

ARTÍCULO

SERIES DE PRECIPITACIÓN GLOBAL: IMPLICANCIAS PARA EL ESTUDIO DE EVENTOS EXTREMOS EN ÁREAS SERRANAS

Global precipitation datasets: implications for the study of extreme rainfall in mountain areas

Casado, A. *^{1 2} , Berón de la Puente, F. J. ³  & Gil, V. ³ 

RESUMEN: Los datos climáticos globales son una alternativa muy útil frente a la deficiencia espacio-temporal de registros. Si bien su uso se ha generalizado, existen aún varios interrogantes acerca de la confiabilidad de estos productos para la detección de precipitaciones extremas en terrenos complejos. Este estudio evalúa el potencial de aplicación de series globales de precipitación diaria para el estudio de eventos extremos en las Sierras Australes Bonaerenses (Argentina). Para ello, se comparan las series globales unificadas de precipitación del Centro de Predicción Climática (CPC) y las series de precipitación infrarroja con datos de estación del Grupo de Peligros Climáticos (CHIRPS). Se utilizan los índices Rx1d, Rx5d y SDII junto con R13 y R25 para explorar el ajuste y la confiabilidad de las series en términos de magnitud y frecuencia de extremos, respectivamente. Los resultados muestran un ajuste bajo-moderado para los cinco índices, con mayores inconsistencias en la intensidad y la frecuencia de eventos. Tanto la magnitud como la frecuencia son subestimadas y los errores que se incrementan junto con el potencial pluviométrico de las estaciones. Se evidencian asimismo variaciones

1 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - Centro de Emprendedorismo y Desarrollo Territorial Sostenible, Universidad Provincial del Sudoeste, Argentina.

2 Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, Argentina.

3 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - Depto. de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, Argentina.

* Autor de correspondencia. Ana Casado. Correo electrónico: ana.casado@uns.edu.ar

Como citar este artículo: Casado, A., Berón de la Puente, F. J. & Gil, V. (2024). Series de precipitación global: implicancias para el estudio de eventos extremos en áreas serranas. Revista FACENA 34(2), 82-103. Doi: <https://doi.org/10.30972/fac.3427735>

Recibido/Received: 18/03/2024. Revisión: 28/03/2024. Aceptado/Accepted: 31/07/2024.

Editor asociado: Félix Ignacio Contreras.

Publicado en línea: 15/11/2024. ISSN 1851-507X en línea.

espaciales de ajuste y confidencialidad que resultan del contraste topográfico entre los sectores serrano y extra serrano. Si bien CPC arroja mejores resultados que CHIRPS, se concluye que ninguna de las dos series resulta adecuada para la evaluación de eventos extremos y su variabilidad en las Sierras Australes Bonaerenses, en razón de las limitantes de escala y orografía.

PALABRAS CLAVE: Precipitación global, CPC, CHIRPS, Eventos de precipitación extrema, Sierras Australes Bonaerenses.

ABSTRACT: Global climate datasets are a useful alternative to the spatiotemporal deficiency of gauged records. While the use of such products has widespread, their reliability for detection of extreme rainfall events in complex terrains has large uncertainties. This study evaluates the potential application of global daily precipitation datasets for extreme rainfall assessment in the Sierras Australes Bonaerenses (Argentina). Two commonly used products are compared, Global Unified Gauge-Based Analysis of Daily Precipitation (CPC) and Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS). The precipitation indices Rx1d, Rx5d and SDII together with R13 and R25 were selected to explore the series performance relative to the magnitude and frequency of extremes, respectively. Results show low to moderate fit for the five indices, with greater inconsistencies in the intensity and frequency of events. Both magnitude and frequency are underestimated, with errors that increase with the rainfall potential of the stations. Spatial variations in fit and reliability are also evident, and result from the topographic contrast between mountain and extra-mountain sectors. Although CPC yields better results than CHIRPS, it is concluded that neither of both is suitable for assessment of extreme rainfall events and variability in the Sierras Australes Bonaerenses, due to limitations of scale and topography.

Keywords: Global Precipitation datasets, CPC, CHIRPS, Extreme rainfall, Sierras Australes Bonaerenses.

INTRODUCCIÓN

Si bien no existe una definición global unificada ni un único método de determinación de precipitaciones extremas, un elemento común a todas las aproximaciones es su dependencia en observaciones locales

sobre periodos de tiempo que contemplen y reflejen la variabilidad del clima en el área considerada (Koutsoyiannis & Papalexiou, 2017). Uno de los principales desafíos para la evaluación de extremos climáticos en numerosas regiones del mundo es la escasez y/o la baja fiabilidad de registros de alta resolución y larga duración (WMO, 2021). Además, el área total cubierta por estaciones de registro a escala global es sorprendentemente baja, lo que constituye una limitante para el análisis de la variabilidad espacial de dichos eventos (Kidd *et al.*, 2017). En Argentina, actualmente coexisten múltiples redes de monitoreo climático. Sin embargo, la disponibilidad de observaciones, el alcance temporal de las series y la densidad espacial de las estaciones de registro son muy variables a lo largo del territorio nacional. En efecto, existen aún vastos sectores del país donde las series de mayor duración provienen de estaciones cuya distribución no refleja adecuadamente la variabilidad espacial de los patrones de precipitación o bien, donde las redes de monitoreo exhiben una densidad adecuada, pero cuyas series se remontan a algunos pocos años. A ello se suma la existencia de numerosas series con blancos de información, producto de fallas y/o roturas de los sensores, lo que en definitiva exacerba la deficiencia de registros continuos en espacio y tiempo.

Los datos climáticos globales, producidos por asimilación de observaciones terrestres y satelitales, brindan una cobertura espacialmente más homogénea y temporalmente más completa y, en consecuencia, emergen como una alternativa muy útil frente a la deficiencia espacio-temporal de registros (Funk *et al.*, 2015; Kidd *et al.*, 2017; Sun *et al.*, 2018). Los conjuntos de datos de precipitación global actualmente disponibles son numerosos y se distribuyen a una variedad de resoluciones espaciales y periodos de tiempo. Sin embargo, se han reconocido grandes discrepancias entre las series disponibles que dependen tanto de la fuente de datos como de los procedimientos para derivar estimaciones de precipitación (Lawal *et al.*, 2021; Rajulapati *et al.*, 2020; Sun *et al.*, 2018). Por ello, es importante evaluar el ajuste dichas

series en relación con los registros disponibles, aun si limitados temporal y/o espacialmente, en miras de determinar el grado de confiabilidad e incertidumbre que resulta de su uso para diversas aplicaciones y escalas temporo-espaciales.

Este estudio evalúa el potencial de aplicabilidad de dos series de precipitación global popularmente utilizadas, CPC y CHIRPS, para el estudio de eventos extremos en las Sierras Australes Bonaerenses (Argentina). En esta área serrana, la ocurrencia de lluvias de gran intensidad constituye una de las principales problemáticas que afectan a las poblaciones, actividades e infraestructuras expuestas. Asimismo, existe evidencia que la altitud y la orientación de los cordones serranos afecta los patrones locales de precipitación por combinación de procesos de barrera y realzamiento orográfico, lo que constituye una importante fuente de variabilidad adicional (Berón de la Puente & Gil, 2023; Berón de la Puente *et al.*, 2022; Gentili & Gil, 2013). En este sentido, el objetivo del estudio es doble e implica no solo determinar la utilidad de las series de precipitación global para la evaluación de eventos extremos en un contexto histórico-climático, sino también evaluar la capacidad de dichas series para captar las diferenciaciones espaciales que resultan de los efectos de la orientación y la altitud de las vertientes en áreas serranas.

ÁREA DE ESTUDIO

Las Sierras Australes Bonaerenses se localizan en el suroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina (Figura 1). Desde el punto de vista estructural, conforman un sistema de plegamiento de edad Paleozoica compuesto por una serie de cordones subparalelos (Demoulin *et al.*, 2005; Sellés-Martínez, 2001). Los rasgos morfológicos definen dos regiones distintivas (Harrington, 1947; Tomezzoli & Cristallini, 2004). La región occidental integra los cordones Cura Malal, Bravard y Ventana, de relieve abrupto, mientras que la región oriental integra los cordones Pillahuinco y las Tunas, los cuales conforman una franja de cumbres

esparcidas, mucho más suaves y de menor altitud que las sierras de la región occidental. El sistema serrano reúne las mayores elevaciones de la provincia, entre 900 y 1.000 m s.n.m. en promedio, con máxima en el cerro Tres Picos (1.247 m s.n.m.). Sin embargo, la altura relativa del conjunto sobre el nivel de la planicie circundante es de entre 400 y 700 m (Demoulin *et al.*, 2005).

El clima regional es templado seco subhúmedo, con marcada variación estacional e interanual (Casado & Campo, 2019). La temperatura media anual disminuye con la altitud de 15,6 a 14,0 °C y la precipitación media anual se incrementa en sentido NE-SW de 826 a 585 mm (periodo 1981-2020; Autor, en evaluación). Desde la década de 2000, se evidencia un cambio de las series de temperatura (salto positivo) que obedece a un incremento de la temperatura máxima y mínima de hasta 0,6 y 0,3 °C, respectivamente (Ferrelli *et al.*, 2019). La variabilidad de las precipitaciones es comparativamente más marcada y alcanza todas las escalas temporales (Aliaga *et al.*, 2017; Bohn & Piccolo, 2018; Casado & Campo, 2019; Ferrelli *et al.*, 2019). La misma responde a patrones de circulación regional (Gil *et al.*, 2008; Zapperi *et al.*, 2006; Zapperi *et al.*, 2007) y a una conjunción de fenómenos atmosféricos y oceánicos (Scian *et al.*, 2006), entre los cuales el fenómeno ENOS (Scian, 2000) y la Oscilación Decádica del Pacífico (Kayano & Andreoli, 2007) emergen como los principales forzantes de variabilidad climática de mediana y baja frecuencia, respectivamente. Sumado a ello, los cordones que conforman el sistema serrano ejercen un efecto de barrera orográfica, incrementando en un orden del 25% los montos acumulados de precipitación respecto de los registros de llanura (Berón de la Puente & Gil, 2023). La ocurrencia de lluvias de gran intensidad, junto con los procesos físicos que ello desencadena (arroyadas, inundaciones, erosión hídrica, cambios en los componentes del sistema fluvial), constituye una de las principales problemáticas que afectan a las poblaciones, actividades e infraestructuras expuestas (Campo *et al.*, 2011).

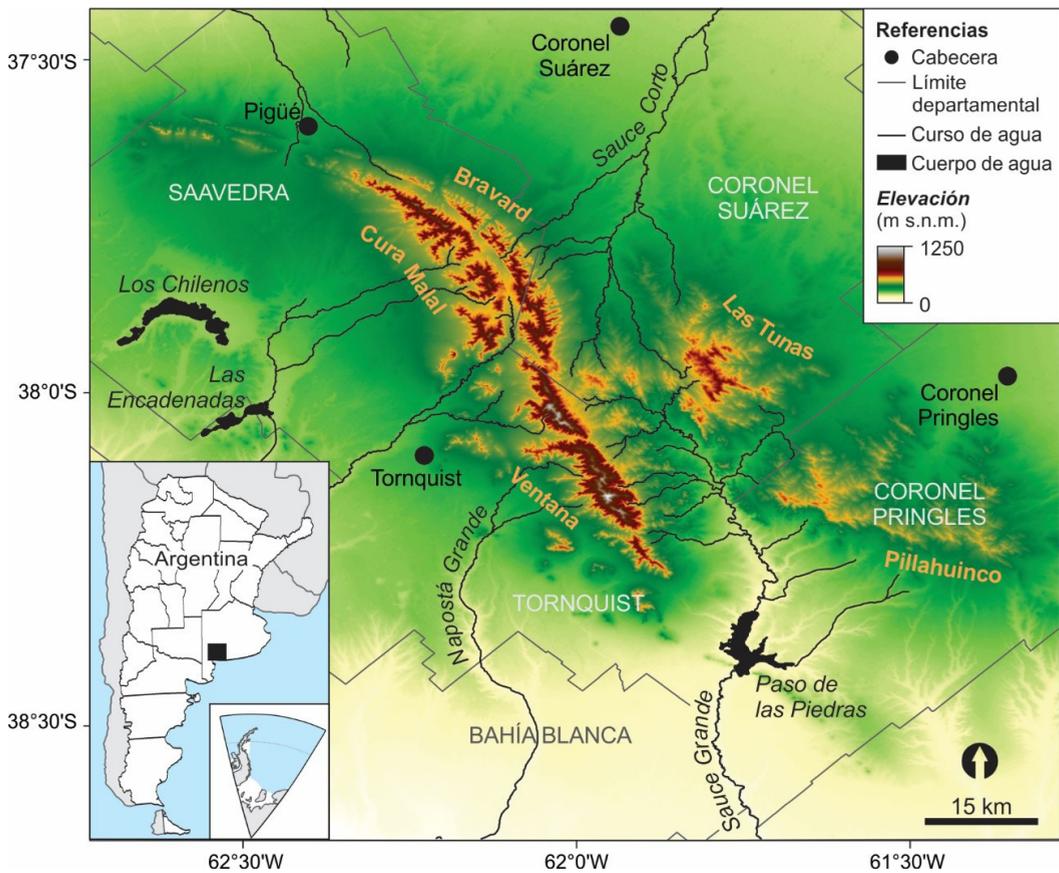


Fig. 1. Localización y situación del área de estudio. Fuente: elaboración propia sobre bases cartográficas del Instituto Geográfico Nacional (IGN, Argentina) y Modelo Digital de Elevación de 30 m correspondiente a la misión SRTM (USGS).

MATERIALES Y MÉTODOS

Las diversas problemáticas que resultan de la ocurrencia de eventos de precipitación extrema en las Sierras Australes Bonaerenses han motivado numerosos esfuerzos de instrumentación para el monitoreo hidroclimático de las cuencas que conforman el sistema orográfico. Dentro de estos, se destaca la red de la Bolsa de Cereales y Productos de Bahía Blanca (BCPBB) y el conjunto de estaciones y pluviómetros del Grupo de Geografía Física Aplicada que participa de dicha red (GGFA - DGyT, UNS). Se dispone actualmente de una buena cantidad de observaciones de alta frecuencia. Estas se distribuyen adecuadamente a escala regional, aunque

con alcance temporal muy variado. A los efectos del presente trabajo, se seleccionaron series diarias de precipitación para las 11 estaciones que proveen las observaciones más completas y de mayor duración (Figura 2). La distancia promedio entre estaciones es inferior a 30 km, exhibiendo dispersión significativa ($p < 0,01$) y los valores de altitud oscilan en el rango de 130 y 500 m s.n.m (Berón de la Puente & Gil, 2023). El periodo de datos disponible para la totalidad de estaciones seleccionadas se inicia en 2017 y se continúa hasta la actualidad.

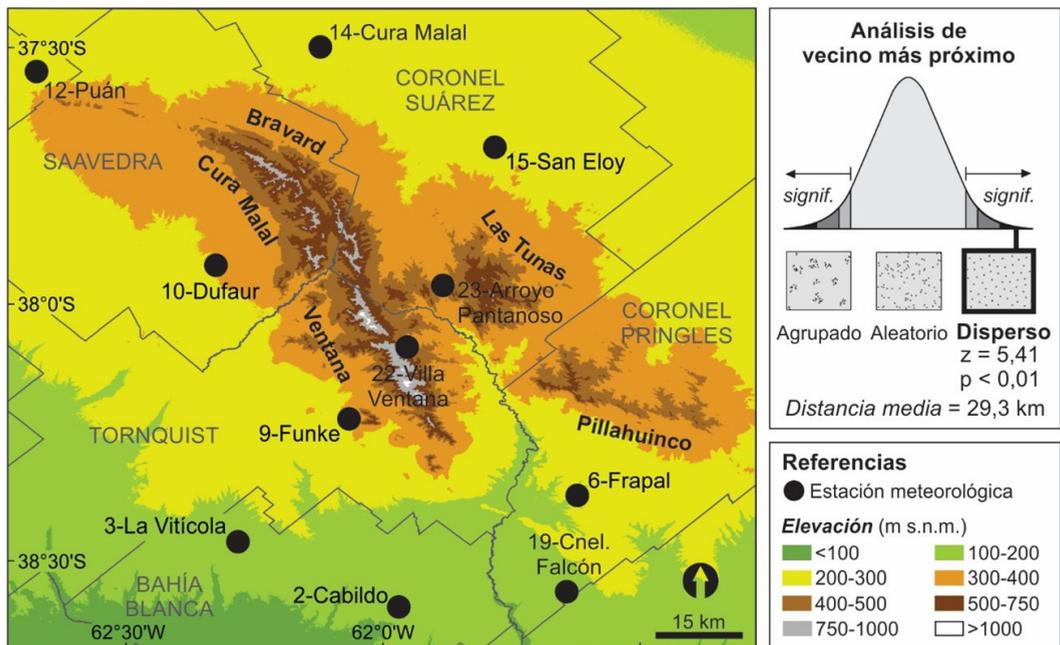


Fig. 2. Red de estaciones de monitoreo utilizadas en el estudio. Fuente: elaboración propia sobre bases cartográficas del Instituto Geográfico Nacional (IGN, Argentina) y Modelo Digital de Elevación de 30 m correspondiente a la misión SRTM (USGS).

Se seleccionaron dos conjuntos de datos de precipitación global popularmente empleados en climatología e hidrología. Estos incluyen las series globales unificadas de precipitación del Centro de Predicción Climática (CPC, Physical Science Laboratory, NOAA) y las series de precipitación infrarroja con datos de estación del Grupo de Peligros Climáticos (CHIRPS; Funk et al., 2015). Las series del CPC son producidas por interpolación óptima con base en más de 30.000 observaciones

con ajuste orográfico (Xie *et al.*, 2007), mientras que las series CHIRPS combinan la interpolación de observaciones con estimaciones basadas en imágenes satelitales infrarrojas para representar las zonas pobremente instrumentadas (Funk *et al.*, 2015). Ambas series proveen datos de precipitación diaria que se remontan a más de cuatro décadas y se distribuyen con baja demora hasta el presente. Si bien exhiben distinta resolución espacial (0,5° y 0,05° lat/lon, respectivamente), esta resulta adecuada en relación con la escala de análisis. En este sentido, tanto CPC como CHIRPS satisfacen las condiciones de escala temporal y espacial necesarias para llevar a cabo el estudio propuesto.

Para la evaluación de eventos de precipitación extrema, se consideró una gama de índices popularmente empleados en el campo (Karl *et al.*, 1999; Peterson *et al.*, 2001) y que fueron aplicados con éxito a una escala regional más amplia (Ferrelli *et al.*, 2019). Estos incluyen la precipitación máxima mensual en un día (Rx1d), la precipitación máxima mensual en cinco días (Rx5d) y el índice de intensidad de precipitación mensual (SDII). Las ecuaciones para su cálculo se expresan como sigue:

$$Rx1d = \max(R_{ij}) \quad (1)$$

$$Rx5d = \max(R_{ij}^5) \quad (2)$$

$$SDII = \frac{\sum_{w=1}^W R_{wj}}{W} \quad (3)$$

donde R_{ij} es la precipitación máxima i registrada en el mes j , R_{ij}^5 es la precipitación máxima acumulada en cinco días en el mes j , R_{wj} es la precipitación registrada en días húmedos w ($R \geq 1\text{mm}$) y W es el número de días húmedos en el mes j . Se procedió asimismo al recuento mensual de días en que la precipitación supera un determinado umbral n , como sigue:

$$Rn = \text{count}(R_{ij} > n) \quad (4)$$

Para ello se utilizaron dos umbrales. El índice R13 designa el umbral de precipitaciones erosivas, las cuales constituyen aquellas cuya magnitud supera los 13 mm (Wischmeier & Smith, 1978), mientras

que el índice R25 designa el monto a partir del cual se genera 1 mm de escorrentía en las cuencas regionales (para $S \approx 75$ mm; Casado, 2021).

La bondad de ajuste y la confiabilidad de las series de precipitación global se determinaron en relación con los resultados obtenidos a partir de las observaciones disponibles a escala regional (Figura 2). El periodo de análisis incluye siete años entre 2017 y 2023. Nótese que, en razón de la corta duración de las series observadas y de los blancos de información para algunas de ellas, no fue posible emplear índices anuales que arrojen resultados estadísticamente significativos. El grado de relación entre las series de precipitación global y las observadas (ajuste) se determinó mediante el coeficiente de correlación de Pearson (ρ). Para determinar la confiabilidad de las series, se utilizaron dos estadísticos de error simples: (i) la media de las diferencias entre valores estimados y observados (error medio, EM), como indicador de la dirección del error (sobre o subestimación) y (ii) la media de las diferencias relativas al valor observado, expresado en valores absolutos (error relativo medio, ERMa), como indicador de la magnitud de dicho error.

RESULTADOS

El ajuste de las series globales de precipitación para el periodo de análisis (2017-2023) arroja coeficientes de correlación significativos en todos los casos (para $\alpha = 0,05$). Se advierte, sin embargo, que la calidad de dicho ajuste y los errores asociados varían notoriamente en función de (a) los índices de precipitación considerados y (b) la relación entre escala y topografía. Asimismo, se observan diferencias de ajuste y confiabilidad entre ambos conjuntos de datos globales.

a. Ajuste en relación con los índices de precipitación extrema

Los índices que dependen de la magnitud de los eventos de precipitación unitaria, como Rx1d, arrojan menores coeficientes de correlación que aquellos que consideran la progresión acumulada de dichos eventos, como Rx5d (Figura 3). En promedio, ρ mejora un 22 % para

Rx5d en relación con Rx1d, mientras que el ERMa se reduce en 8 %. Ello evidencia un efecto de suavizado de la magnitud de la precipitación diaria y queda evidenciado por errores medios negativos para todas las estaciones y para ambos conjuntos de datos. La tendencia a la subestimación de los montos diarios de precipitación se evidencia igualmente cuando se considera la intensidad mensual de dichos eventos, como es el caso del SDII, donde se observan los coeficientes de correlación más bajos (0,37 para CHIRPS y 0,43 para CPC, en promedio) y errores relativos que promedian 71 y 64 % de la intensidad observada, respectivamente.

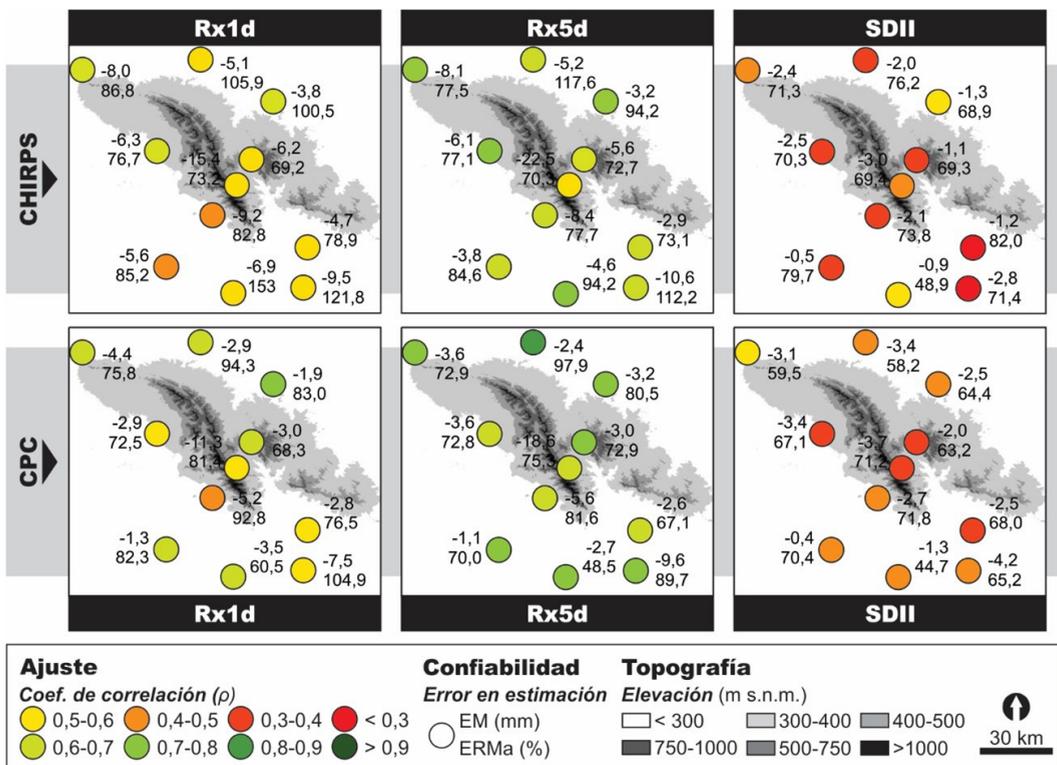


Fig. 3. Ajuste de las series CHIRPS y CPC en función de la magnitud e intensidad de las precipitaciones diarias en las Sierras Australes Bonaerenses. Periodo 2017-2023.

Por su parte, el ajuste en relación con el recuento de días con precipitación superior a un determinado umbral empeora a medida que aumenta dicho umbral (Figura 4). Para R25, el coeficiente de correlación medio regional es 0,46 para CHIRPS y 0,56 para CPC, lo que representa un ajuste hasta 18 y 12 % menor que para R13, respectivamente. Sin embargo,

el ERMa se incrementa asimismo junto con el umbral, alcanzando entre 43 y 62 % (R13) y entre 46 y 79 % (R25) de los valores observados a escala regional, mientras que el EM se mantiene negativo en todos los casos (subestimación). Estos resultados advierten sobre la baja confiabilidad de las series globales no solo para el estudio de crecidas en las cuencas que drenan el sistema serrano ($P > 25 \text{ mm}$), sino también para estudios relacionados con procesos de erosión hídrica ($P > 13 \text{ mm}$). Si bien el ajuste para R13 es comparativamente superior a R25, el ERMa para R13 es mayor que el ERMa para R25 en todos los casos. Ello indica que el efecto de suavizado inherente a ambos conjuntos de datos afecta mayoritariamente los índices basados en umbrales bajos, en tanto un buen número de eventos no queda adecuadamente representado por las series globales. Si bien los eventos de precipitación para umbrales superiores a 13 mm se ven igualmente afectados por el efecto de suavizado, la diferencia relativa entre la magnitud estimada y la observada resultará progresivamente menor y, en consecuencia, es de esperar que la confiabilidad de las series globales mejore junto con el incremento del umbral.

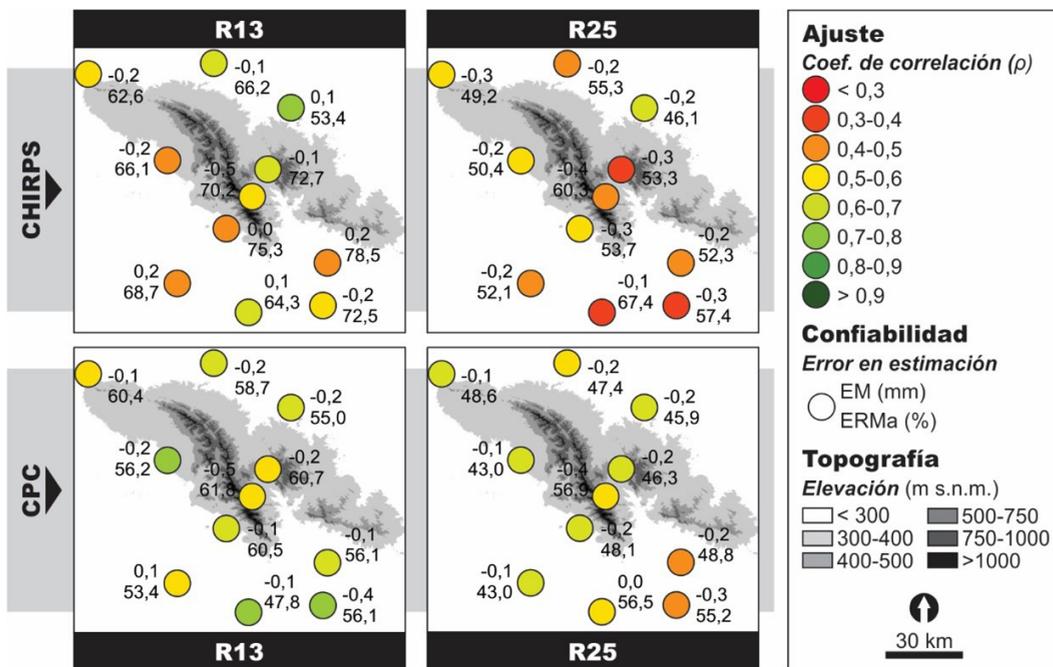


Fig. 4. Ajuste de las series CHIRPS y CPC en función del recuento de días con precipitación superior a 13 y 25 mm en las Sierras Australes Bonaerenses. Periodo 2017-2023.

b. Ajuste en relación con la escala y la topografía

Independientemente del índice considerado, se evidencia que los errores no se distribuyen de forma homogénea en el sector de estudio. En términos generales, el ajuste de los índices vinculados con la magnitud y la intensidad de precipitaciones diarias (Rx1d, Rx5d y SDII) configura un conjunto de mínima coincidente con las estaciones localizadas en el sector serrano (Figura 3). El ajuste es medio a bajo para ambos conjuntos de datos, con $\rho < 0,6$ (Rx1d), $\rho < 0,7$ (Rx5d) y $\rho < 0,4$ (SDII), lo que indica que la resolución espacial de las series es inadecuada para captar la variabilidad espacial de la precipitación que resulta del efecto de barrera y realzamiento orográfico. En oposición, el mejor ajuste se encuentra para las estaciones localizadas en el sector extra serrano, particularmente hacia el NE, con $\rho > 0,6$ (Rx1d), $\rho > 0,7$ (Rx5d) y $\rho > 0,5$ (SDII). Sin embargo, los mayores valores de EM y ERMa se encuentran igualmente para estas últimas (entre 58 y 118 % de la precipitación observada). Ello ocurre porque dichas estaciones exhiben los mayores montos de precipitación regional y, en consecuencia, se hallan mayormente afectadas por el suavizado de la precipitación diaria. Por su parte, el ajuste de los índices R13 y R25 refleja el efecto combinado del suavizado de las series y de la variabilidad de la precipitación característica de la región. En este sentido, la distribución espacial del error no exhibe patrones claros y su interpretación excede el objetivo del presente estudio.

c. Aplicabilidad de las series globales

Comparativamente, las series del CPC arrojan mejores resultados que las series CHIRPS para todos los índices (Figuras 3 y 4). Este resultado releva una particular importancia, sobre todo si se considera que las series CPC exhiben una resolución más gruesa que las series CHIRPS (≈ 50 y ≈ 5 km, respectivamente) y, por lo tanto, deberían arrojar mayores errores debido al suavizado de las precipitaciones locales. En este sentido, se concluye que la superioridad relativa de CPC sobre CHIRPS para el análisis de precipitaciones extremas en las Sierras Australes Bonaerenses se vincula con la fuente de datos de las series más que con la resolución.

DISCUSIÓN

Los datos globales de precipitación constituyen una herramienta valiosa no solo para el estudio de la variabilidad y el cambio del clima, sino también para la previsión meteorológica, climática e hidrológica en todo el mundo (Rajulapati *et al.*, 2020; Sun *et al.*, 2018). La cobertura global de estos conjuntos de datos y su adecuada resolución espacial promueve el análisis del comportamiento de la precipitación en regiones pobremente instrumentadas y/o remotas (Kidd *et al.*, 2017; Koutsoyiannis & Papalexiou, 2017), permitiendo identificar variaciones en dicho comportamiento a una variedad de escalas espaciales (Gulizia & Camilloni, 2016). Además, la resolución temporal de las series permite detectar variaciones y cambios de la precipitación a una variedad intervalos de tiempo, mientras que la consistencia y la continuidad de los datos permiten analizar tendencias a largo plazo (Funk *et al.*, 2015). Estudios antecedentes conducidos en el área de estudio ponen en evidencia estas ventajas. Casado and Picone (2018) demostraron el potencial de aplicación de las series mensuales del Global Precipitation Climatology Centre (GPCC) para el estudio de la variabilidad espacio-temporal del clima en la provincia de Buenos Aires. En el sudoeste de la provincia, Ferrelli *et al.* (2016) evidenciaron el ajuste de las series mensuales de Reanálisis (NCEP/NCAR) para estimar la temperatura, la humedad relativa y las precipitaciones en regiones sujetas a escasez de registros, mientras que Lambrecht *et al.* (2024) validaron la precipitación estimada por CHIRPS en el sector semiárido, destacando su aplicabilidad para estudios de variabilidad climática a escala mensual y anual.

Sin embargo, en la evaluación de precipitaciones extremas, siguen existiendo lagunas importantes. Estas se vinculan con la calidad y la disponibilidad de datos de precipitación diaria y sub-diaria (Alexander, 2016) y con las limitaciones de los conjuntos de datos globales para capturar eventos extremos localizados en espacio y tiempo (Contractor *et al.*, 2015; Rajulapati *et al.*, 2020; Sun *et al.*, 2018). En este estudio, el coeficiente de correlación de las series CHIRPS y CPC en relación con las

observaciones disponibles se mantuvo por debajo de 0,80 para todas las estaciones y para los cinco índices considerados (Rx1d, Rx5d, SDII, R13 y R25). Los coeficientes más bajos corresponden a los índices que dependen de la intensidad de las precipitaciones, como SDII ($\rho < 0,52$) o con el conteo de días con precipitaciones superiores a 25 mm ($\rho < 0,67$). Además, los errores medios son negativos en todos los casos (subestimación), con errores relativos superiores a 43 % y que se incrementan sistemáticamente junto con el potencial pluviométrico de las estaciones. Ello se debe en parte al efecto de suavizado de la precipitación diaria que resulta de la estructura en cuadrícula de las series, pero también a la fuente de datos globales (Rajulapati *et al.*, 2020) y se advierte particularmente en relación con la densidad de observaciones utilizadas para confeccionar la cuadrícula (Merino *et al.*, 2021). En este sentido, Rajulapati *et al.* (2020) reportaron que los productos de precipitación global no proporcionan una representación consistente del comportamiento de los extremos y que, a escala global, no hay un único conjunto que funcione mejor para todas las regiones y climas. En consecuencia, la inconsistencia de las series globales para la evaluación de extremos en términos de intensidad, frecuencia y variabilidad temporal fue reportada por numerosos estudios basados en una gama de conjuntos de datos (Contractor *et al.*, 2015; Gampe & Ludwig, 2017; Herold *et al.*, 2017; Lawal *et al.*, 2021; Merino *et al.*, 2021).

Asimismo, los resultados mostraron marcadas diferencias espaciales en términos de ajuste, evidenciando que las estaciones localizadas en el sistema serrano exhiben comparativamente el menor ajuste regional. En efecto, la incertidumbre en los conjuntos de datos globales aumenta con la resolución espacial debido a procesos de pequeña escala en terrenos complejos (Gampe & Ludwig, 2017), pudiendo adquirir mayor relevancia en áreas con fuertes gradientes y variaciones de altitud (Merino *et al.*, 2021). Sin embargo, comparativamente, las series del CPC arrojaron mejores resultados que las series CHIRPS para los cinco índices considerados. Si bien Ghaedamini *et al.* (2021) encontraron igualmente mayor solidez de CPC para la estimación de extremos de precipitación, estos hallazgos son

contrarios a lo que se puede esperar en razón de la resolución mucho más fina de CHIRPS. Una posible explicación para este fenómeno fue propuesta por Herold *et al.* (2017), quienes observaron que la dispersión entre productos globales se vuelve prominente a resoluciones más finas que $1^{\circ}\times 1^{\circ}$, estableciendo así una resolución efectiva mínima en la que concuerdan con las observaciones disponibles. Otra posible razón para la superioridad relativa de las series CPC es que se basan únicamente en observaciones (Rajulapati *et al.*, 2020) y utilizan la misma información de calibración que los productos del GPCC, los cuales proporcionan el repertorio de datos de precipitación global más robusto entre los actualmente disponibles (Sun *et al.*, 2018).

En términos generales, los resultados revelan deficiencias notables de los productos CPC y CHIRPS para el estudio de eventos de precipitación extrema en las Sierras Australes Bonaerenses. Ambas series resultan inadecuadas para captar la variabilidad de la precipitación diaria en el área de estudio en general y en el sistema serrano en particular, lo que sugiere una doble limitante vinculada con la escala de análisis y con la orografía. Así, se requiere de mayores esfuerzos de investigación para determinar el potencial de uso de estos u otros conjuntos de datos, aplicados a escala mensual, estacional o anual y con base en índices basados en desvíos y tendencias normalizados que permitan solventar el efecto de suavizado de las precipitaciones diarias. Asimismo, resta igualmente evaluar el potencial de las series globales para conducir el análisis propuesto en el presente estudio, pero aplicado a unidades de comportamiento similar definidas por técnicas de agrupamiento espacial.

CONCLUSIONES

El presente trabajo evaluó el potencial de aplicabilidad de dos series de precipitación global, CPC y CHIRPS, para el estudio de eventos extremos en la región de las Sierras Australes Bonaerenses (Argentina). Comparativamente, las series del CPC arrojaron mejores resultados que

las series CHIRPS para los cinco índices considerados (Rx1d, Rx5d, SDII, R13 y R25). Sin embargo, la correlación de ambas series en relación con las observaciones disponibles (2017-2023) se mantuvo entre mediana a baja, con errores medios negativos (subestimación) y errores medios relativos superiores 45 % para todas las estaciones e índices. Además, los errores se incrementan sistemáticamente junto con el potencial pluviométrico de las estaciones y existen marcadas diferencias espaciales en términos de ajuste, las estaciones localizadas en el sistema serrano exhibiendo comparativamente el menor ajuste regional.

El ajuste y la confiabilidad de las series de precipitación global en esta área serrana bonaerense se ven afectados por la combinación de dos aspectos interrelacionados. Por un lado, la tendencia de las series a reducir la marcada variabilidad que caracteriza los patrones pluviométricos regionales, en razón del suavizado de las precipitaciones diarias inherente a este tipo de productos, afecta su potencial para la detección de eventos de magnitud moderada a alta. Se destaca asimismo que el uso de dichas series para el análisis de eventos extremos sobre periodos de tiempo no registrados por las estaciones de monitoreo conlleva un gran nivel de incertidumbre. Ello se vincula no solo con la probabilidad de ocurrencia de eventos unitarios de gran magnitud, sino también con el conteo de días con precipitaciones erosivas o generadoras de escurrimiento, en tanto el efecto de suavizado puede enmascarar igualmente su ocurrencia independientemente del umbral utilizado. Por otro lado, los resultados sugieren que las series globales son inadecuadas para captar la variabilidad temporal y espacial de las precipitaciones características de la región a escala del sistema serrano, donde el efecto combinado de la altitud y la orientación de las vertientes exagera dicha variabilidad. En este punto, se concluye que las series de precipitación global constituyen una herramienta potencialmente útil para solventar la deficiencia de registros, pero para escalas temporales y/o espaciales más amplias que las consideradas aquí.

AGRADECIMIENTOS

Las series globales unificadas de precipitación del CPC fueron proporcionadas por el Physical Science Laboratory de NOAA, Boulder, Colorado, EE. UU., desde su sitio web en <https://psl.noaa.gov>. Las series de precipitación infrarroja con datos de estación CHIRPS fueron provistas por el Climate Hazards Center de la Universidad de Santa Bárbara, EE. UU., a través de la biblioteca de datos del IRI (Columbia Climate School, Universidad de Columbia), desde su sitio web en <https://iridl.ldeo.columbia.edu>. El presente trabajo fue financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) a través del Proyecto de Investigación Plurianual PIP 2022/24 0358.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Ana Casado: conceptualización, investigación, metodología, análisis formal, visualización, redacción, revisión y edición.

Federico Berón de la Puente: análisis formal, redacción, revisión y edición.

Verónica Gil: supervisión, redacción, revisión y edición

CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores no poseen conflictos de interés

REFERENCIAS

Alexander, L. V. (2016). Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: A review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond. *Weather and Climate Extremes*, 11, 4-16.

Aliaga, V. S., Ferrelli, F., & Piccolo, M. C. (2017). Regionalization of climate over the Argentine Pampas. *International journal of climatology*, 37, 1237-1247.

- Berón de la Puente, F., & Gil, V. (2023). Precipitaciones erosivas en el Sistema de Ventania (Buenos Aires, Argentina). *Párrafos Geográficos*, 1(22), 51-65.
- Berón de la Puente, F., Gil, V., & Viale, M. (2022). *Realzamiento orográfico de las precipitaciones en las Sierras de la Ventana*. CONGREMET XIV, Buenos Aires.
- Bohn, V. Y., & Piccolo, M. C. (2018). Standardized precipitation evapotranspiration index (Spei) as a tool to determine the hydrological dynamic of plain regions (Argentina). *Geosciences- Geociências*, 37(3), 627-637.
- Campo, A. M., Silva, A. M., & Gil, V. (2011). Aplicación de cartografía temática para la identificación y análisis de la exposición al peligro de inundación por crecidas repentinas. Sierra de la Ventana, Buenos Aires, Argentina. *Revista Geográfica del Sur*, 2, 73-86.
- Casado, A. (2021). Rainfall-runoff modelling in dryland catchments, Sauce Grande, Argentina. *Tecnología y ciencias del agua*, 12(5), 254-303. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-05-06>
- Casado, A., & Campo, A. M. (2019). Extremos hidroclimáticos y recursos hídricos: estado de conocimiento en el suroeste bonaerense, Argentina. *Cuadernos Geográficos*, 58(1), 6-26.
- Casado, A., & Picone, N. (2018). Aplicabilidad de los datos grillados para el análisis espaciotemporal de las precipitaciones, provincia de Buenos Aires (Argentina). *Párrafos Geográficos*, 17(1), 46-62.
- Contractor, S., Alexander, L. V., Donat, M. G., & Herold, N. (2015). How well do gridded datasets of observed daily precipitation compare over Australia? *Advances in Meteorology*, 2015(1), 325718. <https://doi.org/10.1155/2015/325718>
- Demoulin, A., Zarate, M., & Rabassa, J. (2005). Long-term landscape development: a perspective from the southern Buenos Aires ranges of east central Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 19, 193-204.

- Ferrelli, F., Brendel, A., Aliaga, V. S., Piccolo, M. C., & Perillo, G. M. E. (2019). Climate regionalization and trends based on daily temperature and precipitation extremes in the south of the Pampas (Argentina). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 45(1), 393-416. <https://doi.org/10.18172/cig.3707>
- Ferrelli, F., Bustos, M. L., Piccolo, M. C., Huamantínco Cisneros, M. A., & Perillo, G. M. E. (2016). Downscaling de variables climáticas a partir del reanálisis NCEP/NCAR en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Papeles de Geografía*, 62, 21-33.
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S.,... Hoell, A. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific data*, 2(1), 1-21. <https://doi.org/doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
- Gampe, D., & Ludwig, R. (2017). Evaluation of gridded precipitation data products for hydrological applications in complex topography. *Hydrology*, 4(4), 53. <https://doi.org/10.3390/hydrology4040053>
- Gentili, J. O., & Gil, V. (2013). Variabilidad temporal de las precipitaciones en vertientes opuestas del Sistema de Ventania, Buenos Aires, Argentina. *Revista Universitaria de Geografía*, 22(1), 147-166.
- Ghaedamini, H. A., Morid, S., Nazemosadat, M. J., Shamsoddini, A., & Moghadam, H. S. (2021). Validation of the CHIRPS and CPC-Unified products for estimating extreme daily precipitation over southwestern Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 146, 1207-1225. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03790->
- Gil, V., Zapperi, P., Campo, A. M., Luorno, M. V., & Ramborger, M. A. (2008). *Análisis de las precipitaciones de otoño y primavera en el Suroeste bonaerense*. VII Jornadas de Geografía Física, Jujuy, Argentina.
- Gulizia, C., & Camilloni, I. (2016). A spatio-temporal comparative study of the representation of precipitation over South America derived by three gridded data sets. *International Journal of Climatology*, 36(3), 1549-1559. <https://doi.org/10.1002/joc.4416>

- Harrington, H. (1947). *Explicación de las hojas geológicas 33m y 34m, Sierras de Curamalal y de la Ventana*. D. d. M. y. Geología.
- Herold, N., Behrangi, A., & Alexander, L. V. (2017). Large uncertainties in observed daily precipitation extremes over land. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(2), 668-681. <https://doi.org/10.1002/2016JD025842>
- Karl, T. R., Nicholls, N., & Ghazi, A. (1999). *Clivar/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes workshop summary*. In *Weather and climate extremes: Changes, variations and a perspective from the insurance industry* (pp. 3-7). Springer.
- Kayano, M. T., & Andreoli, R. V. (2007). Relations of South American summer rainfall inter-annual variations with the Pacific Decadal Oscillation. *International Journal of Climatology*, 27, 531-540.
- Kidd, C., Becker, A., Huffman, G. J., Muller, C. L., Joe, P., Skofronick-Jackson, G., & Kirschbaum, D. B. (2017). So, how much of the Earth's surface is covered by rain gauges? *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(1), 69-78. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00283.1>
- Koutsoyiannis, D., & Papalexiou, S. M. (2017). *Extreme rainfall: Global perspective*. In V. P. Singh (Ed.), *Handbook of applied hydrology* (Vol. 74, pp. 1-74.16). McGraw-Hill.
- Lambrecht, Y., Montico, A., & Picone, N. (2024). Validación de precipitación estimada por CHIRPS en una región semiárida de Argentina. *Boletín Geográfico*, 46, 1-16.
- Lawal, I. M., Bertram, D., White, C. J., Jagaba, A. H., Hassan, I., & Shuaibu, A. (2021). Multi-criteria performance evaluation of gridded precipitation and temperature products in data-sparse regions. *Atmosphere*, 12(12), 1597. <https://doi.org/10.3390/atmos12121597>
- Merino, A., García-Ortega, E., Navarro, A., Fernández-González, S., Tapiador, F. J., & Sánchez, J. L. (2021). Evaluation of gridded rain-gauge-based precipitation datasets: Impact of station density, spatial resolution, altitude gradient and climate. *International Journal of Climatology*, 41(5), 3027-3043. <https://doi.org/10.1002/joc.7003>

- Peterson, T., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A., & Plummer, N. (2001). *Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs*. World Meteorological Organization. <https://library.wmo.int/idurl/4/37423>
- Rajulapati, C. R., Papalexiou, S. M., Clark, M. P., Razavi, S., Tang, G., & Pomeroy, J. W. (2020). Assessment of extremes in global precipitation products: How reliable are they? *Journal of Hydrometeorology*, 21(12), 2855-2873. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-20-0040.1>
- Scian, B. (2000). *Episodios ENSO y su relación con las anomalías de precipitación en la pradera pampeana*. *Geoacta*, 25, 23-40.
- Scian, B., Labraga, J. C., Reimers, W., & Frumento, O. (2006). *Characteristics of large-scale atmospheric circulation related to extreme monthly rainfall anomalies in the Pampa Region, Argentina, under non-ENSO conditions*. *Theoretical and Applied Climatology*, 85(1-2), 89-106.
- Sellés-Martínez, J. (2001). Geología de la Ventania (Provincia de Buenos Aires (Argentina)). *Journal of Iberian Geology*, 27, 43-69.
- Sun, Q., Miao, C., Duan, Q., Ashouri, H., Sorooshian, S., & Hsu, K. L. (2018). A review of global precipitation data sets: Data sources, estimation, and intercomparisons. *Reviews of Geophysics*, 56(1), 79-107. <https://doi.org/10.1002/2017RG000574>
- Tomezzoli, R. N., & Cristallini, E. O. (2004). Secciones estructurales de Las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires: Repetición de la secuencia estratigráfica a partir de fallas inversas? *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59(2), 330-340.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. US Department of Agriculture.
- WMO. (2021). *2021 State of Climate Services: Water* (WMO-No. 1278). <https://library.wmo.int/idurl/4/57630>
- Xie, P., Chen, M., Yang, S., Yatagai, A., Hayasaka, T., Fukushima, Y., & Liu, C. (2007). A gauge-based analysis of daily precipitation over East Asia. *Journal of Hydrometeorology*, 8(3), 607-626. <https://doi.org/https://doi.org/10.1175/JHM583.1>

-
- Zapperi, P., Casado, A., Gil, V., & Campo, A. M. (2006). *Caracterización de las precipitaciones invernales en el Suroeste bonaerense*. In N. Cazzaniga & M. Vaquero (Eds.), *Ambiente natural, campo y ciudad: Estrategias de uso y conservación en el Sudoeste Bonaerense* (pp. 63-68). Ediciones UNS.
- Zapperi, P., Ramos, B., Gil, V., & Campo, A. M. (2007). *Caracterización de las precipitaciones estivales en el Suroeste bonaerense*. In *Contribuciones Científicas* (pp. 483-491). GAEA.