

**VARIABILIDAD Y TENDENCIAS EN EVENTOS EXTREMOS DE
PRECIPITACIÓN Y SU INCIDENCIA EN LAS ZONAS NO SATURADA Y
SATURADA DEL SUELO EN LA PROVINCIA DE SANTA FE, ARGENTINA.**

Bernal, A.^{1.}; Lovino, M.^{2.}; Müller, G.^{3.}

RESUMEN: La Provincia de Santa Fe (Argentina) registra severos eventos extremos de precipitación que afectan la producción agroindustrial. Este trabajo se propone investigar la variabilidad espacio-temporal de los eventos extremos de precipitación a diferentes escalas temporales (de interanuales a diarias) y su incidencia en la humedad del suelo y el nivel freático en la provincia de Santa Fe. Para ello, utilizamos índices estandarizados no paramétricos (SI) aplicados a la precipitación, contenido de humedad de suelo y niveles freáticos en el periodo 1979-2016. La variabilidad espacio-temporal de los eventos extremos en diferentes escalas temporales se estudia mediante un Análisis por Componentes Principales y un Análisis Espectral Singular. Se encuentra interacción entre los eventos extremos de precipitación con la zona no saturada y saturada. Existe una gran variabilidad en escalas interanuales ($T \approx 2.5 - 4$ años) y decadales ($T \approx 10$ años). Existe una marcada tendencia no lineal en SPI para el período 1901 y 2016. Además, se analizan los extremos de precipitación en cortas escalas temporales, incluyendo tormentas intensas en 1 día (Rx1) y 5 días (Rx5) y la cantidad de días secos consecutivos extremos (CDD). Los índices Rx1 y Rx5 en el norte y centro del área de estudio presentan una tendencia de aumento a partir de 1960 mientras que al sur permanecen sin variaciones significativas. El CDD ha ido en ascenso para el centro y norte de la provincia de Santa Fe mientras que al sur no tiene una tendencia definida.

PALABRAS CLAVES: Índices estandarizados no paramétricos, precipitación intensa, días secos consecutivos

**VARIABILITY AND TRENDS IN EXTREME PRECIPITATION EVENTS AND
THEIR EFFECTS IN UNSATURATED AND SATURATED ZONES OF SOIL IN
SANTA FE PROVINCE, ARGENTINA**

¹ Ingeniera Hidrometeorologista, Becaria de Maestría, Centro de Estudios de Variabilidad y Cambio Climático (CEVARCAM), Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe 3000, Argentina. Correo: anelimcbm@gmail.com

² Investigador, CERVARCAM y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Santa Fe 3000, Argentina

³ Investigadora, CERVARCAM y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Santa Fe 3000, Argentina

ABSTRACT: Santa Fe Province (Argentina) records severe extreme events of precipitation, which affect the agro-industrial production. This study investigates the spatiotemporal variability of the extreme precipitation events on different timescales (from interannual to daily) and their incidence in the soil moisture and the groundwater levels in the Santa Fe province. Non-parametric standardized indexes (SI) were applied to precipitation, soil moisture and the groundwater levels for the 1979-2016 period. The spatiotemporal variability of the extreme events in different timescales is studied through an Analysis of Main Components and a Singular Spectral Analysis. There is interaction between extreme precipitation events and the unsaturated and saturated zones. There is great variability in interannual ($T \approx 2.5 - 4$ years) and in decadal scales ($T \approx 10$ years). There is also a marked non-linear trend in the longer period of the SPI between 1901 and 2016. Furthermore, we analyze extreme precipitation in short timescales including maximum precipitation amount in 1 day (Rx1) and 5 days (Rx5) and the number of consecutive dry days (CDD). The Rx1 and Rx5 indices show an increasing trend that starts in 1960 in the north and center of the study area, while they remain without significant variations in the south. The CDD has been risen for the center and north of the Santa Fe province, while in the south it has no noticeable trend.

KEYWORDS: Non-parametric standardized indexes, maximum precipitation, consecutive dry days

INTRODUCCIÓN

El Nordeste de Argentina es altamente vulnerable a eventos extremos de precipitación como las sequías e inundaciones en escalas temporales relevantes para la agricultura (LOVINO et al., 2014). Esta región concentra la mayor parte de la producción agrícola-ganadera, casi en su totalidad es de secano. Los déficits o excesos de precipitación, cuando se prolongan durante una estación o durante períodos más largos, desarrollan efectos progresivos en el ciclo hidrológico, incluso después de finalizar. Para evaluar adecuadamente el impacto de estos eventos extremos en los recursos hídricos, es preciso considerar los distintos tipos de almacenamiento de agua, como la humedad del suelo y los niveles de agua subterránea. Es decir, es esperable que la frecuencia, intensidad y/o duración de los eventos extremos ocasionen repercusiones hídricas e influyan en los rendimientos de los principales cultivos de la región (RIVERA & PENALBA, 2014; LOVINO et al., 2018).

Este trabajo propone analizar la variabilidad espacial y temporal de los eventos extremos de precipitación a diferentes escalas temporales (de interanuales a diarias) en la

provincia de Santa Fe. Se caracterizan los eventos extremos a través de índices estandarizados no paramétricos para cuantificar los déficits/excesos hídricos y su incidencia en la humedad del suelo y el nivel freático.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizan datos de precipitación observados y grillados en la región 58.5°W - 63.5°W y 27.5°S - 34.5°S (Figura 1). Los datos observados son mensuales y diarios con distintos períodos temporales y corresponden a 8 estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) localizadas en la provincia de Santa Fe o en las proximidades (puntos rojos en la Figura 1). Además, para establecer la distribución espacial de la precipitación y compararla con los datos GPCC v2018, se utilizaron otras 8 estaciones distribuidas en el noreste de Argentina (ver puntos azules en la Figura 1). Los datos grillados corresponden a GPCCv2018 (Global Precipitation Climatology Center Versión 2018; SCHNEIDER et al., 2018), con una resolución espacial de $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$, a paso mensual entre 1901 y 2016. La zona no saturada se analiza a partir del contenido de humedad de suelo obtenida del Global Land Data Assimilation System (GLDAS; MENG et al., 2012) a paso de tiempo mensual y resolución espacial de $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ para el período 1979-2016. La zona saturada se estudia a partir del nivel freático mensual correspondiente a la estación Rafaela, con datos provenientes del INTA en el periodo 1970-2017.

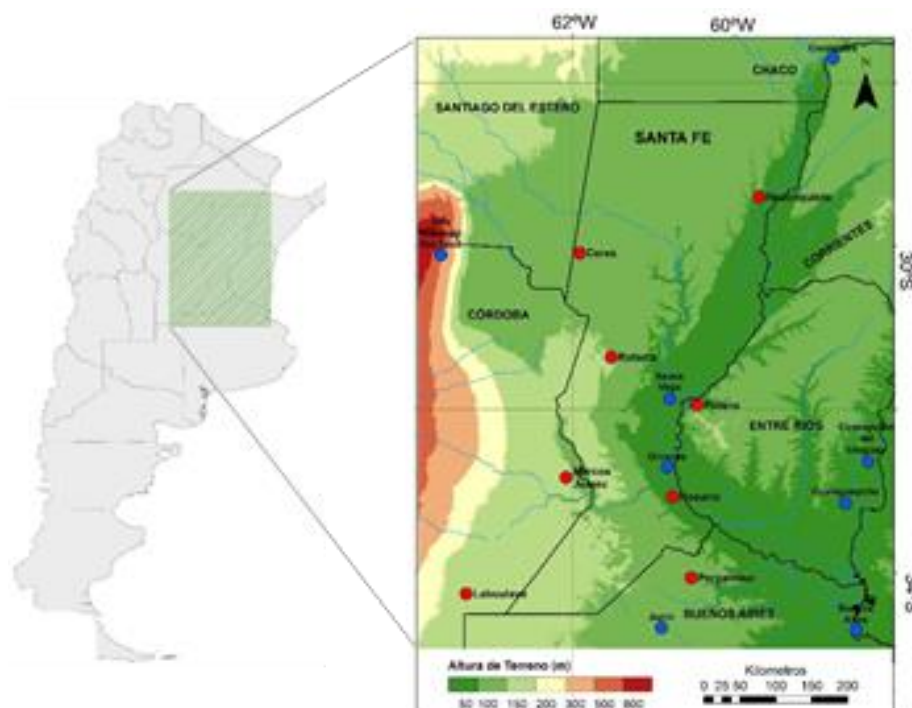


Figura 1. Región de estudio y estaciones pluviométricas utilizadas (puntos rojos).

Los eventos extremos se caracterizan mediante la construcción de índices estandarizados no paramétricos (SI, Hao et al. 2014) aplicados a la precipitación (SPI), contenido de humedad de suelo (SSI) y niveles freáticos (SGI). Estos índices permiten cuantificar los déficits/excesos hídricos y su incidencia en la zona no saturada y saturada del suelo, así como también sus interrelaciones. Los eventos extremos se clasifican según la escala propuesta por Hao et al. (2014), definiendo los eventos de déficit con un SI menor o igual a -0.5 y los excesos con SI iguales o mayores a 0.5. Entre -0.5 y 0.5 se consideran condiciones normales. Para esta investigación, la duración de los eventos extremos se define como la cantidad de meses sobre o por debajo de los umbrales de normalidad (0.5 y -0.5, respectivamente).

Se examina la variabilidad espacio-temporal de los eventos extremos aplicando un Análisis por Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés; Von Storch y Zwiers 1999; Wilks 2006). Además, se identificaron los modos dominantes de variabilidad temporal (tendencias y ciclos oscilatorios) mediante el Análisis Espectral Singular (SSA, por su sigla en inglés; GHIL et al., 2002; WILKS, 2006).

Finalmente, se analizaron 3 índices descriptivos de los eventos extremos de precipitación en cortas escalas temporales (del orden de días). Los índices estudiados son la cantidad máxima de precipitación de 1 día (Rx1), la cantidad máxima de precipitación en 5 días (Rx5) y el número de días secos consecutivos (CDD).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De manera general, las series temporales de SPI definen 2 períodos demarcados en la región de estudio en el período 1901 y 2016 (Figura 2). Entre los años 1901-1970 predominan eventos extremos secos. En cambio, entre los años 1970-2016 se incrementó la frecuencia, intensidad y duración de los eventos extremos húmedo. Además, se ven favorecidos por la gran variabilidad espacio-temporal de la región en escalas interanuales (LOVINO et al., 2018). Los eventos extremos, en extensión espacial e intensidad, presentan las mismas periodicidades dominantes. El ACP y el SSA muestran ciclos en escalas interanuales con períodos dominantes entre 2.5 y 4 años, en la misma frecuencia que los ciclos dominantes de El Niño – Oscilación del Sur (e.g., GRIMM et al., 2000) y decadales de aproximadamente 10 años que algunos autores han relacionado con la Oscilación del Atlántico Norte (ROBERTSON & MECHOSO, 2000).

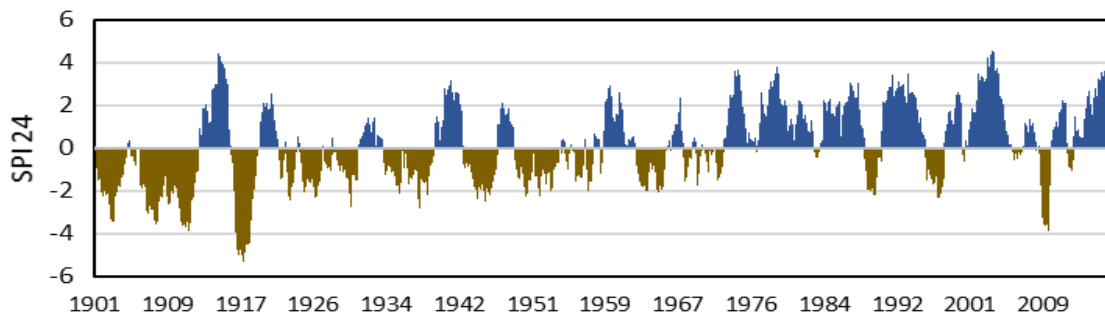


Figura 2. Serie temporal del índice SPI para 24 meses en el nordeste de Argentina. Período 1901-2016.

Por otro lado, en el periodo 1979-2016 los resultados de los eventos compuestos con SPI y SSI categorizan 9 eventos húmedos y 5 eventos secos (Figura 3). Entre los eventos más relevantes se encuentra el evento húmedo excepcional entre los años 2000-2003, con una duración promedio de 40 meses y el evento seco excepcional que se prolongó por 12 meses en el periodo 2008-2009. Además, se muestra la consistencia física del modelado de superficie, ya que cuando se incrementa la profundidad, la humedad del suelo (SSI) tiene mayor tiempo de respuesta ante la precipitación (SPI). El contenido de humedad del suelo responde a anomalías de precipitación en una escala relativamente corta de tiempo, resaltando que las correlaciones máximas ($r = 0.81$) se encuentran entre SPI para 12 meses y SSI para 6 meses. La interacción de la zona saturada en Rafaela indica que el SGI en promedio se retrasa en 10 meses con respecto al SPI.

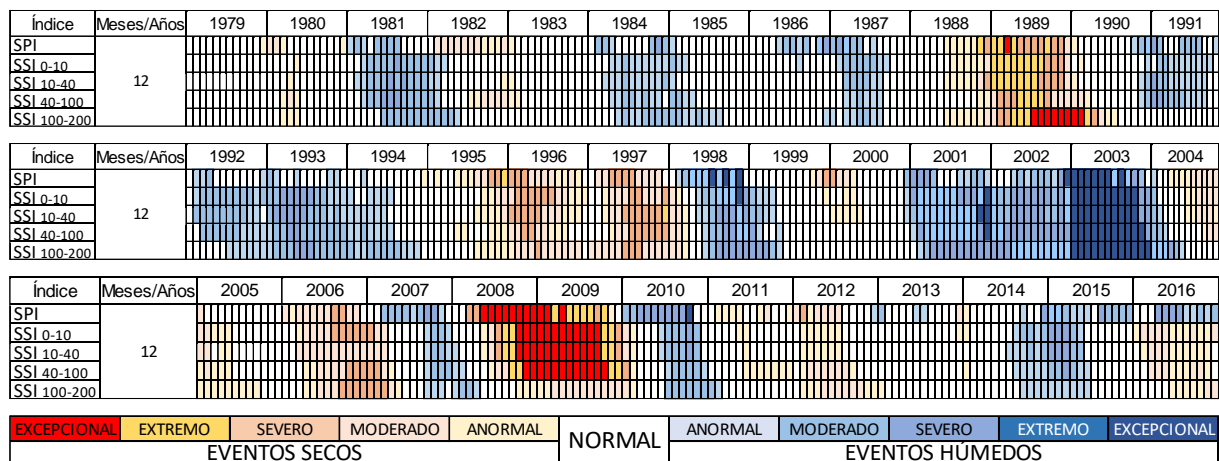


Figura 3. Síntesis gráfica de los valores mensuales promedio espaciales del SPI y del SSI (0-10 cm, 10-40 cm, 40-100 cm, 100-200 cm) para el nordeste de Argentina en la escala temporal de 12 meses, en el período 1979-2016. Tonos en la gama del rojo (azul) representan la intensidad de los eventos

Los índices Rx1 y Rx5 en el norte y centro del área de estudio presentan una tendencia de aumento a partir de 1960 en el norte y el centro de la provincia (Figuras 4a y 4b) mientras que al sur permanecen sin variaciones significativas. El índice Rx1 indica que los valores máximos de las tormentas intensas en un día exceden los 150mm. Por su parte, el índice Rx5 registra valores mayores a 300 mm, excepto en la estación Ceres con 218 mm. Asimismo, el

CDD para el norte y el centro de la provincia (Figura 4c) ha ido en ascenso mientras que al sur no tiene una tendencia definida. Las estaciones de Rosario y Pergamino han registrado un máximo de 60 días sin precipitaciones mientras que Ceres alcanza los 115 días. Además, los eventos extremos están fuertemente influenciados por la variabilidad interanual con ciclos de entre 2 y 6 años relacionados al fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (BERRI et al., 2002; LOVINO et al., 2018).

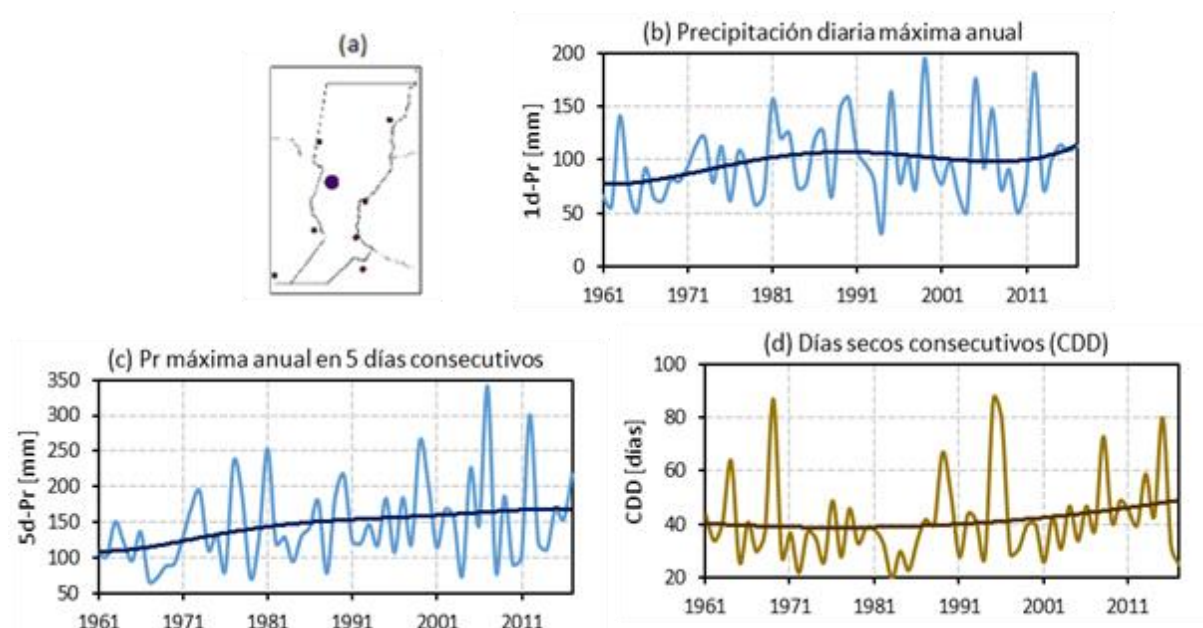


Figura 4. Series temporales de extremos de precipitación en la estación Rafaela (1961-2017): (a) ubicación geográfica, (b) precipitación diaria máxima anual (Rx1), (c) precipitación máxima anual en 5 días consecutivos (Rx5) y (d) días secos consecutivos (CDD). Se resaltan las tendencias no lineales que indican los cambios de largo período en cada serie.

CONCLUSIONES

Se analizaron las características de los eventos extremos de precipitación (duración e intensidad) en la provincia de Santa Fe desde inicios del siglo XX, mediante el índice de precipitación estandarizados (SPI) y su vinculación con la humedad del suelo y el nivel freático en el periodo 1970-2016. Se evidenció una tendencia no lineal en los eventos extremos de precipitación en el periodo 1901-2016. Entre 1901-1970 predominan los eventos extremos secos y entre 1970-2016 predominan los eventos extremos húmedos. Se encontró que la vinculación entre los subsistemas precipitación – zona no saturada del suelo simulada con el modelo Noah es muy notoria en el nordeste de Argentina. La humedad del suelo responde ante los extremos de precipitación, variando en escalas temporales y en la profundidad de las capas analizadas. Se encontró una gran consistencia entre los eventos

individuales analizados con SPI y SSI. En Rafaela, el SGI, considerando la respuesta más lenta de esta variable, mostró coincidencia ante la comparación con SPI y SSI. Los eventos extremos de precipitación (Rx1 y Rx5) en el norte y centro del área de estudio presentan una tendencia de aumento a partir de 1960 mientras que al sur permanece sin variaciones significativas. El CDD ha ido en ascenso para el centro y norte de la provincia de Santa Fe. Finalmente, se observó una importante influencia de la variabilidad interanual que se manifiesta claramente en los diferentes estratos del suelo y además en los eventos extremos de precipitación a escala diaria con períodos relacionados en el rango de oscilación del ENOS (entre 2-4 años).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERRI, G.; FLAMENCO, E.; SPESCHA, L.; TANCO, R.; HURTADO, R. Some effects of **La Niña on summer rainfall, water resources, and crops in Argentina**. United Nations University. p. 127-133, 2002.
- GRIMM, A. M.; BARROS, V. R.; DOYLE, M. E. Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events. **Journal of climate**, v. 13, n. 1, p. 35-58, 2000.
- HAO, Z.; AGHAKOUCHAK, A.; NAKHJIRI, N.; FARAHMAND, A. Global integrated drought monitoring and prediction system. **Scientific data**, v. 1, n. 1, p. 1-10, 2014.
- LOVINO, M. A.; MÜLLER, O. V.; MÜLLER, G. V.; SGROI, L. C.; BAETHGEN, W. E. Interannual-to-multidecadal Hydroclimate Variability and its Sectoral Impacts in northeastern Argentina, **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, v. 22, p. 3155-3174, 2018.
- LOVINO, M.; GARCÍA, N. O.; BAETHGEN, W. Spatiotemporal analysis of extreme precipitation events in the Northeast region of Argentina (NEA). **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 2, p. 140-158, 2014.
- MENG, J.; YANG, R.; WEI, H.; EK, M.; GAYNO, G.; XIE, P.; MITCHELL, K. The land surface analysis in the NCEP Climate Forecast System Reanalysis. **Journal of Hydrometeorology**, v.13, n. 5, p. 1621-1630, 2012.
- RIVERA, J. A.; PENALBA, O. C. Trends and spatial patterns of drought affected area in Southern South America. **Climate**, v. 2, n. 4, p. 264-278, 2014.

ROBERTSON, A. W.; MECHOSO, C. R. Interannual and interdecadal variability of the South Atlantic convergence zone. **Monthly weather review**, v. 128, n. 8, p. 2947-2957, 2000.

SCHNEIDER, U.; BECKER, A.; FINGER, P.; MEYER-CHRISTOFFER, A.; ZIESE, M. GPCP Full Data Monthly Product Version 2018 at 0.25°, 2018.

VON STORCH, H.; ZWIERS, W. **Statistical Analysis in Climate Research**, Cambridge University Press, 484 pp., 1999.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. Elsevier Inc, UK. 627 pp., 2006.