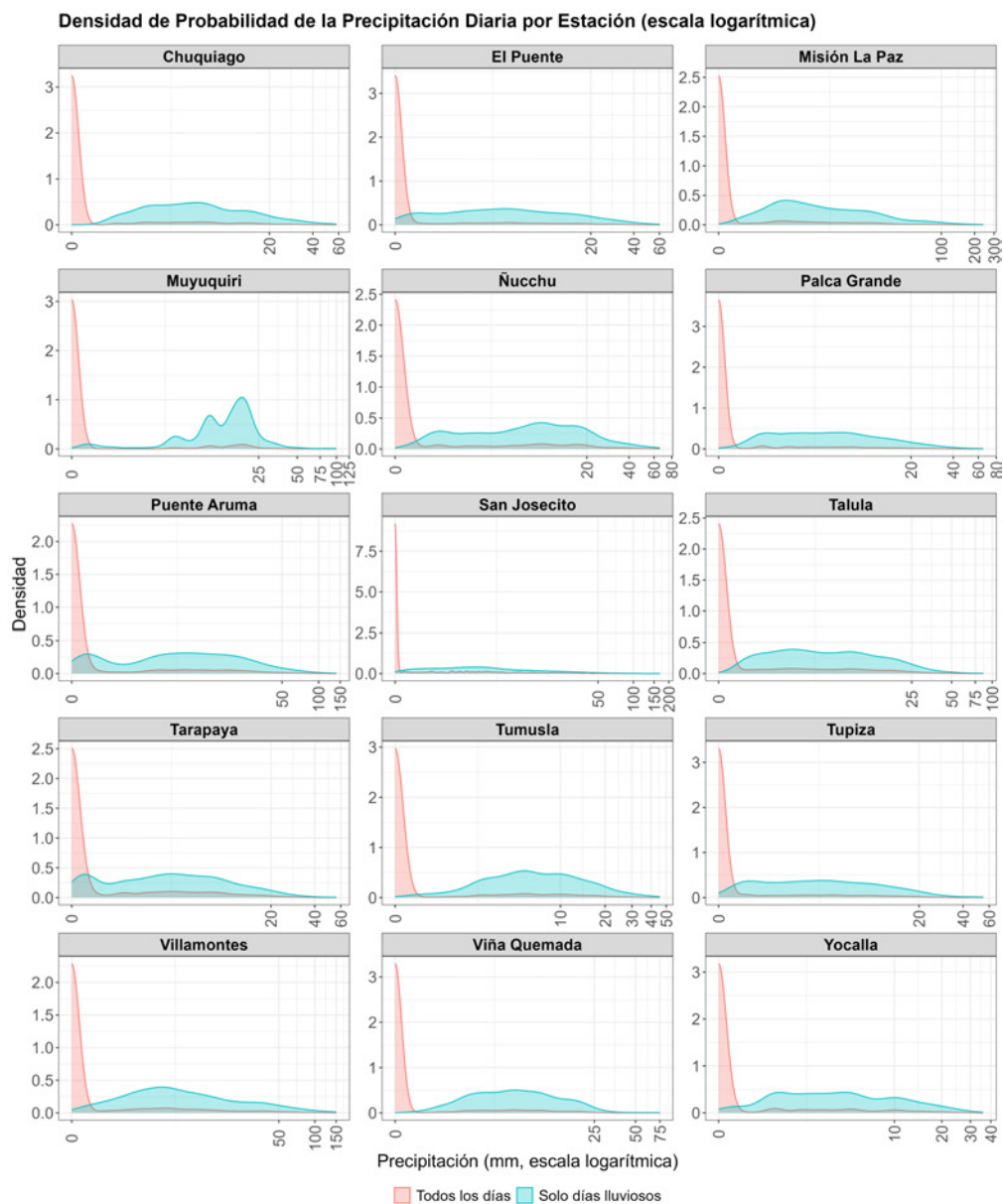


Figura 3: Función de densidad de probabilidad de la precipitación diaria (mm) durante el período agosto de 2009 a julio de 2025. La precipitación se muestra en escala logarítmica para facilitar la visualización de las curvas.

La Figura 3 muestra las funciones de densidad de probabilidad (PDF) de la precipitación diaria para cada una de las estaciones activas, considerando tanto todos los días del registro (incluyendo los días sin precipitación) como únicamente los días con precipitación positiva (días lluviosos). En todas las estaciones, ambas distribuciones presentan una asimetría marcada con cola hacia la derecha (incluso si, en el caso de los días lluviosos, la escala logarítmica hace la cola menos aparente). Al considerar todos los días del registro, se observa una fuerte concentración de valores cercanos a cero, que se manifiesta como un pico pronunciado en el origen y refleja la alta frecuencia de días secos propia del régimen semiárido de la región.

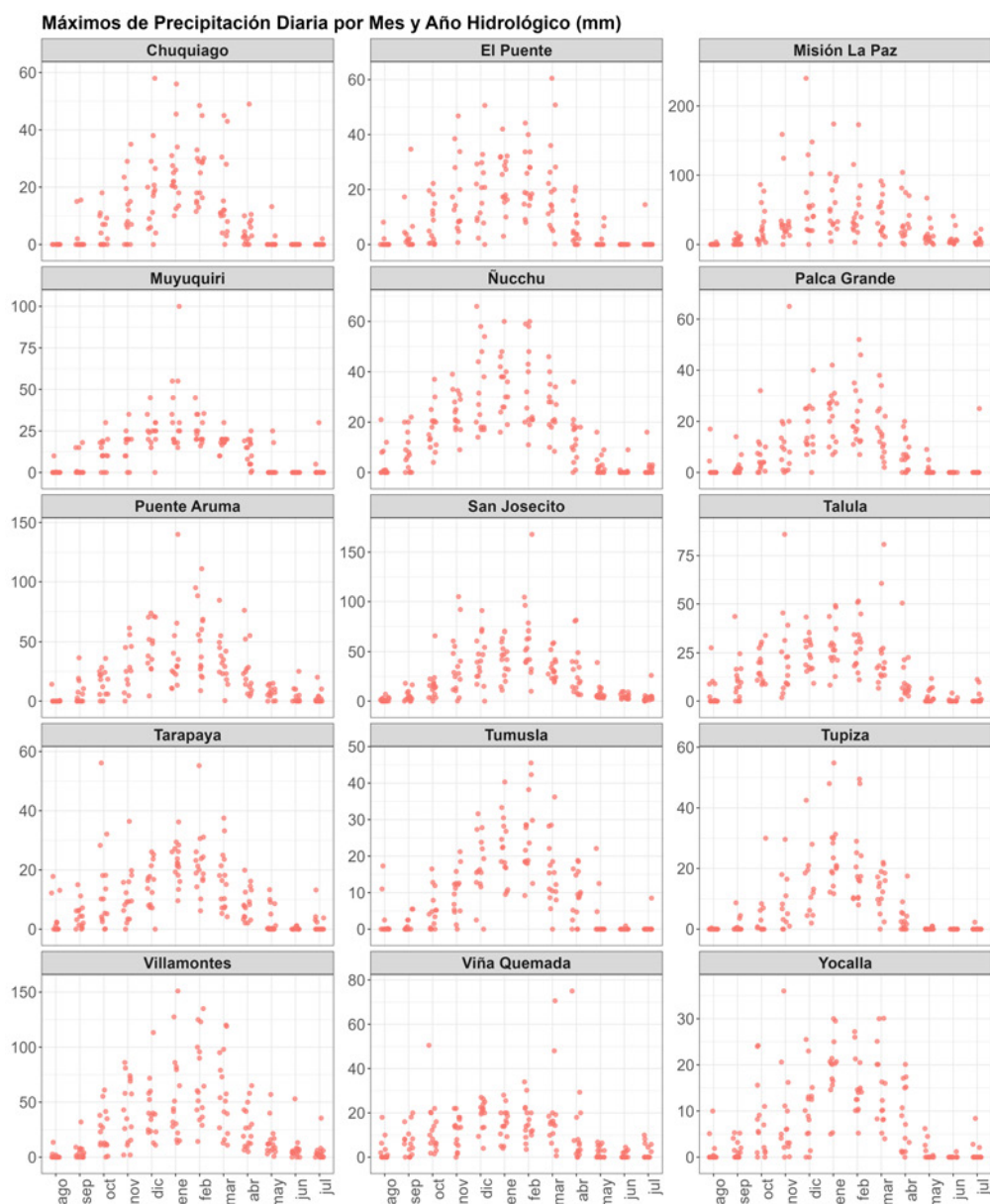


Figura 4: Precipitación diaria máxima (mm) por mes y año hidrológico durante el período agosto de 2009 a julio de 2025. El año hidrológico inicia en agosto y termina en julio (p. ej., el año hidrológico 2025 abarca de agosto de 2024 a julio de 2025).

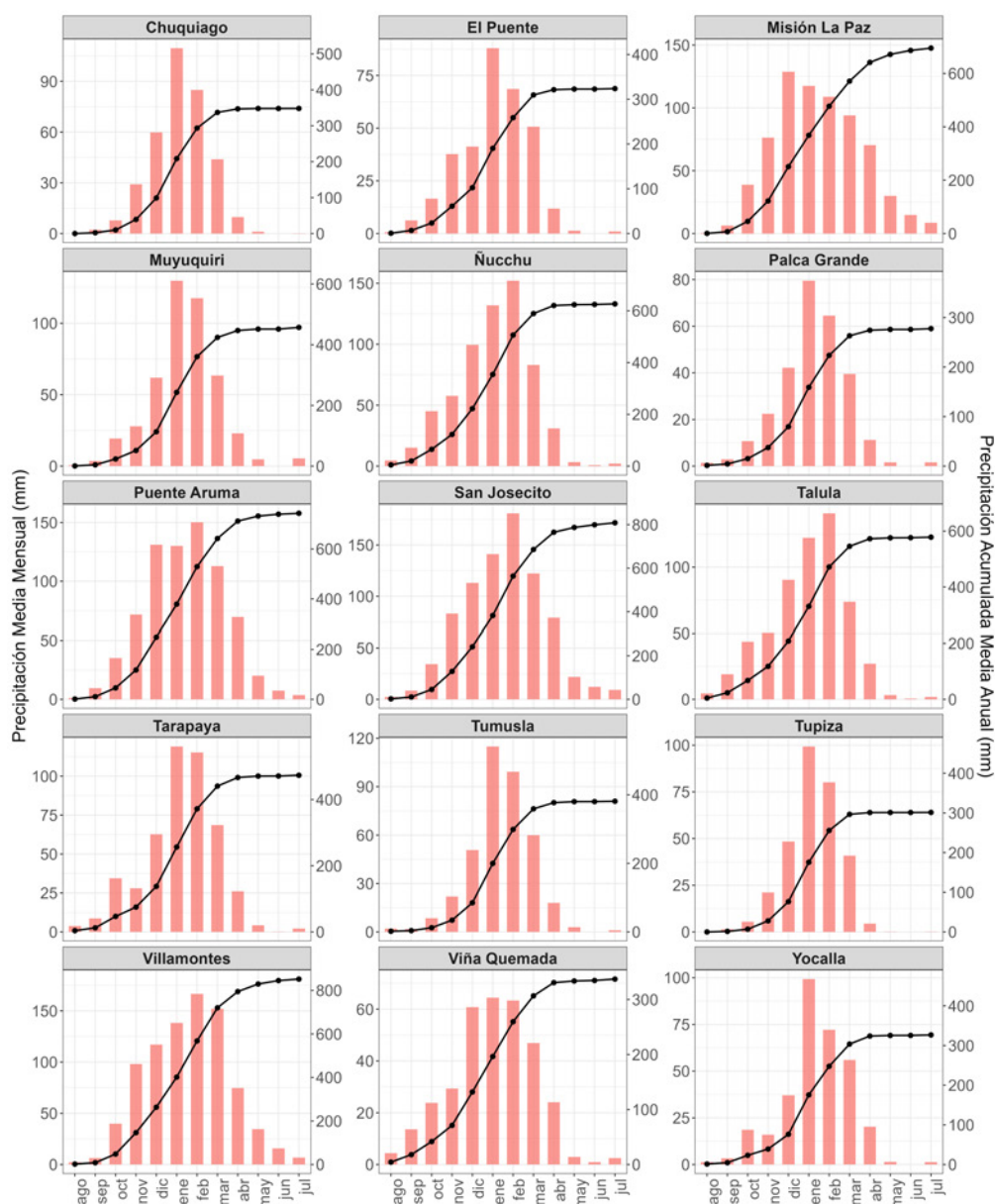


Figura 5: Precipitación media mensual observada (barras, mm) y precipitación acumulada media anual (línea, mm) durante el período agosto de 2009 a julio de 2025. Los meses están ordenados según el año hidrológico, que comienza en agosto.

Cuando se consideran únicamente los días lluviosos, las PDFs muestran que los eventos de baja a moderada intensidad son los más frecuentes, mientras que los eventos de precipitación intensa ocurren con mucha menor frecuencia, aunque pueden alcanzar valores elevados (Figs. 3-4). Si bien la forma general de las distribuciones es similar entre estaciones, se observan diferencias en su amplitud y en la extensión de las colas derechas, lo que evidencia variaciones espaciales en la intensidad de los eventos de precipitación (Fig. 3). En particular, las estaciones de San Josecito, Puente Aruma y Villamontes registraron precipitaciones diarias cercanas a 150 mm durante el

período analizado, mientras que en Misión La Paz los eventos extremos superaron los 200 mm (Fig. 4).

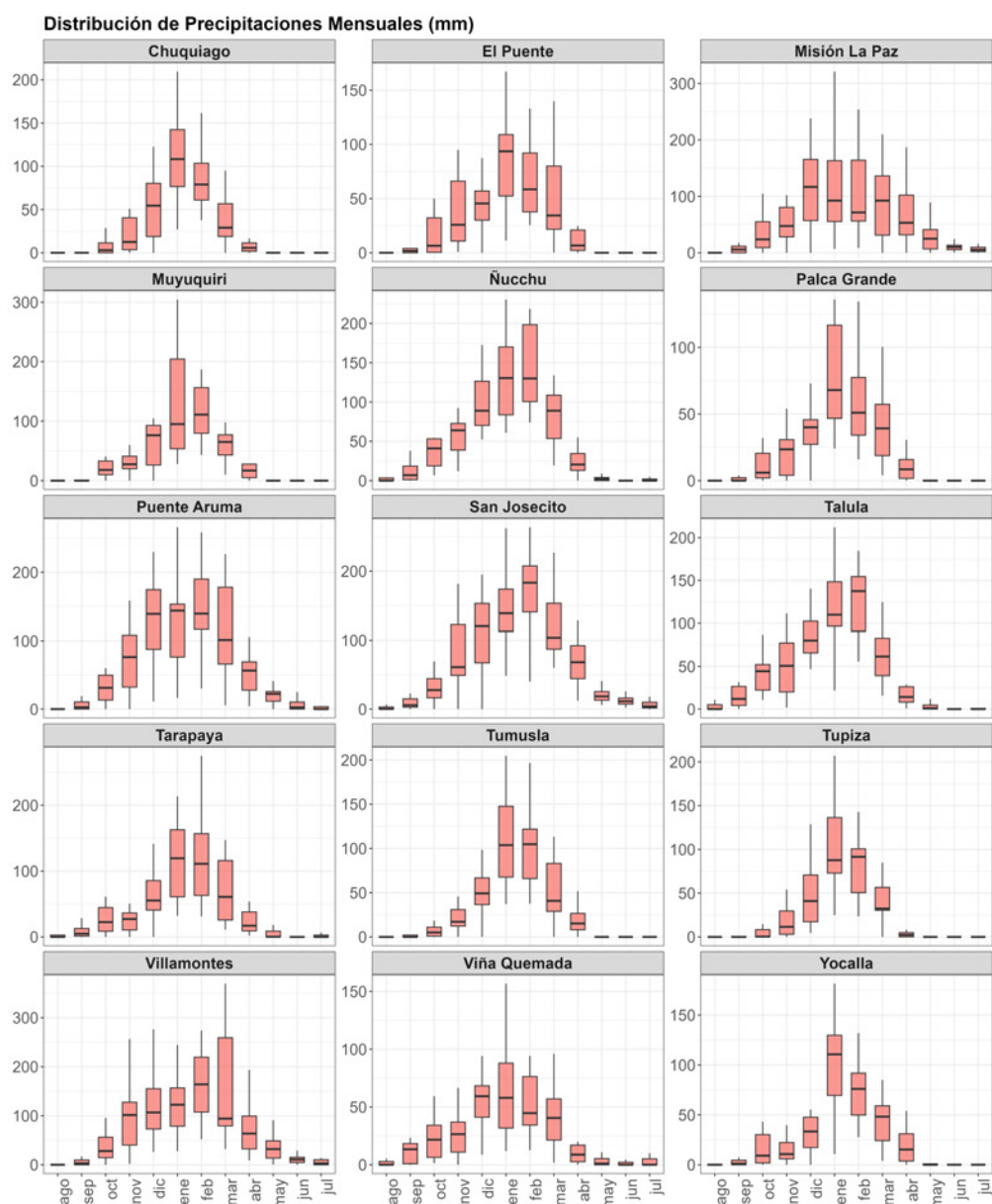


Figura 6: Distribución de la precipitación mensual observada (mm) durante el período agosto de 2009 a julio de 2025. Las cajas representan el rango intercuartílico (percentiles 25 a 75), la línea horizontal indica la mediana (percentil 50) y los bigotes se extienden hasta 1.5 veces el rango intercuartílico. Los valores extremos más allá de los bigotes no se muestran. Los meses están ordenados según el año hidrológico, que comienza en agosto.

A una escala temporal mayor, la precipitación mensual presenta una marcada estacionalidad, típica de las regiones semiáridas. Ésta se caracteriza por una estación seca que alcanza su máxima expresión durante los meses invernales y una estación húmeda que se intensifica en los meses

estivales (Figs. 5-6). Durante estos últimos se registra además la mayor variabilidad interanual (Fig. 6). En términos de precipitación media anual, las mayores acumulaciones se observan en las estaciones de San Josecito, Puente Aruma, Villamontes y Misión La Paz, con valores entre aproximadamente 700 y 850 mm (Fig. 5). En conjunto, los resultados sugieren que tanto la magnitud de los eventos extremos como la precipitación anual tienden a ser mayores en la cuenca media y baja que en la cuenca alta.

2.2. Altura del río

Las series diarias de altura del río utilizadas en las figuras 7 y 8 se obtuvieron a partir de los registros instantáneos recolectados en las estaciones de monitoreo. Estos datos se encuentran en los archivos brutos identificados con el prefijo “planilla_altura”, disponibles para descarga en el portal. Para cada estación, la altura diaria se calculó como el promedio de todas las mediciones instantáneas registradas a lo largo del día. El código utilizado para procesar los datos brutos y generar las series diarias se encuentra disponible en el script `Calculate_and_plot_daily_waterheight.R`, accesible en el repositorio GitHub Pilcomayo-HYDRO.

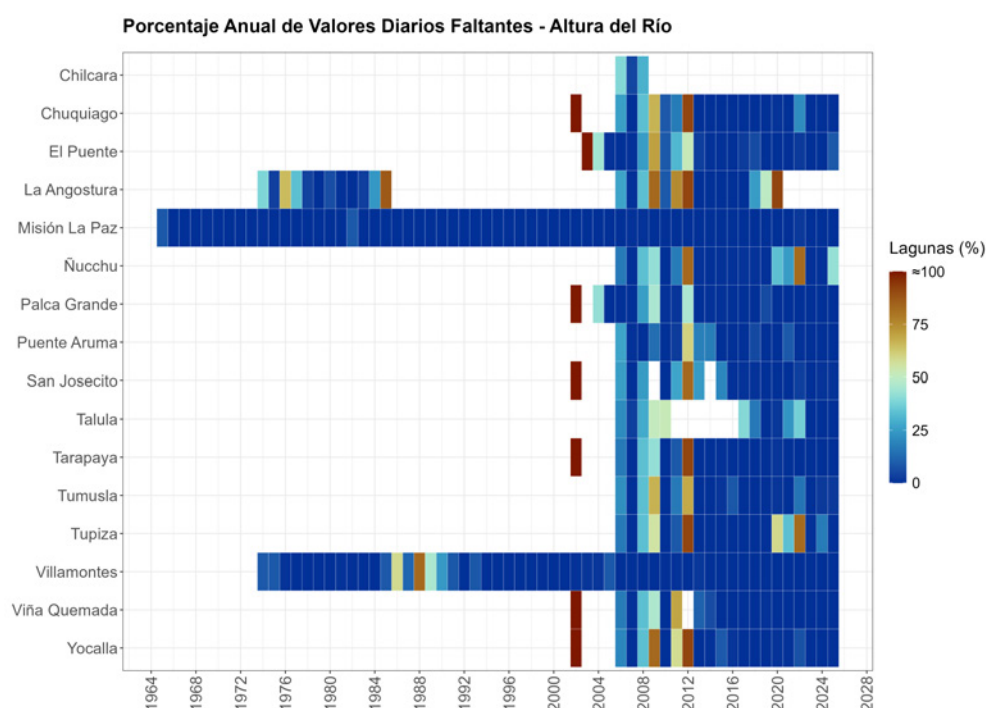


Figura 7: Porcentaje anual de datos diarios de altura del río faltantes por estación. Cada celda corresponde a un año hidrológico (p. ej., el año hidrológico 2025 abarca de agosto de 2024 a julio de 2025).

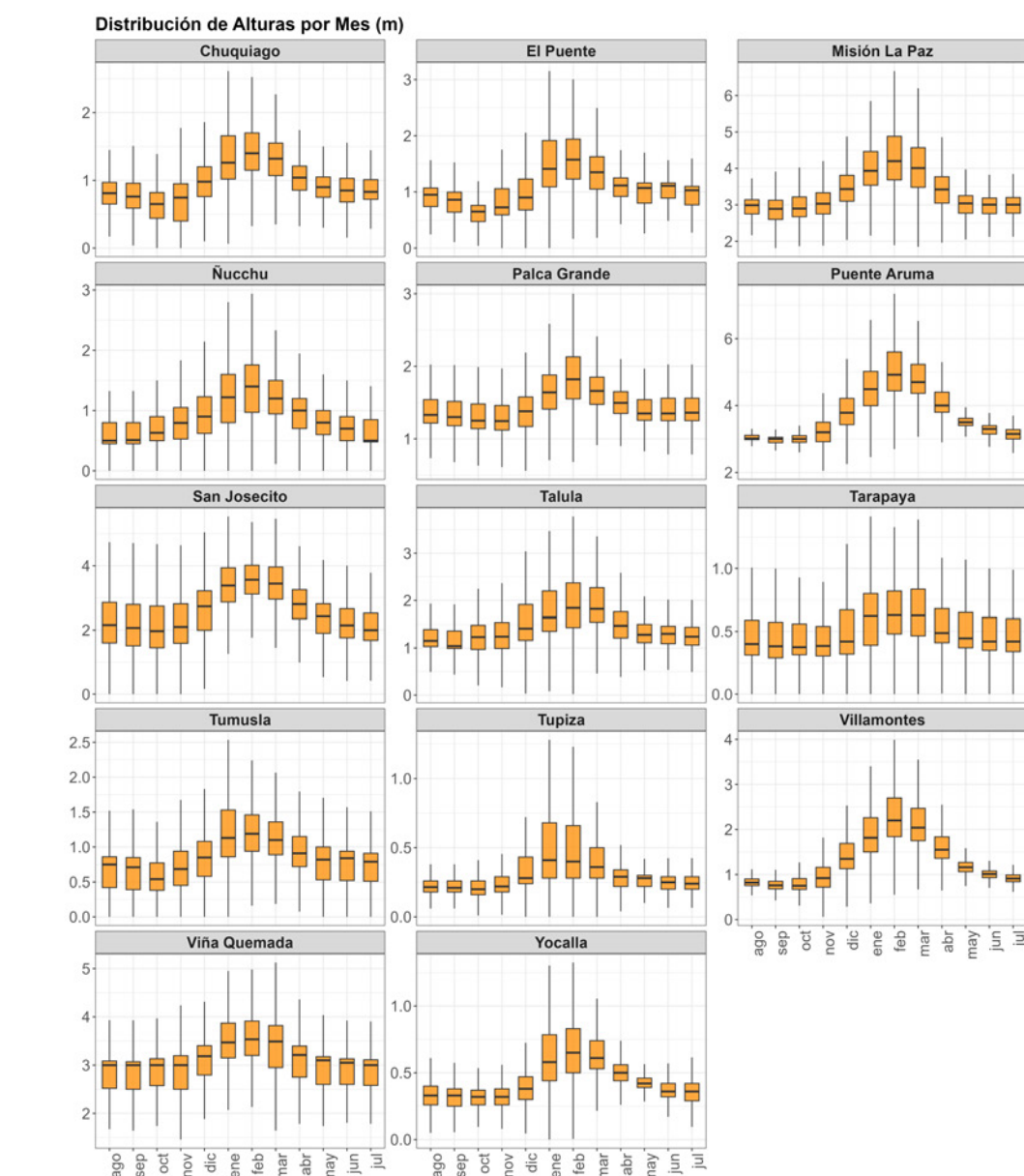


Figura 8: Distribución de la altura del río diaria observada (m) por mes durante el período agosto de 2005 a julio de 2025. Las cajas representan el rango intercuartílico (percentiles 25 a 75), la línea horizontal indica la mediana (percentil 50) y los bigotes se extienden hasta 1.5 veces el rango intercuartílico. Los valores extremos más allá de los bigotes no se muestran. Los meses están ordenados según el año hidrológico, que comienza en agosto.

La mayoría de las estaciones presenta períodos de observación similares para la precipitación y la altura del río (Figs. 2 y 7). Sin embargo, en algunos casos se observan diferencias importantes entre ambas series. En particular, Talula y Ñucchu se distinguen por contar con series de precipitación (1975–2025 y 1974–2025, respectivamente) considerablemente más extensas que sus registros de altura del río (2006–2025 en ambos casos). En contraste, en Villamontes la serie de precipitación (2005–2025) es sustancialmente más corta que la serie de altura (1974–2025). Asi-

mismo, el porcentaje anual de datos faltantes puede diferir de manera significativa entre ambas variables. Por ejemplo, en Chilcara la altura del río se registró durante los mismos años que la precipitación, aunque con una proporción de lagunas considerablemente menor. Por su parte, la serie de altura de Talula presenta una interrupción de seis años consecutivos (2011-2016) que no se observa en la serie de precipitación correspondiente.

La estación de Misión La Paz cuenta con la serie diaria de altura del río más extensa y completa, con registros que abarcan el período 1965–2025 (Fig. 7). Le sigue Villamontes, cuyos registros se remontan a 1974; no obstante, esta estación presenta lagunas importantes en los años 1986, 1988, 1989 y 1990. Las demás estaciones disponen de series relativamente continuas entre 2006 y 2025. Con base en esta disponibilidad de datos, se seleccionó el período agosto de 2005 a julio de 2025 (correspondiente a los años hidrológicos 2006-2025) para el análisis de la distribución temporal de la altura diaria observada (Fig. 8). Asimismo, se excluyeron las estaciones inactivas, es decir, Chilcara y La Angostura.

Al igual que la precipitación, la altura del río presenta un marcado ciclo anual, compuesto por dos períodos bien definidos: un período de estiaje, durante el cual las alturas tienden a ser más bajas y que coincide aproximadamente con la estación seca, y un período de crecida, caracterizado por niveles más elevados y asociado a la estación húmeda (Fig. 8). Es durante este segundo período cuando se registran las alturas más extremas y una mayor variabilidad. Por otra parte, se observa un gradiente longitudinal a lo largo de la cuenca, con valores que aumentan desde aguas arriba hacia aguas abajo.

2.3. Caudal del río

Los datos de caudal del río presentados en las Figuras 9 a 14 provienen de campañas de aforo realizadas periódicamente en las estaciones de monitoreo. Estos registros se encuentran en los archivos brutos identificados con el prefijo “planilla_altura”, disponibles para descarga en el portal.

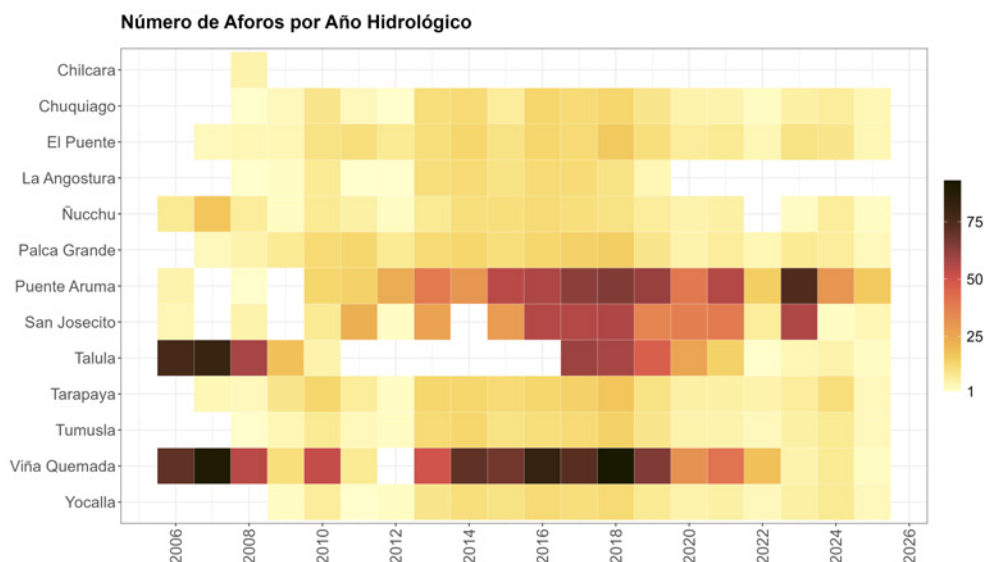


Figura 9: Número de aforos por año y estación. Cada celda corresponde a un año hidrológico (p. ej., el año hidrológico 2025 abarca de agosto de 2024 a julio de 2025).



Figura 10: Número de aforos por año y estación. Cada barra corresponde a un año hidrológico (p. ej., el año hidrológico 2025 abarca de agosto de 2024 a julio de 2025).

Con registros que se remontan a 1965 y 1976, respectivamente, Misión La Paz y Villamontes presentan una disponibilidad de datos de aforo considerablemente mayor que el resto de las estaciones (Figs. 9-12). En los demás casos, los registros comienzan en 2006 o en años cercanos posteriores. En términos generales, Misión La Paz es la estación con mayor frecuencia anual de aforos; en particular, entre 1980 y 1998 (con la excepción de 1984) se realizaron más de 300 aforos por año (Figs. 11 y 12). No obstante, se observa una interrupción en la realización de aforos entre 1967 y 1972. En Villamontes, a pesar de una menor disponibilidad de datos y de la presencia de lagunas importantes entre 1992 y 2003, se registran más de 100 aforos anuales durante los períodos 1977–1979, 1981–1983 y 2005–2007. Entre las demás estaciones, Puente Aruma, San Josecito, Talula y Viña Quemada destacan por su mayor disponibilidad de datos, aunque el registro de Talula presenta una interrupción entre 2011 y 2016 (Figs. 9 y 10). Considerando la disponibilidad de datos de aforo en las distintas estaciones, se seleccionó el período agosto de 2009 a julio de 2025 (correspondiente a los años hidrológicos 2010-2025) para el análisis de la distribución temporal del caudal instantáneo observado (Fig. 14). Asimismo, se excluyeron del análisis las estaciones inactivas, correspondientes a Chilcara y La Angostura.

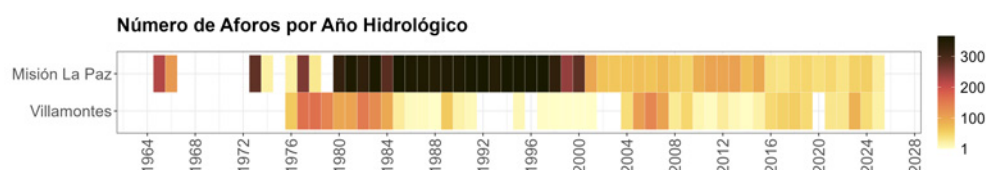


Figura 11: Número de aforos por año en las estaciones de monitoreo de Villamontes y Misión La Paz. Cada celda corresponde a un año hidrológico (p. ej., el año hidrológico 2025 abarca de agosto de 2024 a julio de 2025).

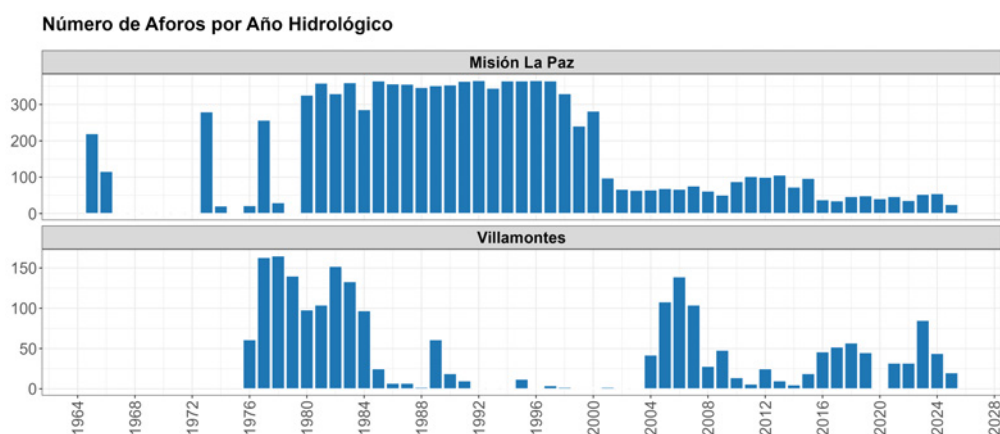


Figura 12: Número de aforos por año en las estaciones de monitoreo de Villamontes y Misión La Paz. Cada barra corresponde a un año hidrológico (p. ej., el año hidrológico 2025 abarca de agosto de 2024 a julio de 2025).

La frecuencia de aforos no solo varía entre años hidrológicos, sino también a lo largo del ciclo anual. En general, se registra una menor frecuencia de mediciones entre diciembre y marzo (Fig. 13), lo cual se asocia al mayor riesgo operativo durante el período de crecida, cuando se presentan los caudales más extremos (Fig. 14). Por otra parte, aunque de forma menos pronunciada, también se observa una disminución en la frecuencia de aforos entre junio y agosto (Fig. 13). Esta reducción se relaciona con la ocurrencia de caudales muy bajos propios del período de estiaje (Fig. 14), que igualmente pueden dificultar la realización de las mediciones.

La distribución mensual de las mediciones de caudal en las distintas estaciones analizadas indica que la cuenca presenta un régimen hidrológico fuertemente controlado por la precipitación (Fig. 14). Esta relación ya se había sugerido a partir de la distribución de las mediciones de altura del río (Sec. 2.2); sin embargo, dichas mediciones dependen de la geometría de la sección transversal de cada estación, la cual puede variar con el tiempo y dificultar su interpretación directa. La distribución del caudal muestra un marcado contraste entre el período de estiaje y el período de crecida, con magnitudes y variabilidad considerablemente menores en el primero que en el segundo. Cabe señalar que los datos de aforo sólo representan una fracción de la magnitud y la variabilidad reales de los caudales en las diferentes estaciones. Desde una perspectiva espacial, el caudal, al igual que la altura del río, aumenta progresivamente desde aguas arriba hacia aguas abajo, reflejando la acumulación de aportes a lo largo de la cuenca.

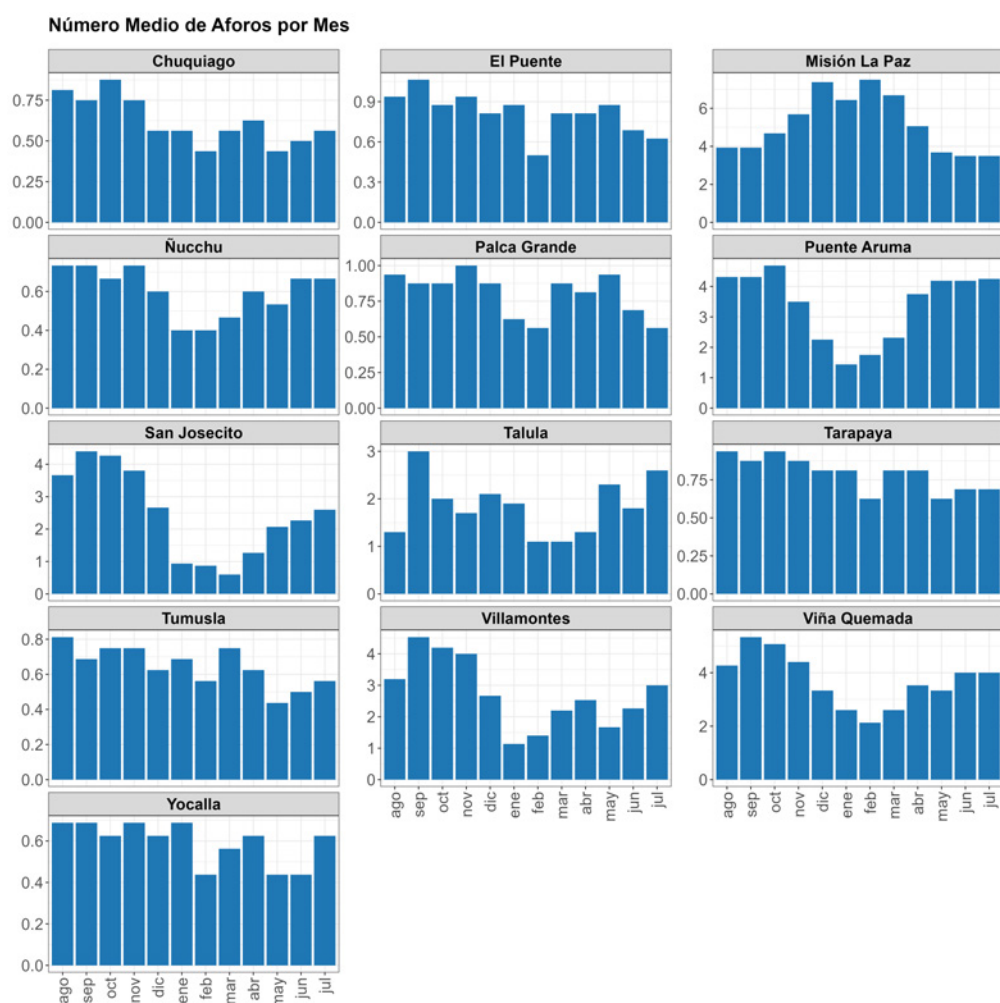


Figura 13: Número medio de aforos realizados por mes durante el período agosto de 2009 a julio de 2025.

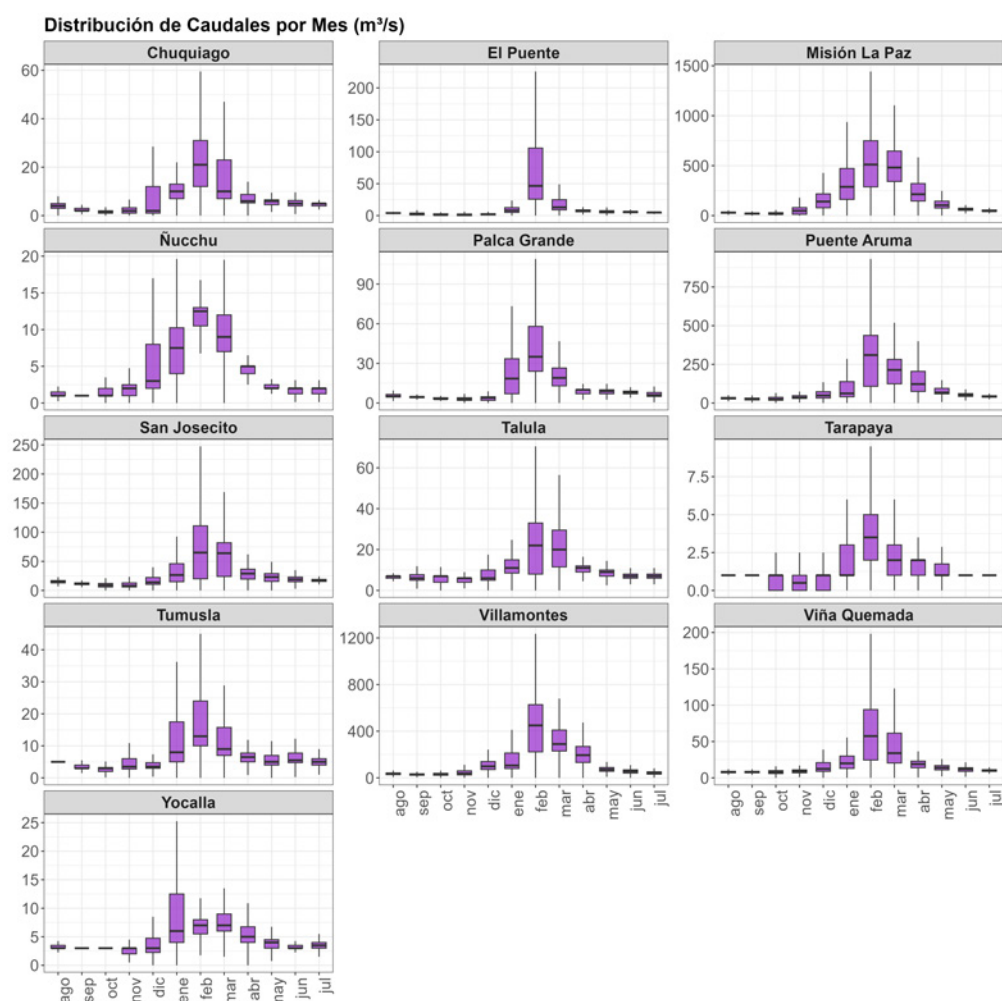


Figura 14: Distribución del caudal instantáneo observado (m^3/s) por mes durante el período agosto de 2009 a julio de 2025. Las cajas representan el rango intercuartílico (percentiles 25 a 75), la línea horizontal indica la mediana (percentil 50) y los bigotes se extienden hasta 1.5 veces el rango intercuartílico. Los valores extremos más allá de los bigotes no se muestran. Los meses están ordenados según el año hidrológico, que comienza en agosto.

3. Conclusiones y perspectivas

El análisis temporal y espacial de los registros hidrometeorológicos considerados en este reporte permitió establecer una primera caracterización de los regímenes de precipitación e hidrología de la cuenca del río Pilcomayo. Asimismo, el inventario de dichos registros permitió identificar estaciones clave, que se prevé analizar con mayor detalle en trabajos posteriores. Cabe señalar que la caracterización presentada aquí es parcial, ya que se basa en una selección limitada de las estaciones disponibles en la cuenca y no incorpora los registros posteriores a julio de 2025. Además, la información contenida en los archivos presenta limitaciones asociadas a la presencia significativa de lagunas, lo que restringe el alcance del análisis.

Para lograr una caracterización más completa del régimen hidrológico de la cuenca y de su evolución en el tiempo, es necesario reconstruir las series históricas de caudal medio diario. Este

proceso comienza con el establecimiento de curvas de gasto, que describen la relación entre la altura del río y el caudal a partir de los datos de aforo. Estas curvas, combinadas con los registros de altura media diaria, permiten estimar las correspondientes series de caudal medio diario.

Referencias

Lehner, B., & Grill, G. (2013). Global river hydrography and network routing: baseline data and new approaches to study the world's large river systems. *Hydrological Processes*, 27(15), 2171-2186. <https://doi.org/10.1002/hyp.9740>