

ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN EN EL NORESTE ARGENTINO A PARTIR DE REDES DE MEDICIÓN CONVENCIONALES Y NO CONVENCIONALES

Raúl Andrés Durán¹, Federico A. Robledo^{2,3,4}, Leandro B. Díaz^{2,3,4}

¹Servicio Meteorológico Nacional (SMN)

²Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (DCAO). Buenos Aires, Argentina.

³CONICET – Universidad de Buenos Aires. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA). Buenos Aires, Argentina.

⁴Instituto Franco-Argentino de Estudios sobre el Clima y sus Impactos (IFAECI) – IRL 3351 – CNRS-CONICET-IRD-UBA. Buenos Aires, Argentina.

Palabras clave: estaciones no convencionales, variabilidad espacial, hidroestimador, departamento bermejo.

1. INTRODUCCIÓN

La caracterización de la variabilidad espacial de la precipitación es fundamental para diversos sectores: la gestión de recursos hídricos, la agricultura y la planificación urbana. En el noreste argentino es una región con alta variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones, sin embargo, es baja la densidad de observaciones de redes oficiales (Robledo, F. y Penalba, O.; 2008).

Este trabajo integra tres bases de datos pluviométricos: estaciones convencionales (EC), las estaciones no convencionales (ENC) del la red comunitaria Bermejo del proyecto CLIMAX, y producto experimental de estimación de precipitación satelital con ajuste pluviométrico con una resolución espacial de 0.1°, del Servicio Meteorológico Nacional, denominado SQPE-OBS (Hidroestimador) (Hobouchian et al, 2021) . La combinación de estas tres fuentes de datos permite una caracterización más completa y robusta de la variabilidad espacial de la precipitación en la región, con un enfoque integral, útil para identificar posibles sesgos y complementariedades en los distintos sistemas de observación.

Este estudio se centra en el período 2018-2023, evaluando la coherencia entre estas fuentes en escalas trimestrales para identificar patrones climáticos estacionales y analizar la confiabilidad de las ENC y SQPE-OBS en contextos de baja densidad de redes oficiales.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

Se emplearon tres fuentes de datos complementarias: las EC aportan mediciones directas y de alta confiabilidad, aunque limitadas en cobertura espacial; las ENC, por su parte, amplían significativamente la distribución geográfica de los registros, aunque requieren procesos de control y validación más rigurosos, y; el producto SQPE-OBS complementa ambas fuentes mediante estimaciones basadas en sensores remotos, lo cual permite obtener información continua en regiones sin observaciones directas.

Se recopilaron y procesaron datos diarios de precipitación correspondientes al período comprendido entre agosto de 2018 y diciembre de 2023, provenientes de cuatro estaciones convencionales: Resistencia Aero (Rcia), Corrientes Aero (Ctes), Formosa Aero (Fsa) (pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional) y, Pilar (perteneciente a la Dirección de Meteorología e Hidrología de Paraguay); de seis estaciones no convencionales (PB4, PB5, PB11, PB12, PB24 y, PB26): perteneciente a una red comunitaria de mediciones pluviométricas del proyecto Bermejo (Robledo et al, 2018), y del hidroestimador SQPE-OBS (Hobouchian et al, 2021). En la Figura 1, se puede observar la localización de las mencionadas estaciones de medición.

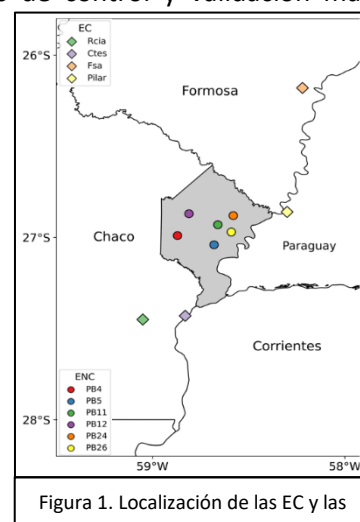


Figura 1. Localización de las EC y las

Se aplicaron procedimientos de control de calidad a los datos de EC y ENC para asegurar su fiabilidad y comparabilidad. Los datos del hidroestimador SQPE-OBS obtuvieron controles de calidad inherentes a su origen, por lo cual no fueron sometidos a controles adicionales (Hobouchian et al,2021).

Se construyeron series de precipitación acumulada trimestral conforme a la división estacional climatológica estándar (MAM, JJA, SON y DEF). La evaluación de la coherencia entre las distintas fuentes se llevó a cabo mediante análisis gráfico y estadístico, centrado en la comparación de los acumulados trimestrales y la identificación de patrones de similitud o discrepancia entre las distintas fuentes de datos.

Para evaluar la coherencia de la precipitación entre pares de localidades, se implementó un análisis de Segmentación-Simultaneidad por Terciles trimestral (SSTt) (Silva, F.; Olinuck, J.; 2019). Este procedimiento consistió en clasificar cada trimestre del período 2018–2023 en tres categorías: seco (valores acumulados por debajo del percentil 33 del período de referencia), normal (entre los percentiles 33 y 66), y húmedo (por encima del percentil 66). Para las EC, los umbrales de referencia se calcularon a partir de sus respectivas series climáticas del período 1991–2020. En el caso de las ENC, dado que no cuentan con series de largo plazo, se utilizaron los promedios trimestrales históricos de las cuatro EC como referencia climática.

3. RESULTADOS

En la Figura 2 se observan las marchas de la precipitación acumulada trimestral para las cuatro EC, junto a su promedio (P-EC), a la izquierda; y, para cada una de las 6 ENC, junto a su promedio (P-ENC), a la derecha. La comparación de las marchas evidencia similitud en la evolución temporal general entre ambas fuentes de datos, lo que expone su coherencia y consistencia. Ambos conjuntos reflejan una marcada estacionalidad, aunque con diferencias en magnitud y dispersión en determinados trimestres.

Se identifican periodos de mayor dispersión entre las fuentes desde la primavera del 2018 hasta el verano del 2021, especialmente en los trimestres húmedos. En contraste, desde el otoño del 2021 hasta la primavera de 2023, exhiben una mayor coincidencia entre estaciones, particularmente en los trimestres secos.

Cabe destacar que, en los veranos del 2022 y del 2023, los acumulados son apenas superiores a los observados en un invierno típico, incluso inferiores al invierno de 2019. Esto sugiere una reducción estacional del contraste en ciertos años, asociadas a condiciones climáticas anómalas en la región. Estas conclusiones resaltan la importancia de un monitoreo multi-fuente para comprender la dinámica de las precipitaciones en la región con mayor precisión.

Se aplicó el análisis de SSTt para comparar la simultaneidad en la ocurrencia de categorías iguales entre pares de localidades. En la Tabla 1 se muestran los resultados del análisis de SSTt para las mejores y peores simultaneidades entre dos EC (izquierda); en entre dos ENC (centro); y, entre una EC y una ENC (derecha).

Del análisis presentado en la Tabla 1, se observa que la mayor cantidad de coincidencias en la clasificación por terciles se da entre dos estaciones no convencionales (PB11–PB12), con 19 trimestres coincidentes sobre un total de 21, lo que evidencia una alta coherencia. En contraposición, las

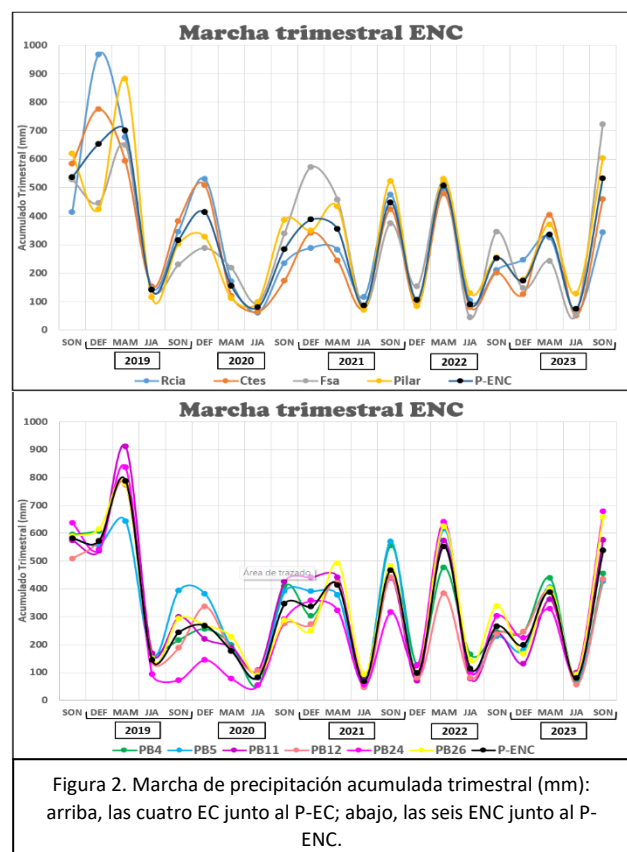


Figura 2. Marcha de precipitación acumulada trimestral (mm): arriba, las cuatro EC junto al P-EC; abajo, las seis ENC junto al P-ENC.

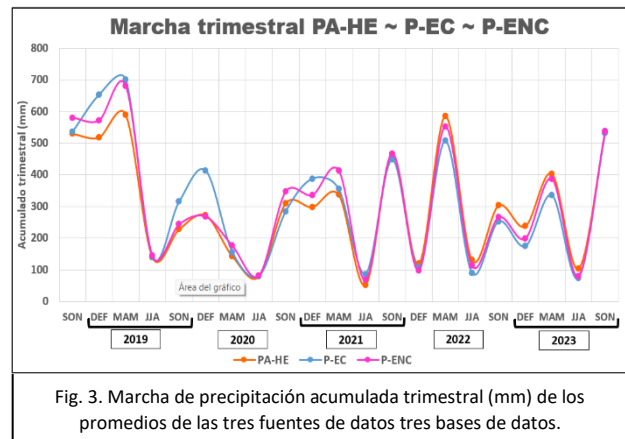
EC-EC		ENC-ENC		EC-ENC	
Fsa-Pilar (+)	Rcia-Fsa (-)	PB11-PB12 (+)	PB11-PB24(-)	Pilar-PB24 (+)	Rcia-PB11 (-)
15	9	19	12	17	10

por terciles entre pares de estaciones. Se indican las relaciones con mayor (+) y menor (-) coherencia. Se muestra las relaciones entre dos EC (izquierda), dos ENC (derecha) y, una EC y una ENC (centro).

relaciones marcadas con "-)", como Rcia–Fsa, PB11–PB24 y Rcia–PB11, muestran bajos niveles de simultaneidad, reflejando la significativa variabilidad espacial, incluso entre localidades relativamente cercanas. También se destaca que las relaciones entre una EC y una ENC, como Pilar–PB24, pueden alcanzar niveles de coherencia comparables o superiores a los de ciertas EC entre sí, lo cual refuerza el potencial de complementariedad entre ambas fuentes.

En la Figura 3 se muestran las marchas de la precipitación acumulada trimestral de los promedios de las EC, de las ENC y, del hidroestimador (PA-HE). Este último se obtuvo como el promedio de todos los píxeles contenidos dentro del polígono más pequeño que abarca la totalidad de las estaciones no convencionales consideradas en este estudio.

En general, se observa un comportamiento similar entre el PA-HE y los promedios de los conjuntos de estaciones (Fig. 2). Sin embargo, en el verano de 2019 y de 2020, P-EC es mucho más elevado que las otras dos bases de datos.



En términos generales, el P-EC tiende a mostrar una mayor discrepancia en sus mediciones, mientras que el PA-HE y el P-ENC muestran una mayor coherencia entre sus datos. Esto podemos asociarlo a que las EC se encuentran a una distancia mayor entre sí.

4. CONCLUSIONES

La comparación de la precipitación acumulada trimestral entre fuentes de datos convencionales, no convencionales y satelitales permitió evidenciar la alta variabilidad espacial que caracteriza al noreste argentino. Si bien se observó una coherencia general en la evolución temporal de la precipitación, algunos periodos mostraron una mayor dispersión, especialmente en los registros de las estaciones convencionales. Las ENC exhibieron una alta coherencia interna, particularmente entre estaciones geográficamente cercanas. Por su parte, el producto SQPE-OBS mostró patrones espaciales acordes con los observados en las demás fuentes, consolidando su potencial como herramienta complementaria. En conjunto, los resultados refuerzan el valor de integrar múltiples fuentes de datos como estrategia para mejorar la cobertura, precisión y confiabilidad del monitoreo climático en regiones con baja densidad observacional, superando así las limitaciones individuales de cada fuente.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Servicio Meteorológico Nacional (SMN), a la Dirección de Meteorología e Hidrología de Paraguay y, a la red comunitaria Bermejo del proyecto CLIMAX, por la provisión de los datos utilizados en este estudio.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Hobouchian, M. P.; Díaz, G.; Vidal, L.; García Skabar, Y.; Ferreira, L.; Maas, M.; Rossi Lopardo, M. S.; Veiga, H.; y Rugna, M.; 2021. Ajuste de la estimación de precipitación satelital IMERG con observaciones pluviométricas en Argentina. Nota Técnica SMN 2021-105.
- Robledo, F.; Spinoso, N.; Hernández, V.; Vera, C.; Osman, M.; Díaz, L.; Fossa Riglos, F.; Ortiz de Zárate, M.; Rolla, A.; Ruscica, R.; 2018. Co-diseño de una red comunitaria de monitoreo de lluvia en el departamento Bermejo, Chaco, Argentina. IFRH-2018: 4to Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos.
- Robledo, F.; Penalba, O.; 2008. Análisis estacional de la frecuencia diaria y la intensidad de los extremos de precipitación sobre el sudeste de sudamérica. Revista Meteorologica, Vol. 32 y 33, Nº 1 y 2 (2008), 31-49.
- Silva, F.; Olinuck, J.; 2019. Tendencias de las precipitaciones anuales en el noreste de Argentina. XXIII Simpósio brasileiro de recursos hídricos (ISSN 2318-0358). 2019.