

Precipitaciones extremas y excesos hídricos durante 2014 en la cuenca del arroyo Cura Malal Grande (Argentina)

Extreme rainfall and water excess during 2014 in the Cura Malal Grande basin (Argentina)

MARÍA DE LOS ÁNGELES ORTUÑO CANO¹  0000-0001-9146-7105

JORGE OSVALDO GENTILI¹  0000-0002-4787-4667

¹Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Bahía Blanca, Argentina.

Resumen

La ocurrencia de eventos de exceso hídrico genera impactos significativos en las dinámicas ambientales, sociales y económicas, especialmente en áreas de llanura. De acuerdo a ello, se planteó como objetivo de esta investigación analizar la ocurrencia de eventos extremos de precipitación y su relación con los eventos de exceso hídrico ocurridos en el año 2014 en la cuenca del arroyo Cura Malal Grande. Se identificaron los eventos mediante el análisis de percentiles diarios de precipitación, complementado con datos de humedad del suelo de la misión GRACE y se aplicó el índice mNDWI a imágenes Landsat 8 para identificar áreas anegadas. Adicionalmente, se revisaron artículos de la prensa escrita regional y local para comprender las repercusiones sociales y económicas de los anegamientos en la cuenca. Los resultados destacan que la saturación progresiva del suelo incrementó los anegamientos, siendo los eventos de octubre los más significativos por la acumulación de agua en un contexto de humedad previa. Se evidencia cómo la interacción entre la precipitación extrema y las condiciones hidrológicas antecedentes definen la dinámica de anegamientos en cuencas de llanura, proporcionando herramientas relevantes para la gestión de recursos hídricos.

Fechas • Dates

Recibido: 2024.12.30
Aceptado: 2025.05.05
Publicado: 2025.07.17

Autor/a para correspondencia Corresponding Author

María de los Ángeles Ortuño Cano
maria.ortuno@uns.edu.ar

Palabras clave: eventos extremos; anegamientos; humedad del suelo; mNDWI; Sistema de Ventania

Abstract

The occurrence of water excess events generates significant impacts on environmental, social, and economic dynamics, especially in lowland areas. Accordingly, the objective of this research was to analyze the occurrence of extreme precipitation events and their relationship with water excess events that occurred in 2014 in the Cura Malal Grande basin. The events were identified through the analysis of daily precipitation percentiles, complemented by soil moisture data from the GRACE mission, and the mNDWI index was applied to Landsat 8 images to identify flooded areas. Additionally, articles from regional and local press were reviewed to understand the social and economic repercussions of flooding in the basin. The results highlight that the progressive saturation of the soil increased flooding, with the October events being the most significant due to water accumulation in a context of prior humidity. It is evident that the interaction between extreme precipitation and antecedent hydrological conditions defines the dynamics of flooding in lowland basins, providing relevant tools for water resource management.

Keywords: extreme events; waterlogging; soil moisture; mNDWI; Ventania System

1. Introducción

En las últimas décadas, la mayor intensidad y frecuencia de los eventos extremos de precipitación ha acentuado los problemas relacionados con los excesos hídricos (inundaciones y anegamientos) en diversas regiones del mundo. Según el Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] (2018) un evento meteorológico extremo puede definirse como un fenómeno meteorológico “raro” o excepcional que se produce en un determinado lugar y época del año. Estos fenómenos pueden generar no sólo impactos en la infraestructura y el desarrollo agropecuario, sino también efectos sobre los ecosistemas y la sociedad en general (IPCC, 2023). Las investigaciones recientes destacan que la variabilidad climática, sumada a los efectos del cambio climático, ha influido en la frecuencia, intensidad y distribución de estos eventos, lo cual presenta desafíos crecientes para el manejo de los recursos hídricos y la mitigación de sus efectos (IPCC, 2023).

Los estudios indican que los cambios en la precipitación no son homogéneos, sino que pueden diferir no solo entre regiones sino también entre aspectos propios de la precipitación, como los totales y sus extremos (Donat et al., 2016). Los eventos hidrometeorológicos e hidroclimáticos extremos juegan un papel crucial en la dinámica de las cuencas hidrográficas, especialmente en áreas de llanura donde las características topográficas y de pendientes configuran un entorno propenso a la acumulación de agua superficial (Fertonani & Prendes, 1983).

Ante esta situación, son múltiples las metodologías empleadas en el mundo para el estudio de estas problemáticas. En muchas regiones se emplean modelos climáticos, análisis de proyecciones y tendencias que resultan esenciales para la comprensión precisa de la respuesta hidrológica de las cuencas hidrográficas frente a los eventos extremos (Ayugi et al., 2021; George & Athira, 2020; Labonté-Raymond, Pabst, Bussière, & Bresson, 2020) especially the MAM rainfall relative to their predecessor. Moreover, simulation of extreme indices is well captured in CMIP6 models relative to CMIP5. The CMIP6-MME performed better than the CMIP5-MME with lesser biases in simulating Simple Daily Intensity Index (SDII. Guillén-Oviedo, Cid-Serrano y Alfaro-Martínez (2020) investigaron sobre la variabilidad espacial y temporal de eventos extremos de precipitación en América Central. Este tema aplicado en cuencas hidrográficas, donde además ocurren inundaciones y/o anegamientos recurrentemente fue estudiado por Pérez-Ortiz, Montenegro-Murillo y Vargas-Franco (2022) y Herrera, Magaña y Morett (2018) en cuencas de Colombia y México

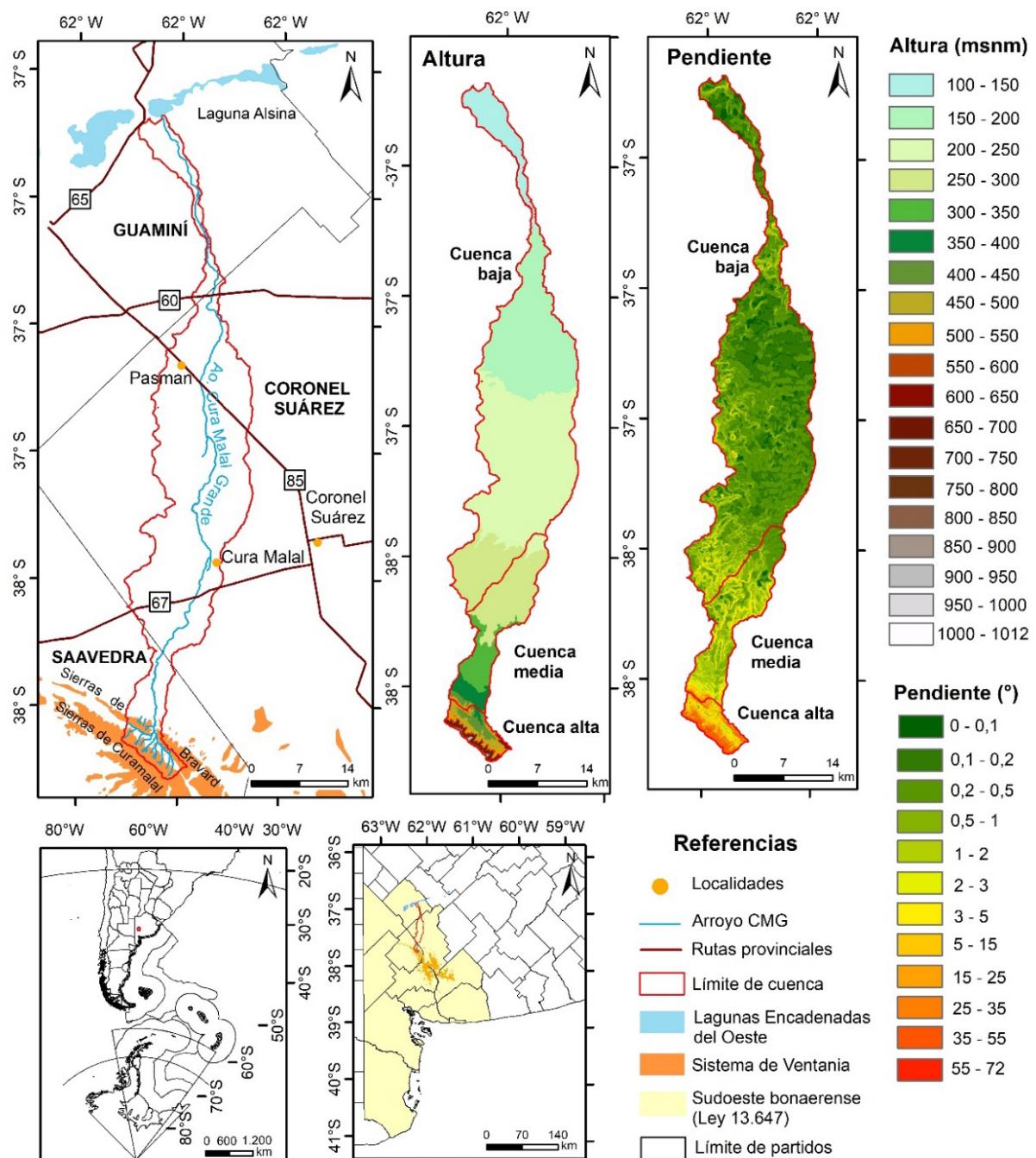
respectivamente. En América del Sur, Robledo y Penalba, 2008 estudiando la cantidad de días con precipitación y la intensidad media diaria (en milímetros por día) estudiaron la variabilidad espacial de la precipitación, con énfasis en los extremos de precipitación. En Chile, Garcés-Gálvez et al. (2024) sostienen que es crucial entender la variabilidad climática para analizar la interacción entre los sistemas naturales y sociales. El cuenco del río Mataquito, ubicado en la Región del Maule de Chile, transita de terrenos montañosos a áreas costeras, dando lugar a diversos paisajes, actividades industriales y condiciones microclimáticas. Este trabajo buscó analizar la variabilidad climática en el cuenco del río Mataquito mediante técnicas de análisis espectral. Estos estudios son relevantes porque proporcionan información valiosa sobre cómo la variabilidad climática se vincula con la ocurrencia de eventos extremos de precipitación en diferentes regiones y porque resaltan la necesidad de estrategias de gestión adaptativa para mitigar sus impactos.

Otros autores se dedican a estudiar las diversas consecuencias de los eventos extremos de precipitación, así como de las inundaciones y/o anegamientos que derivan de ellas. Muchos de estos combinan los estudios hidrometeorológicos con tecnologías de percepción remota. Las técnicas de teledetección representan una alternativa viable para el monitoreo de cuerpos de agua, ya que los datos satelitales pueden ofrecer información en tiempo real de manera dinámica, permitiendo un seguimiento operativo y autónomo de los recursos hídricos (Henrández-Lozano & Pavón, 2024) lo cual genera serios problemas económicos y sociales. Por tanto, una tarea imprescindible es el monitoreo del estado de los cuerpos de agua superficiales, y una alternativa rápida, precisa y económica es hacerlo mediante técnicas de teledetección usando sensores remotos satelitales. Estas técnicas ayudan a obtener información a distancia de un determinado objeto situado sobre la superficie terrestre. El objetivo de este estudio fue, mediante el método PRISMA, realizar una revisión de las aplicaciones de los sensores remotos en el monitoreo de cuerpos de agua para dar alternativas de uso de los índices de agua. El índice de agua modificado de diferencia normalizada (MNDWI, por sus siglas en inglés). Múltiples autores en todo el mundo han trabajado en la identificación de áreas inundables o inundadas luego de eventos extremos de precipitación a partir de la aplicación de la teledetección y los SIG. El Normalized Difference Water Index (NDWI) -propuesto por McFeeters (1996)- y su versión modificada conocida como Modified Normalized Difference Water Index (mNDWI) -desarrollada por Xu (2006)-, son dos de los métodos más utilizados para el monitoreo de cuerpos de agua superficiales (Khalifeh-Soltanian, Abbasi, & Riyahi-Bakhtyari, 2019).

En Argentina para la identificación de eventos extremos de disponibilidad hídrica -sequías e inundaciones- así como su recurrencia y severidad, es ampliamente utilizado el índice Estandarizado de Precipitaciones y Evapotranspiración (SPEI, por sus siglas en inglés) propuesto por Vicente-Serrano et al. (2010). Abordajes en esta línea fueron realizados por Contreras et al. (2022), Paredes et al. (2022) y Scordo, Piccolo, & Perillo (2018). En la región pampeana y particularmente en la provincia de Buenos Aires, la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos e hidroclimáticos extremos, que pueden dar lugar a eventos de inundaciones, anegamientos y sequías de diversa duración e intensidad, ha sido una constante a lo largo de su historia (Ameghino, 1884; Mercau et al., 2013; Scarpati & Capriolo, 2013). Pereyra y Ferrer (1995) destacan que el diseño de las redes de drenaje en la llanura pampeana está condicionado por su bajo relieve y la presencia de un sistema hídrico discontinuo, derivado de los reducidos gradientes de pendiente característicos de la región. Además, Tricart (1973) y Dangavé (2005) contribuyeron a la comprensión del papel de la acción eólica en la configuración del paisaje. Estos autores identificaron y estudiaron la

formación de extensas llanuras y la generación de cubetas originadas por procesos de deflación. Durante eventos de precipitación, las depresiones pueden transformarse en lagunas, y cuando la cantidad de agua es abundante, estas lagunas pueden conectarse entre sí (Briceño, Entraigas, & Scioli, 2019). Los cauces temporales que las enlazan actúan como canales de desborde, permitiendo que el agua fluya entre ellas y desde las áreas circundantes, amplificando la extensión de los excesos hídricos (Tricart, 1973; Vercelli et al., 2019).

Figura 1. Localización de la cuenca del arroyo CMG y distribución espacial de la altitud y el gradiente de la pendiente.



Fuente: Elaboración propia.

En el suroeste bonaerense y puntualmente en la zona que rodea al Sistema de Ventania son numerosos los estudios realizados al respecto vinculado a la variabilidad climática (Bohn, 2024; Campo et al., 2011; Casado & Campo, 2019; Ferrelli et al., 2019 ; Ferrelli et al., 2020), a los eventos extremos de precipitación (Lambrecht et al., 2022; Mastrandrea & Bohn, 2023; Montico, Lambrecht, & Zapperi, 2023) y a los excesos hídricos vinculados a las precipitaciones y a las cuencas hidrográficas del sistema serrano (Gentili, 2012; Gil, 2010; Mastrandrea & Angeles, 2024; Volonté, 2017). En la vertiente norte del Sistema de Ventana se ubica la cuenca del arroyo Cura Malal Grande (CMG) (Fig. 1). Este arroyo se origina en las sierras de Curamalal y Bravard y fluye hacia el noreste, atravesando los partidos de Saavedra, Coronel Suárez y Guaminí, para desembocar en la laguna Alsina, parte de la depresión de las Lagunas Encadenadas del Oeste. La cuenca abarca una superficie aproximada de 722 km² y presenta una considerable variación altitudinal, con valores que van desde los 1.015 m s.n.m. en las sierras, hasta los 107 m s.n.m en su desembocadura (Fig. 1). La diferencia en las pendientes es significativa, con inclinaciones que alcanzan los 70 ° en la cuenca alta, mientras que en la cuenca baja las pendientes son menores a 1° (Ortuño-Cano & Gentili, 2022) (Fig. 1). El clima de la región está caracterizado por una elevada variabilidad en las precipitaciones, con alternancia de períodos húmedos y secos (Casado & Campo, 2019).

La presencia del Sistema de Ventania en el área influye en el régimen de lluvias provocando una sobreexcitación orográfica que incrementa las precipitaciones a escala regional (Zapperi, Ramos, Gil, & Campo, 2007) y en los patrones locales de precipitación asociado a la complejidad en la distribución altitudinal y de orientación de las laderas (Casado, Berón de la Puente, & Gil, 2024; Gentili & Gil, 2013). Los eventos extremos de precipitación, especialmente en la cuenca alta, suelen generar acumulación de agua en las zonas más bajas, afectando no solo a los sectores rurales, sino también a las pequeñas localidades dentro de la cuenca, como Cura Malal y Pasman, de 124 y 192 habitantes respectivamente (INDEC, 2022). Estas inundaciones, recurrentes en los últimos años, han causado afectaciones en la infraestructura vial y en la actividad agrícola-ganadera, lo que ha generado pérdidas económicas significativas en la región (Moretto, Ortúño-Cano, & Gentili, 2023; Ortúño-Cano et al., 2019). En la cuenca del arroyo CMG y zonas aledañas los estudios evidencian la recurrencia de eventos de intensa precipitación que dan lugar a la ocurrencia de inundaciones y anegamientos de diferente duración y magnitud (Gentili, 2012; Marini, 2014; Moretto et al., 2023; Ortúño-Cano et al., 2019). En el período 1981-2023, los años más húmedos que provocaron eventos de excesos hídricos en la cuenca fueron los ocurridos en 1985 y 2014 (Ortúño-Cano et al., 2019). Si bien el primero fue ampliamente estudiado en la región por su gran afectación (Gentili, 2012; Monachesi, 1995; Ortúño-Cano et al., 2019; Sierra et al., 1994; Vázquez et al., 2009), el último no ha sido abordado para la cuenca del arroyo CMG en particular a pesar de haber tenido importantes repercusiones en términos de afectaciones sociales y económicas (Ortúño-Cano et al., 2019). En este contexto, el objetivo de esta investigación fue analizar la ocurrencia de eventos extremos de precipitación y su relación con los eventos de exceso hídrico ocurridos en el año 2014 en la cuenca del arroyo CMG. Este análisis contribuirá a una mejor comprensión de la dinámica hídrica de la cuenca y proporcionará información relevante para la gestión integral del recurso hídrico en el área de estudio.

2. Metodología

Con el fin de conocer la distribución temporal de las lluvias y los eventos de precipitación extrema se analizaron los datos de precipitación diaria obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) correspondientes a la estación meteorológica de Coronel Suárez, estación de referencia

oficial para la cuenca del arroyo CMG. La identificación y caracterización de cada evento de precipitación se realizó mediante el cálculo de los percentiles de precipitación diaria registrada en el período 1981 - 2023. En el cálculo se consideró un día con precipitación cuando el acumulado es mayor o igual a 0,1 mm, mientras que se clasifica como día de precipitación extrema cuando el registro diario supera un umbral específico (Robledo & Penalba, 2008) estudiando la cantidad de días con precipitación y la intensidad media diaria (en milímetros por día). Para este trabajo, los valores de precipitación diaria se agruparon en clases según su ubicación en los umbrales de los percentiles. Los percentiles 95 y 99 son considerados valores de precipitación extrema de acuerdo a la propuesta de Flores et al. (2024) y Saucedo et al. (2021) del SMN. Un evento de precipitación extrema se definió cuando se registró un día de precipitación por encima del percentil 95 o cuando se registraron días consecutivos de lluvias que incluyeron al menos un día de precipitación por encima del percentil 95. Este procedimiento permitió contextualizar cada evento en relación con las precipitaciones históricas de la región, facilitando la identificación de lluvias extremas y su vinculación con eventos de exceso hídrico.

El análisis de las precipitaciones se complementó con la evaluación de la intensidad y duración de los períodos secos y húmedos en el área de estudio durante el año 2014 en función del Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) siguiendo la clasificación de Vicente-Serrano et al. (2010). Para su análisis se seleccionó la escala temporal de 6 meses dado que en el caso de los períodos húmedos es la escala que muestra tendencias de mediano plazo más adecuada para capturar excesos hídricos (Vicente-Serrano et al., 2010; OMM, GWP 2016). La serie de datos para el área de la cuenca del arroyo CMG fue obtenida del modelo global SPEI Global Drought Monitor¹ con una resolución espacial de 0,5 ° de longitud y latitud.

Por otra parte, las lluvias se relacionaron con datos de humedad del suelo superficial (Surface Soil Moisture – SFSM) y de la zona de raíces (Root Zone Soil Moisture – RTZSM), de la misión GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) y el Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Estos datos, obtenidos a través del Sistema de Información sobre Sequías para el Sur de Sudamérica (SISSA)², identifican el contenido de agua en los primeros 2 cm y 100 cm del suelo respectivamente, con una frecuencia semanal y una resolución de 0,25 ° de longitud y latitud. Se presenta de manera esquemática la humedad del suelo en las dos profundidades para los períodos 3 de marzo - 20 de abril y 29 de septiembre - 9 de noviembre. Esta información permitió evaluar la influencia de los eventos extremos en las condiciones de humedad en el perfil del suelo observadas durante 2014.

Para evaluar la presencia de agua en la cuenca provocada por los eventos extremos de precipitación, se seleccionaron y descargaron imágenes satelitales Landsat 8 del sensor Operational Land Imager (OLI) -resolución espacial de 30 metros y resolución temporal de 16 días- con corrección de reflectancia a nivel de superficie, desde la plataforma Sentinel Hub³. Las imágenes utilizadas corresponden a fechas posteriores a los eventos identificados como extremos y se priorizaron las imágenes con una cobertura nubosa inferior al 10 % que asegura una mayor precisión en el análisis. Con las imágenes se obtuvo el índice mNDWI, propuesto por Xu (2006) que es una adaptación del NDWI, desarrollado inicialmente por (McFeeters, 1996), para mejorar la detección de cuerpos de agua al minimizar las interferencias de elementos superficiales como la vegetación o el suelo expuesto. La fórmula para el cálculo del mNDWI es la siguiente (Xu, 2006):

1. <http://sac.csic.es/spei/home.html>

2. <https://sissa.crc-sas.org>

3. <https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser>

$$mNDWI = \frac{(Green - SWIR)}{(Green + SWIR)}$$

Para su cálculo con imágenes Landsat 8, se utilizaron las bandas B3 (verde) y B6 (infrarrojo de onda corta). Los valores del índice oscilan entre -1 y 1 donde, los valores positivos (mayores a 0) indican presencia de agua. El mNDWI permitió identificar las zonas que se anegaron tras los eventos de precipitación.

Por último, para complementar y contextualizar los resultados obtenidos, se realizó una revisión de artículos de la prensa escrita regional y local que trataron la problemática. Esto proporcionó una perspectiva cualitativa que enriqueció la comprensión de los impactos de los excesos hídricos en la cuenca desde una dimensión social.

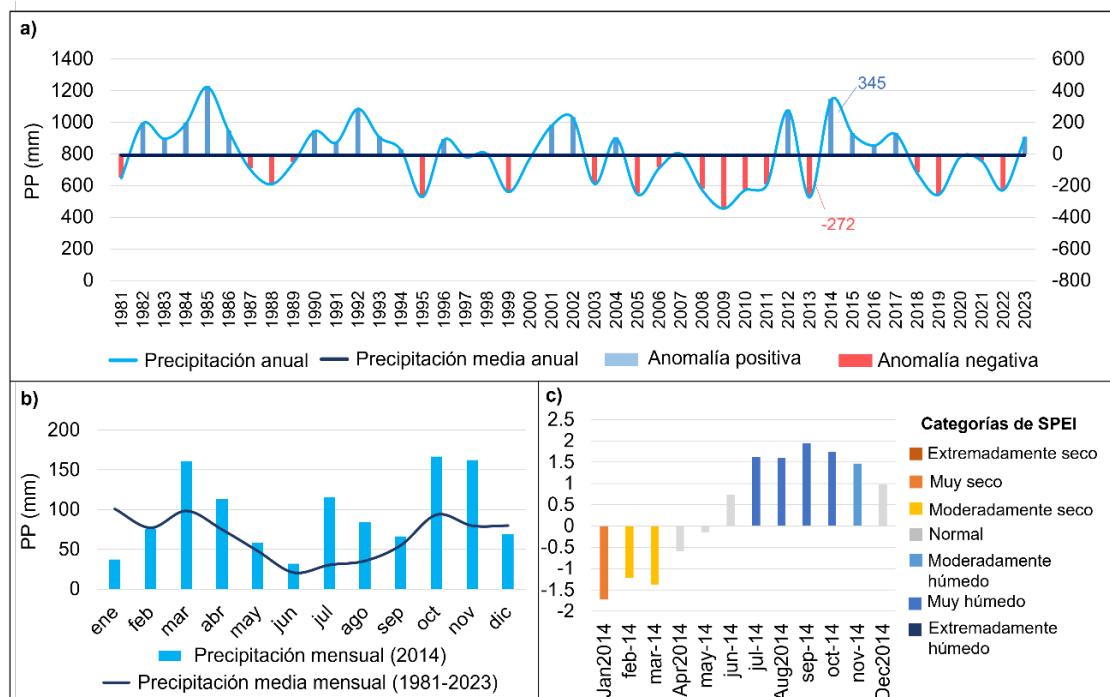
3. Resultados

3.1. Precipitaciones y eventos de excesos hídricos en la cuenca del arroyo CMG

3.1.1. Análisis temporal de la precipitación

La variabilidad interanual de las precipitaciones en la estación Coronel Suárez y las anomalías anuales se pueden observar en la figura 2a. La media anual para el período 1981-2023 es de 793 mm (Fig. 2a). El año 2014 es el más lluvioso, después de 1985 (1.141 mm y 1.223 mm anuales, respectivamente) con anomalías positivas de 345 y 345 mm.

Figura 2. Distribución para el período 1981-2023 en la estación Coronel Suárez de
(a) precipitación anual y anomalías respecto a la media,
(b) precipitación mensual durante el año 2014 y (c) SPEI 6 en 2014.



Fuente: Elaboración propia.

En el 2014, las precipitaciones de los meses de abril, julio, octubre y noviembre superan ampliamente el valor medio mensual de todo el período analizado (Fig. 2b). Incluso, en relación con los percentiles mensuales, las precipitaciones para abril (75 mm), octubre (94 mm) y noviembre (80 mm) superaron tanto el percentil 95 (39 mm, 38 mm y 33 mm, respectivamente) como el percentil 99 (68 mm, 64 mm y 66 mm, respectivamente) del período 1981-2023, lo que indica la ocurrencia de máximos históricos en estos meses. En julio, el acumulado mensual de 30 mm excedió el percentil 95 (24 mm) pero permaneció por debajo del percentil 99 (46 mm). Esta comparación con los umbrales percentílicos verifica que se registraron máximos históricos durante el 2014 en la cuenca del arroyo CMG. Por otra parte, el mes de enero destaca por ser, además de diciembre, pero en menor medida este último, el que registró menores precipitaciones que la media (Fig. 2b). La media del mes de enero para el período es de 100 mm y en enero de 2014 el registro fue de 37 mm.

El análisis a través del SPEI destaca una condición seca predominante desde fines de 2013, que también es un año con anomalías negativas de precipitación (Fig. 2a), y principios de 2014. En la figura 2c se pueden observar las categorías de SPEI mensuales a escala de 6 meses. Se evidencia la transición, entre diciembre de 2013 y diciembre de 2014, de cuatro meses secos (Dic-Ene-Feb-Mar), hacia un trimestre con valores (Abr-May-Jun), para finalmente alcanzar cinco meses consecutivos húmedos (Jul-Ago-Sep-Oct-Nov) y normalizarse nuevamente en el último mes del año. Se identificó a enero como el mes más seco (de categoría “muy seco” con valor de SPEI -1,73) y posteriormente a septiembre como el mes más húmedo de la serie (de categoría “muy húmedo” y valor de SPEI 1,95).

3.1.2. Eventos extremos de precipitación durante el año 2014

La precipitación diaria de Coronel Suárez para el período 1981-2023 se categorizó en 5 clases a partir del cálculo de percentiles. En la tabla 1 se indica el umbral (en milímetros) que corresponde a cada categoría y el rango de cada percentil para el área. Los eventos extremos de precipitación diaria fueron identificados a partir del percentil 95 y 99 que corresponden a las clases de precipitación muy fuerte y extremadamente fuerte, respectivamente.

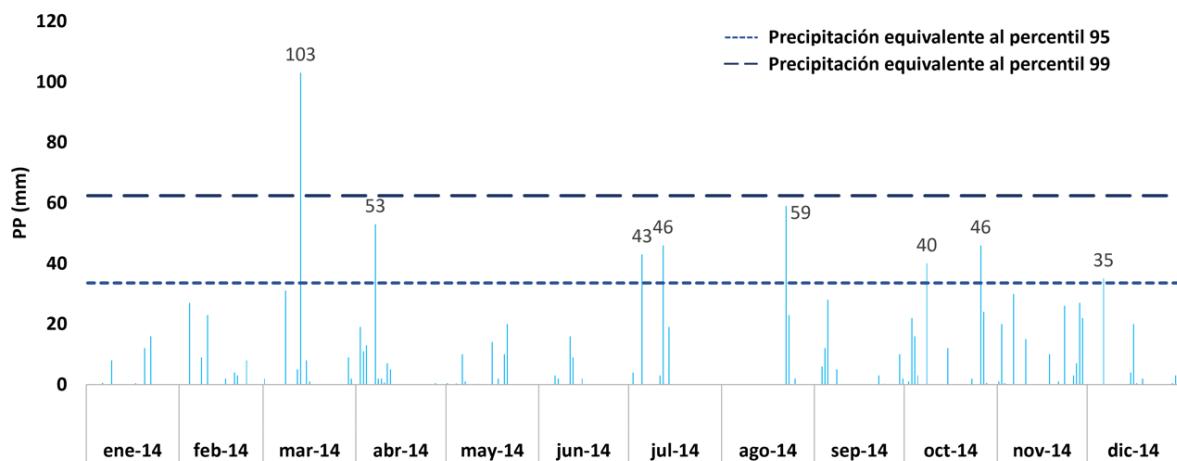
Tabla 1. Clases y umbrales de precipitación según percentil para Coronel Suárez.

RANGO DE PERCENTIL	CLASES DE PRECIPITACIÓN	RANGO DE PRECIPITACIÓN
< 50	Lluvia débil	inferior a 3 mm
≥ 50 - < 80	Lluvia media	mayor o igual a 3 mm y menor a 13,2 mm
≥ 80 - < 95	Lluvia fuerte	mayor o igual a 13,2 mm y menor a 33,5 mm
≥ 95 - < 99	Lluvia muy fuerte	mayor o igual a 33,5 mm y menor a 62,3 mm
≥ 99	Lluvia extremadamente fuerte	mayor o igual a 62,3 mm

Fuente: Elaboración propia.

La distribución temporal de los días con registro de precipitación durante 2014 se puede observar en la figura 3. Se identificaron un total de 244 días del año sin precipitación, 60 días donde la misma fue débil, 32 días donde la lluvia fue moderada y 21 días donde fue fuerte. Para las categorías correspondientes a los percentiles 95 y 99 se identificaron 7 días en los que la misma fue muy fuerte y 1 día donde la lluvia fue extremadamente fuerte respectivamente.

Figura 3. Distribución temporal de días con lluvia en 2014.



Fuente: Elaboración propia con datos del SMN.

Figura 4. Eventos extremos de precipitación en la cuenca del arroyo CMG durante 2014.

EVENTO	MES	PRECIPITACIÓN DIARIA DURANTE EL EVENTO	CLASIFICACIÓN DEL EVENTO (Valor máximo diario registrado - Percentil)	PP ACUMULADA DURANTE EL EVENTO
EVENTO-1	MARZO	12-mar 13-mar 5 103	EXTREMADAMENTE FUERTE (103 mm – percentil 99)	108
EVENTO-2	ABRIL	7-abr 8-abr 9-abr 10-abr 11-abr 12-abr 53 2 2 1 7 5	MUY FUERTE (53 mm – percentil 95)	70
EVENTO-3	JULIO	5-jul 43	MUY FUERTE (43 mm – percentil 95)	43
EVENTO-4	JULIO	9-jul 10-jul 11-jul 12-jul 13-jul 14-jul 0.1 0.1 3 46 0.3 19	MUY FUERTE (46 mm – percentil 95)	68,5
EVENTO-5	AGOSTO	22-agosto 23-agosto 59 23	MUY FUERTE (59 mm – percentil 95)	82
EVENTO-6	OCTUBRE	8-oct 40	MUY FUERTE (40 mm – percentil 95)	40
EVENTO-7	OCTUBRE	26-oct 27-oct 28-oct 46 24 1	MUY FUERTE (46 mm – percentil 95)	71
EVENTO-8	DICIEMBRE	6-dic 35	MUY FUERTE (35 mm – percentil 95)	35

CLASES DE PRECIPITACIONES Débil Media Fuerte Muy fuerte Extremadamente fuerte

Fuente: Elaboración propia.

Con la identificación de los días de lluvia muy fuerte y extremadamente fuerte se establecieron y caracterizaron los eventos extremos de precipitación que se produjeron durante el 2014 en la cuenca (Fig. 4). El primero de ellos ocurrió en marzo (evento-1) y se caracterizó por ser el que presentó mayor registro de precipitación, concentrada mayormente en un día y previo a este y dos días después se registraron precipitaciones débiles. El evento del mes de abril (evento-2) tuvo una duración de 6 días y se caracterizó por un día en el que llovieron 53 mm (categoría muy fuerte) acompañado por días previos y posteriores de lluvia fuerte, media y débil (70 mm acumulados). Durante el mes de julio se identificaron dos eventos (evento-3 y evento-4) ambos de categoría muy fuerte. El primero de ellos se caracterizó por precipitar en un único día 43 mm y el segundo registró, con una semana de diferencia y una duración de 6 días, 68,5 mm acumulados. El evento-5, ocurrido a fines de agosto, registró un único día de lluvia muy fuerte (59 mm) seguido de un día de precipitación fuerte acumulando un total de 82 mm. En el mes de octubre,

ocurrieron dos eventos de categoría muy fuerte (evento-6 y evento-7). El primero de ellos se registró al inicio del mes (acumuló 40 mm en un día) mientras que el segundo ocurrió al final de octubre (acumuló 71 mm en tres días). A su vez, entre estos eventos se produjeron numerosos días con registro de precipitación de categoría débil, media y fuerte. El último evento se produjo en el mes de diciembre (evento-8) que alcanzó la categoría de muy fuerte durante un único día con 35 mm de precipitación.

3.2. Efectos de los eventos extremos de precipitación en la cuenca del CMG

3.2.1. Variaciones en la humedad del perfil del suelo

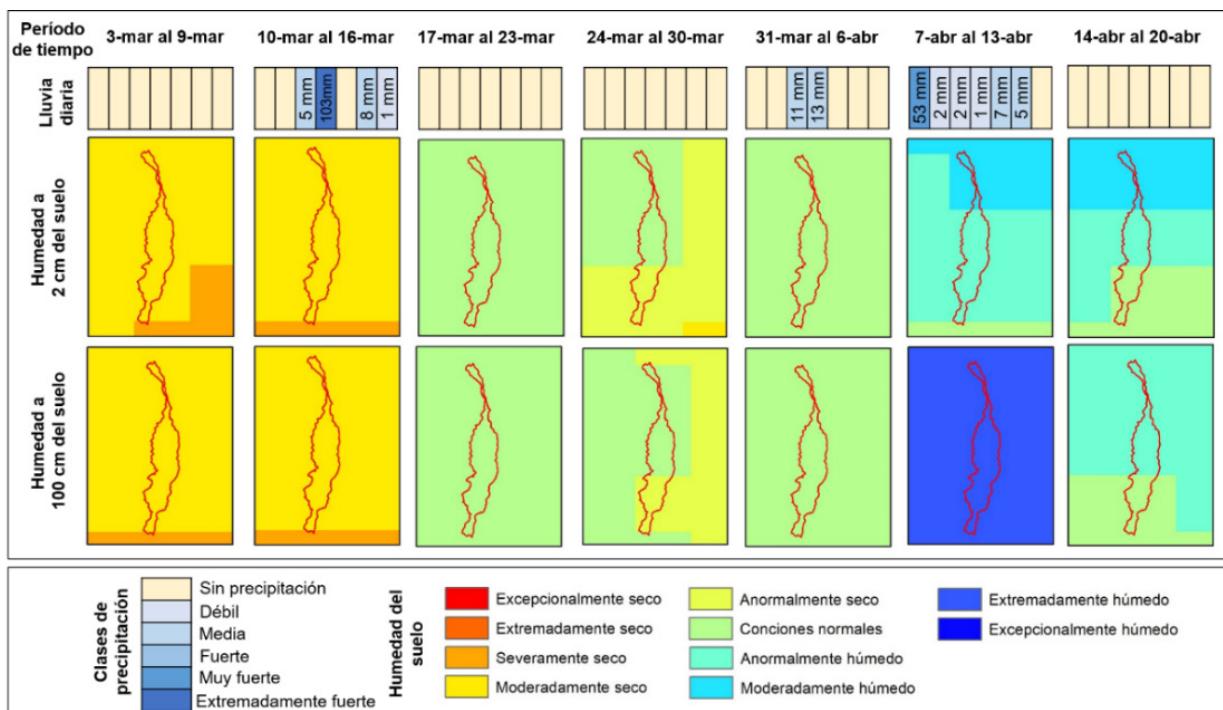
La cuenca baja del arroyo CMG se caracteriza por un relieve predominantemente llano, con gradientes de pendientes muy suaves que no superan el grado de inclinación (Fig. 1). Esta configuración contribuye a su alta susceptibilidad a la ocurrencia de procesos de anegamiento tras eventos de abundante precipitación, por la saturación de suelos y la limitada capacidad de drenaje natural (Jobbág, Nosetto, Santoni, & Baldi, 2008; Scarpati & Capriolo, 2018).

Las actividades agropecuarias, que constituyen la base económica de la región, se ven afectadas durante los eventos extremos de disponibilidad hídrica ya sea en los excesos como en el déficit. En el área de estudio, de Sá Pereira et al. (2021) manifiestan que los cambios en el uso del suelo, como la disminución de pasturas perennes y el aumento de sistemas agrícolas continuos (anuales), han llevado a una pérdida de materia orgánica, afectando negativamente la porosidad del suelo y reduciendo su capacidad de infiltración. En particular, se destaca que estas modificaciones han incrementado la densidad aparente del suelo, aumentado su susceptibilidad a la compactación y reducido la conductividad hidráulica (de Sá Pereira et al., 2021). Estas condiciones también favorecen la acumulación de agua, especialmente durante eventos de precipitación intensa, incrementando la posibilidad de suelos saturados y anegamientos.

El año 2014, representa la alternancia y variación de la precipitación característica del área (Cásado & Campo, 2019) y su consecuente repercusión con el contenido de humedad en el perfil del suelo y la acumulación de agua en superficie. En el inicio del año los productores agropecuarios se vieron afectados por la sequía registrada en 2013 y, por lo tanto, en enero de 2014 fue decretada la Declaración de Emergencia y/o Desastre Agropecuario en los partidos de Saavedra, Coronel Suárez y Guaminí por sequía para el período 01/01/14 al 30/06/14 (Decreto 210/2014 - Decreto 738/2014). Las lluvias que comenzaron en marzo no fueron suficientes para revertir las condiciones. Este evento de gran intensidad (evento-1) no produjo grandes consecuencias a los habitantes ni a sus actividades económicas debido a las condiciones de sequedad que predominaban en el área. A inicios del mes de abril cuando comienzan a registrarse precipitaciones y con la ocurrencia del evento-2, se identifican condiciones de mayor humedad en el suelo.

En la figura 5 se presenta de manera esquemática la humedad del suelo a 2 cm (superficial) y a 100 cm (zona de raíces) de profundidad, para el período 3 de marzo al 20 de abril usando una escala de colores que clasifica las condiciones de humedad, desde excepcionalmente secas (rojo) hasta excepcionalmente húmedas (azul oscuro). En el primer período (3-9 de marzo) no se registraron lluvias, y ambas capas del suelo muestran condiciones más secas. Las zonas están predominantemente en condiciones de sequedad moderada a severa. Durante la semana siguiente se registró el evento-1 de precipitación extremadamente fuerte. En respuesta a dicho evento, es a partir de aquí que ambas capas de suelo muestran condiciones normales de humedad.

Figura 5. Evolución de la precipitación y de las condiciones de humedad del suelo (superficial y de la zona de raíces) durante marzo y abril de 2014.

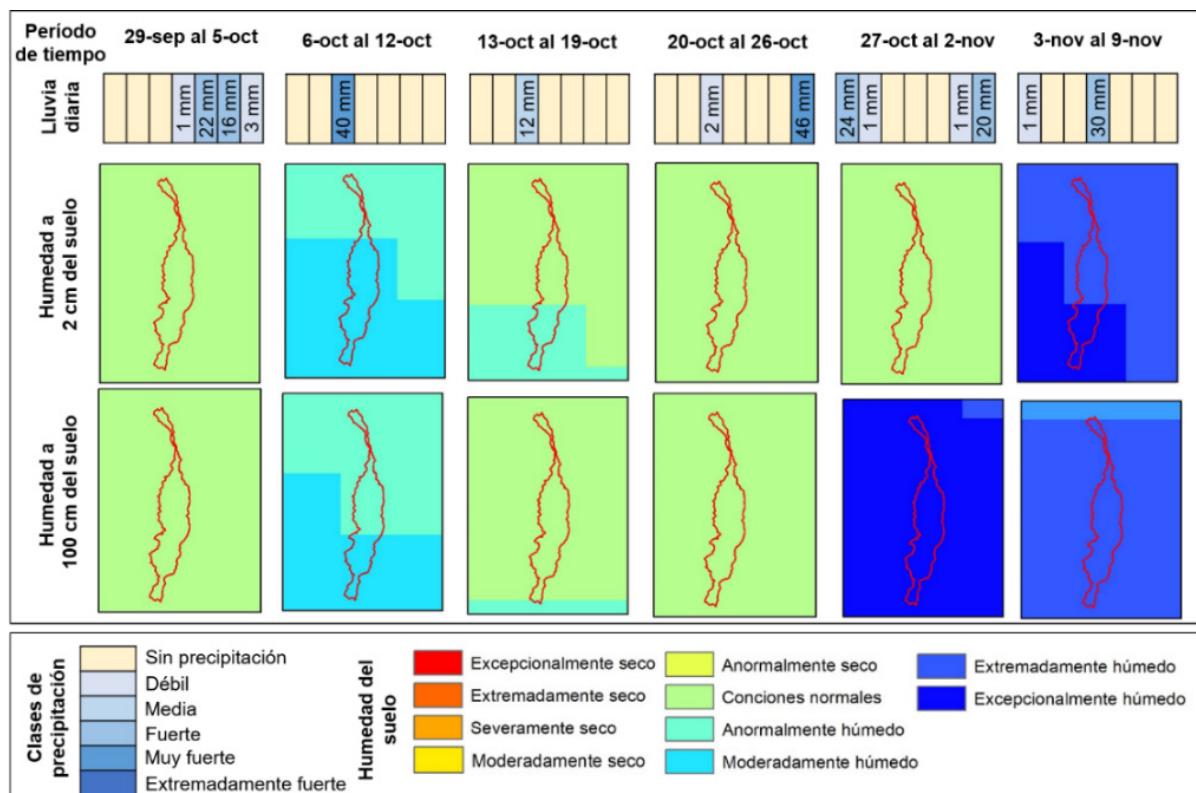


Fuente: Elaborado por los autores en base a datos del SISSA.

En la semana del 7 al 13 de abril se registró el evento-2 (categorizado como muy fuerte). Como resultado, tanto la capa superficial como la zona de raíces mostraron condiciones de humedad notablemente altas. La capa superficial alcanza condiciones extremadamente húmedas sobre la desembocadura de la cuenca y anormalmente húmedas sobre cuenca alta, mientras que la capa de 100 cm presenta condiciones extremadamente húmedas en la cuenca en su conjunto, reflejando el impacto de las lluvias acumuladas en la zona de raíces. Para la semana del 14 al 20 de abril la capa superficial mantiene condiciones moderadamente húmedas a normales, similar a la capa de raíces que presenta áreas con condiciones anormalmente húmedas en el norte y normales en el resto de la cuenca, lo que sugiere que el suelo ha retenido el agua de las precipitaciones de semanas anteriores principalmente sobre la cuenca baja. La serie de la figura 5 muestra cómo la humedad del suelo responde a diferentes eventos de precipitación, tanto en la superficie como en profundidad. En la capa superficial, la respuesta es más rápida, mientras que, en la capa de raíces, los cambios son más graduales y acumulativos.

La figura 6 esquematiza la evolución semanal de la humedad del suelo (superficial y de la zona de raíces) entre finales de septiembre y principios de noviembre de 2014. Incluye el mes de octubre donde se dieron los registros de precipitación más altos y dos de los eventos extremos registrados (evento-6 y evento-7). Desde el inicio, predominan condiciones normales y en ambos niveles de medición de humedad. Sin embargo, las lluvias muy fuertes registradas en las semanas del 6 al 12 de octubre y del 26 de octubre al 6 de noviembre provocaron un aumento progresivo de la humedad, pasando a condiciones anormalmente húmedas, extremadamente y excepcionalmente húmedas hacia finales del periodo, con una respuesta más marcada en la zona de raíces debido a la acumulación de agua en profundidad. Esto refleja la influencia directa de las precipitaciones en el balance hídrico de la cuenca.

Figura 6. Evolución de la precipitación y de las condiciones de humedad del suelo (superficial y de la zona de raíces) entre septiembre y noviembre de 2014.

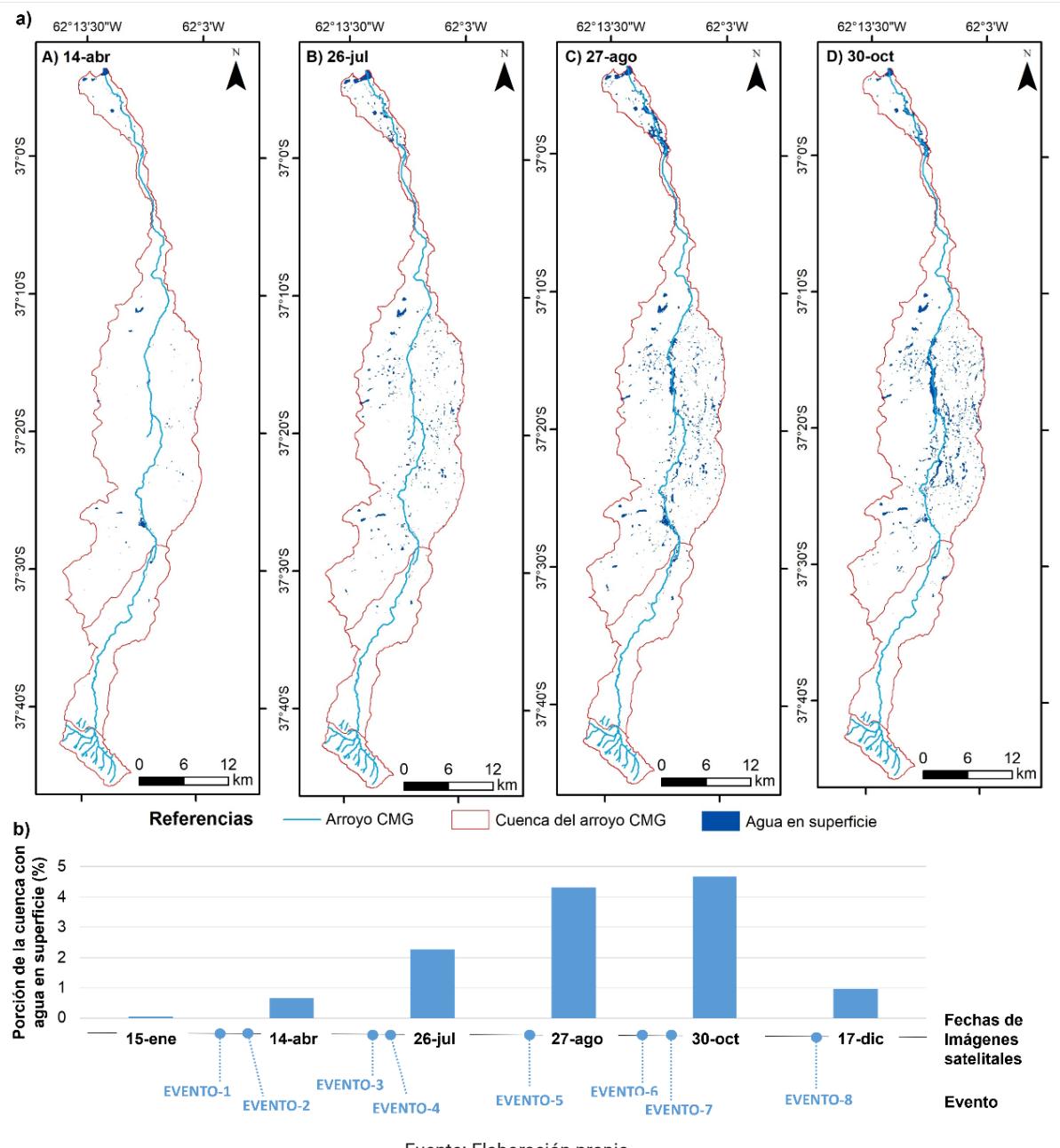


Fuente: Elaborado por los autores en base a datos del SISSA.

3.2.2. Anegamientos y repercusiones sociales y económicas

A partir de la identificación de los eventos extremos de precipitación, se seleccionaron las imágenes del año 2014 de fechas 14 de abril, 26 de julio, 27 de agosto, 31 de octubre y 17 de diciembre de 2014, que corresponden a momentos posteriores a la ocurrencia de los eventos, además de una imagen del 15 de enero, previa a los eventos extremos de precipitación. Del análisis realizado con las imágenes satelitales y el índice mNDWI, se puede afirmar que el agua en superficie aumentó con el acumulado de lluvias entre julio y final de octubre, disminuyendo notoriamente para diciembre de 2014. En la figura 7a se observan los resultados del índice y las superficies cubiertas con agua en fechas de abril, julio, agosto y octubre posteriores a los eventos de lluvias registrados. La mayor cantidad de agua en superficie en la cuenca se observa en las imágenes del 27 de agosto y 30 de octubre. La figura 7b representa la superficie de agua detectada en la cuenca, identificada a partir del índice. Se observa un incremento significativo de la superficie de agua a partir de julio, agosto y octubre, y una disminución notoria en diciembre, lo que evidencia la relación directa entre los eventos de precipitación extrema registrados y la presencia de agua acumulada en la cuenca.

Figura 7. Agua en superficie posterior a los eventos de abril, julio, agosto y octubre de 2014 (a) y proporción de superficie con agua (b) en la cuenca del arroyo CMG.



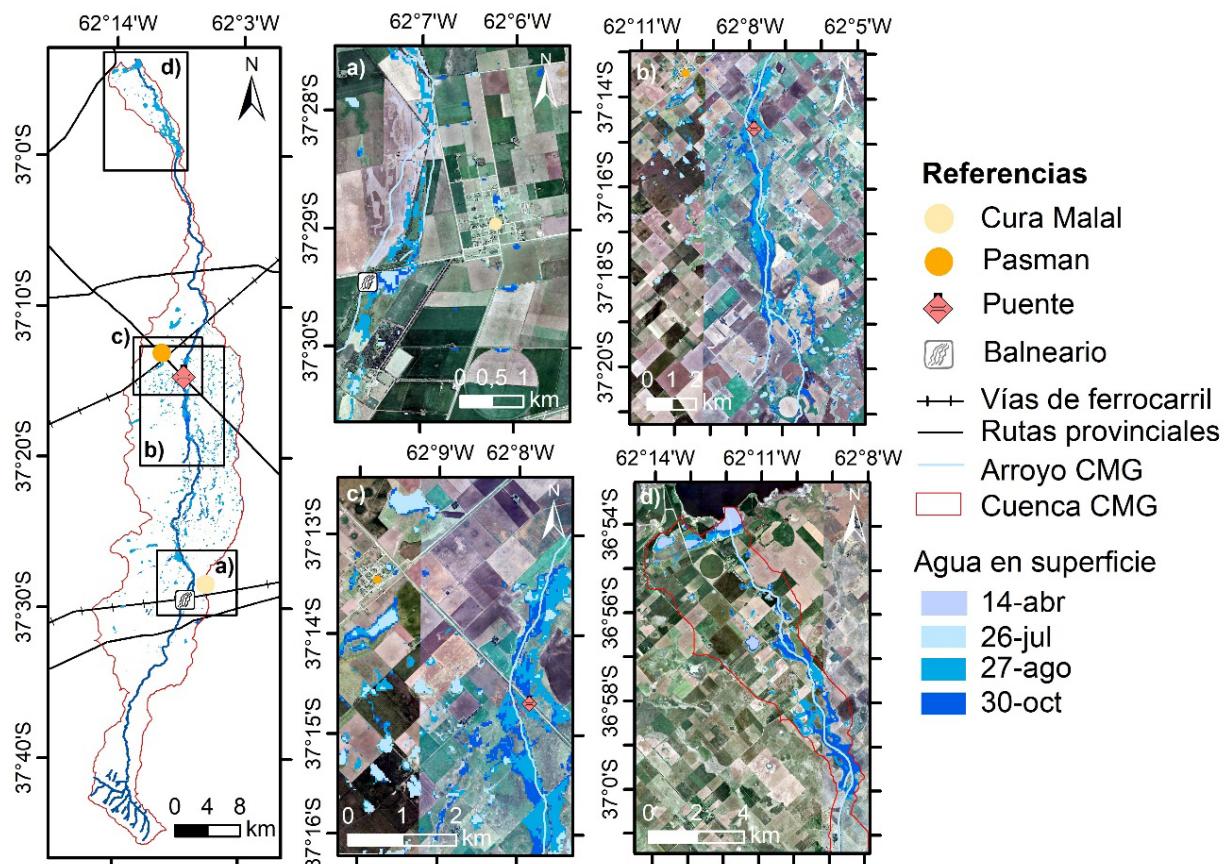
Fuente: Elaboración propia.

El 30 de octubre es la fecha en que la cuenca presenta la mayor cantidad de agua en superficie y equivale a un área total de 32,36 km². La proporción de las áreas anegadas en relación con la superficie de la cuenca puede ser considerada baja. Se destaca que luego de la ocurrencia de cada evento extremo las superficies cubiertas de agua son principalmente las zonas que rodean al arroyo en la parte baja del mismo (Fig. 8). Al mismo tiempo se observaron los caminos rurales como las vías de comunicación más afectadas por anegamiento en todas las fechas posteriores a los eventos, aunque con diferente magnitud. Se destaca el puente de la RP 85, en cercanías de la localidad de Pasman, que sufrió encharcamientos en agosto y octubre. Sobre las localidades, las afectaciones principales también se destacan principalmente durante estas dos últimas fechas y

las zonas periféricas mayormente. El sector del Balneario “Frank Houlder” en Cura Malal, se vio afectado en diferentes grados en todas las fechas de las imágenes estudiadas (Fig. 8).

Respecto de los eventos de precipitación acontecidos, la prensa escrita regional y local reportó estas afectaciones. Para mediados de julio específicamente en Cura Malal, el arroyo desbordó e inundó la localidad: “... el agua avanza rápidamente por las calles del pueblo dejando, incluso, cortado el paso a la Escuela N° 6 de esa localidad. En proximidades del Club Juventud Unida, la escuela, la capilla y el acceso se encontraban bajo agua, con una correntada muy importante que bajaba del arroyo.” (La Nueva, 18/07/2014). El medio local manifestó que “Los vecinos de Cura Malal se sentían preocupados ante la posibilidad de que llegue más agua, mientras podía apreciarse un intenso caudal que avanzaba por la cuneta del camino de tierra que une Coronel Suárez con dicha comunidad rural y que cruzaba por la alcantarilla debajo de la Ruta 85 ingresando a la localidad” (La Nueva Radio Suárez, 16/07/2014). Sobre el mismo evento, en palabras del presidente de la Sociedad Rural de Coronel Suárez: “Cuando se puso a llover en marzo, apenas fue posible levantar una parte de la soja y desde entonces casi no ha parado... la lluvia es constante, lo que hizo que el suelo se terminara saturando y los arroyos que vienen de las sierras desbordaran en una forma que nunca se vio” (Maldonado N., 20/07/2014, El Día).

Figura 8. Sectores de la cuenca del arroyo CMG afectados durante los eventos.



Fuente: Elaboración propia.

Las precipitaciones ocurridas a fin del mes de agosto incrementaron las condiciones de humedad del suelo. En efecto, el 12 de septiembre fue decretada la Emergencia Agropecuaria (Decreto 741/2014) en Coronel Suárez y Guaminí para el período 1/07/14 - 31/10/14 por inundación, dado

los efectos de los excesos hídricos sobre los cultivos y la producción en general. Según Gabriel Foco, de la Bolsa de Cereales y Productos de Bahía Blanca “se espera una primavera que, si bien tendrá registros normales, estos son abundantes. A todo esto, se le suma el hecho de que los suelos están saturados, con mucha humedad (por las precipitaciones de otoño) y eso terminó convirtiéndose en los anegamientos que se están viendo ahora... los partidos más afectados son los de Coronel Dorrego, Coronel Suárez y Coronel Pringles” (Seifert R., 6/09/2014, La Nación).

Se interpreta que los dos eventos ocurridos en octubre (evento 6 y 7) junto a numerosos días no continuos con registro de precipitación de categoría débil, media y fuerte (entre los días 2 al 5 de octubre y el día 15 del mes), fueron los que generaron mayores repercusiones en el área. Todas estas precipitaciones sumadas a las condiciones preexistentes de saturación hídrica agravaron significativamente la situación. Esto se puede relacionar con la acumulación progresiva de humedad en el suelo desde las lluvias ocurridas en otoño e invierno, que dejaron el terreno saturado. En efecto, el director de Vialidad del municipio de Coronel Suárez, César Anastasi, manifestó a los medios en noviembre que “*Los caminos rurales del distrito suarense se encuentran dañados en un 60% y de ellos un 10% requerirá un trabajo más importante... Hay lugares en donde todavía no podemos llegar. Estuvimos en la zona de Cerro Áspido, donde llovió bastante y el agua bajó con mucha velocidad... Los puentes se llenaron de plantas y los vados naturales se vieron socavados. Entre las zonas más afectadas figura la localidad de Cura Malal y sus adyacencias, en donde el agua todavía cubre los caminos.*” (La Nueva, 1/11/2014).

4. Discusión

En el contexto global, numerosos estudios han destacado el impacto creciente de los eventos de precipitación extrema en diversas regiones del mundo debido entre otros factores al cambio climático, que ha intensificado tanto la frecuencia como la magnitud de estos fenómenos (IPCC, 2023). A nivel internacional, la identificación de eventos extremos de precipitación se ha basado en múltiples metodologías. Un enfoque ampliamente aceptado por su adaptabilidad a diferentes contextos climáticos es la utilización de percentiles para definir umbrales críticos. Martínez y Solman (2024), por ejemplo, utilizaron el percentil diario de 95 para caracterizar eventos extremos en el sureste de América del Sur, logrando establecer vínculos entre estos eventos y patrones sinópticos recurrentes que explican su ocurrencia. Por otro lado, Ayugi et al. (2021) aplicaron análisis estadísticos en África Oriental, combinando modelos climáticos y series históricas de precipitación para proyectar aumentos en la magnitud de las precipitaciones máximas probables. Asimismo, Labonté-Raymond et al. (2020) evaluaron las distribuciones estadísticas de eventos extremos en Canadá, subrayando la importancia de incluir variables como la humedad antecedente del suelo para contextualizar los impactos hidrológicos. Estas metodologías han permitido no solo identificar las características de los eventos extremos, sino también evaluar su potencial impacto en las dinámicas hidrológicas y socioeconómicas locales, aportando herramientas clave para la gestión de recursos hídricos.

Los eventos de precipitación identificados en la cuenca del arroyo CMG durante 2014 evidencian condiciones extraordinariamente húmedas en la zona, en línea con lo reportado por estudios previos en la región pampeana sobre episodios extremos. Los resultados muestran que las lluvias intensas de marzo, julio y octubre se alinean con lo reportado por Flores et al. (2016), quienes destacaron un aumento significativo en la frecuencia de eventos que superaron el percentil 90 en la provincia de Buenos Aires durante el mismo año. En particular, el evento de octubre fue uno

de los más significativos, en concordancia con el registro histórico de lluvias intensas en la región durante 2014. Asimismo, Montico et al. (2023) manifiestan que en Coronel Suárez la precipitación diaria mayor al percentil 95 mensual ocurre mayormente durante la primavera, en concordancia con el evento de octubre que fue uno de los más significativos en la región durante 2014.

Según Robledo y Penalba (2008) en su estudio para el período 1961-2000, en la provincia de Buenos Aires las precipitaciones mayores al percentil 75 superaban los 32 mm/día en febrero y marzo, mientras que en julio era inferior a 20 mm/día. La categorización de lluvias a través de percentiles en el área de estudio resalta que el percentil 90 se superó en diversas ocasiones. En otras áreas, el umbral de los 31 mm corresponde al percentil 90 y es considerado extremo, como es el caso de Bahía Blanca (Lambrecht et al., 2022). Esto sugiere que, aunque la metodología de percentiles es útil, su efectividad puede variar en función de las características climáticas locales, lo que justifica la necesidad de adaptar estos umbrales para diferentes regiones. Además, se observa que eventos con acumulados moderados pueden tener impactos significativos debido a condiciones previas de saturación del suelo, destacando la necesidad de considerar el contexto hidrológico antecedente en el análisis de eventos extremos. Lambrecht et al. (2022) concluyen en este mismo sentido. Otros índices de análisis de cambio climático, propuestos por el ETCCDI (Expert Team on Climate Change Detection and Indices) proporcionan una visión general de las estadísticas de temperatura y precipitación (Peterson et al., 2001). En el área de estudio fueron aplicados por Ferrelli et al. (2019) quienes realizaron una regionalización climática del sudoeste bonaerense durante el período 1970-2017, Según estos autores, Coronel Suárez, ubicada en la región Noreste presentó cambios estadísticamente significativos en las temperaturas máximas y mínimas, pero no en la precipitación. Sin embargo, identificaron a toda la región como una zona altamente vulnerable a la variabilidad climática a corto plazo, cuya condición se agrava en dirección norte-sur.

Los datos del 2014 de la humedad del suelo indican condiciones húmedas en diferentes momentos del año siguiendo el registro de la precipitación. Este patrón es consistente con lo descripto por Bohn (2024) así como también es un parámetro que permite analizar procesos relacionados a usos y coberturas del suelo. Debido a esta importancia, se analizó la dinámica espacio-temporal de la humedad superficial del suelo (HSS, quien también identificó 2014 como un año con alta humedad superficial del suelo en el suroeste bonaerense en su conjunto. La relación directa entre la elevada precipitación y el incremento en la humedad del suelo amplifica el peligro de anegamiento, especialmente en áreas con baja capacidad de drenaje.

Finalmente, el análisis mediante imágenes satelitales revela una superficie significativa bajo agua tras los eventos de octubre, comparándose con las 24.200 ha reportados por Marini (2014) para el partido de Coronel Suárez. La detección satelital permitió mapear áreas críticas de acumulación hídrica. La integración de datos satelitales, que contribuye en una mejor comprensión de los patrones de anegamiento, junto con el desarrollo de modelos hidrológicos y climáticos para la implementación de sistemas de alerta temprana, constituyen líneas futuras concretas para la gestión del recurso hídrico en la cuenca.

5. Conclusiones

Durante el año 2014, en la cuenca del arroyo Cura Malal Grande se registraron precipitaciones que superaron umbrales críticos, resultando en la acumulación de agua superficial y en impactos derivados significativos. La configuración del relieve de la cuenca, con predominancia de áreas

planas con pendientes muy bajas, la hace susceptible a la acumulación de agua tras eventos extremos de precipitación. Las áreas dedicadas a la agricultura y ganadería, junto con la infraestructura de caminos rurales, se vieron particularmente afectadas durante dichos eventos.

El análisis del SPEI a escala de 6 meses mostró una transición clara de condiciones extremadamente secas a finales de 2013 e inicios de 2014, hacia un período de alta humedad entre julio y noviembre del mismo año. Esto refleja la variabilidad climática característica de la región pampeana, donde la alternancia de períodos secos y húmedos condiciona la respuesta hidrológica de las cuencas hidrográficas. Los eventos de lluvia en un contexto de suelo previamente seco, como el ocurrido en marzo, no generaron acumulación significativa de agua superficial, mientras que los eventos de julio y octubre, en suelos ya saturados, exacerbaron los anegamientos.

Además, el uso combinado de datos satelitales y análisis de precipitación demostró ser eficaz para caracterizar cada evento e identificar áreas propensas a anegamientos. El índice mNDWI permitió cuantificar la extensión del agua superficial durante cada uno de los eventos estudiados, proporcionando una herramienta valiosa para el monitoreo de anegamientos en cuencas de llanura.

Este estudio contribuye al entendimiento de la dinámica hidrológica en cuencas de llanura. Desde el punto de vista de la gestión de recursos hídricos, los hallazgos permiten comprender cómo los períodos secos y húmedos, junto con las condiciones de saturación del suelo, condicionan la respuesta de las cuencas ante lluvias extremas. Además, la detección precisa de áreas afectadas, junto con la identificación de patrones recurrentes de acumulación de agua, puede orientar la adopción de estrategias y la planificación para mitigar los efectos. Dada la tendencia hacia eventos extremos más frecuentes, será necesario desarrollar medidas de adaptación que consideren estas dinámicas para reducir los impactos en la región. La metodología adoptada y los hallazgos obtenidos proporcionan herramientas y conocimientos que pueden ser adaptados a cuencas de llanura con características hidrológicas similares, tanto en la región pampeana y otras áreas del mundo con características hidrológicas comparables.

Bibliografía

- Ameghino, F. (1884). *Las secas y las inundaciones en la Provincia de Buenos Aires* (Quinta edi). La Plata: Ministerio de Asuntos Agrarios de la provincia de Buenos Aires.
- Ayugi, B., Zhihong, J., Zhu, H., Ngoma, H., Babaousmail, H., Rizwan, K., & Dike, V. (2021). Comparison of CMIP6 and CMIP5 models in simulating mean and extreme precipitation over East Africa. *International Journal of Climatology*, 41(15), 6474–6496. <https://doi.org/10.1002/joc.7207>
- Bohn, V. Y. (2024). Variabilidad espacio-temporal de la humedad superficial del suelo en el sur de la llanura pampeana argentina. *Investigaciones Geográficas*, (82), 85–104. <https://doi.org/10.14198/INGEO.25373>
- Bohn, V. Y., Piccolo, M. C., & Perillo, G. M. E. (2011). Análisis de los períodos secos y húmedos en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista de Climatología*, 11(May 2014), 31–43.
- Briceño, N., Entraigas, I., & Scioli, C. (2019). Hidrodinámica de una cubeta de deflación característica de la Pampa Deprimida. *Congreso de Ecología y Manejo de Ecosistemas Acuáticos Pampeanos*, 50–52. Azul, Buenos Aires, Argentina: IHLLA y Ecosistemas.
- Campo, A., Gentili, J., Volonté, A., & Duval, V. (2011). Inventario de eventos climáticos - meteorológicos extremos. Suroeste bonaerense (1995 - 2010). *Párrafos Geográficos*, 10(1), 102–115.
- Campo, A. M., Ramos, M. B., & Zapperi, P. A. (2009). Análisis de las variaciones anuales de precipitación en el Suroeste Bonaerense, Argentina. *XII Encuentro de Geógrafos de América Latina*, 1–12. Montevideo, Uruguay.
- 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. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v58i1.6751>

- Casado, A. L., Berón de la Puente, F. J., & Gil, V. (2024). Series de precipitación global: implicancias para el estudio de eventos extremos en áreas serranas. *FACENA*, 34(2), 82–103. <https://doi.org/10.30972/fac.3427735>
- Contreras, F. I., Zurita, C., Smichowski, H., Diaz, A. A., Petkiebich, S. A., Kalafattich, S., & Gómez, C. V. (2022). Comparación de la recurrencia y severidad de la variabilidad climática en los extremos oriental y occidental de la provincia de Formosa (Rep. Argentina). *Revista Senderos*, 3(1), 28–41.
- Dangavs, N. (2005). Los ambientes acuticos de la Provincia de Buenos Aires. *Relatorio Del XVI Congreso Geológico Argentino*, 219–236. La Plata, Argentina.
- de Sá Pereira, E., Arroguy, G., Quiroga, A., Álvarez, C., Fernández, R., & Galantini, J. A. (2021). Cambios en propiedades fisico-hídrica de suelos pertenecientes a una microcuenca del arroyo Sauce Corto en la pampainter-serrana subhúmeda Argentina. In *Agrárias: Pesquisa e Inovação nas Ciências que Alimentam o Mundo: Vol. V* (pp. 40–54). Brasil: Editora Artemis. https://doi.org/10.37572/EdArt_2904213473
- Deschamps, J. R., Otero, O., & Tonni, E. P. (2003). *Cambio climático en la pampa bonaerense: las precipitaciones desde los siglos XVIII al XX*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- Donat, M. G., Lowry, A. L., Alexander, L. V., O'Gorman, P. A., & Maher, N. (2016). More extreme precipitation in the world's dry and wet regions. *Nature Climate Change*, 6(5), 508–513. <https://doi.org/10.1038/nclimate2941>
- Ferrelli, F., Brendel, A. S., 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). *Geographical Research Letters*, 45(1), 393–416. <https://doi.org/10.18172/cig.3707>
- Ferrelli, Federico, Brendel, A. S., Cintia, M., & Perillo, E. (2020). Tendencia actual y futura de la precipitación en el sur de la Región Pampeana (Argentina). *Investigaciones Geográficas*, (102), 17. <https://doi.org/dx.doi.org/10.14350/rig.59919>
- Fertonani, M., & Prendes, H. (1983). Hidrología en áreas de llanura. Aspectos conceptuales, teóricos y metodológicos. *Coloquio Internacional Sobre Hidrología de Grandes Llanuras*, 119–156. Olavarría, Buenos Aires: Actas del Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras, Volumen I.
- Flores, K., Marcora, M. G., & Ferreira, L. (2016). Evaluación estadística y climatológica de series pluviográficas en Argentina. *V Taller Sobre Diseño Hidrológico*, 2. Salta.
- Flores, K., Skansi, M. de los M., Poggi, M. M., Garay, N., & Veiga, H. (2024). *Métodos propuestos para la evaluación de datos de precipitación medidos en estaciones automáticas*. Buenos Aires, Argentina.
- Garcés-Gálvez, J. J., Geraldí, A., & Medina-Tapia, M. (2024). Exploring climate variability in the Mataquito river basin of the Maule Region, Chile: a spectral analysis approach. *Interciencia*, 49(5), 300–304. <https://doi.org/0378-1844/14/07/468-08>
- Gentili, J. O. (2012). *Hidrografía del arroyo Sauce Corto aplicada al estudio de inundaciones y anegamientos*. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca.
- 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(2), 147–166.
- Gentili, J. O., Zapperi, P. A., Gil, V., & Campo, A. M. (2013). Eventos extremos en el sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Diseño preliminar de una base de datos. *14o Encuentro de Geógrafos de América Latina - Peru 2013 "Reencuentro de Saberes Territoriales Latinoamericanos" - Eventos Extremos En El Sur de La Provincia de Buenos Aires, Argentina. Diseño Preliminar de Una Base de Datos*, 1–11. Lima, Perú.
- George, J., & Athira, P. (2020). Long-term changes in climatic variables over the Bharathapuzha river basin, Kerala, India. *Theoretical and Applied Climatology*, 142, 269–286. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03255-8>
- Gil, V. (2010). *Hidrogeomorfología de la cuenca alta del río Sauce Grande aplicada al peligro de crecidas*. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca.
- Guillén-Oviedo, H., Cid-Serrano, L. R., & Alfaro-Martínez, E. J. (2020). Comparison of parameters of the generalized extreme value distribution associated with extreme rainfall events in Central America. *Uniciencia*, 34(1), 111–128. <https://doi.org/10.15359/ru.34-1.7>
- Henrández Lozano, R., & Pavón, N. (2024). Índices para el monitoreo de cuerpos de agua usando sensores remotos. *Acta Universitaria*, 34, 1–19. <https://doi.org/10.15174/au.2024.3814>
- Herrera, E., Magaña, V., & Morett, S. (2018). Relación entre eventos extremos de precipitación con inundaciones. Estudio de caso: Tulancingo, Hidalgo. *Nova Scientia*, 10(21), 191–206. <https://doi.org/10.21640/ns.v10i21.1527>
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2018). Anexo I: Glosario. In *Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 oC con respecto a los niveles prein-*

- dustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto i (Vol. 11, pp. 1-14).
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In *Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023*. Geneva, Switzerland. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
 - Jobbág, E. G., Nosetto, M. D., Santoni, C. S., & Baldi, G. (2008). El desafío ecohidrológico de las transiciones entre sistemas leñosos y herbáceos en la llanura chaco-pampeana. *Ecología Austral*, 18(3), 305-322.
 - Khalifeh Soltanian, F., Abbasi, M., & Riyahi Bakhtyari, H. R. (2019). Flood monitoring using ndwi and mndwi spectral indices: A case study of aghqala flood-2019, Golestan Province, Iran. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(4/W18), 605-607. Karaj, Iran. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W18-605-2019>
 - Labonté-Raymond, P. L., Pabst, T., Bussière, B., & Bresson, É. (2020). Impact of climate change on extreme rainfall events and surface water management at mine waste storage facilities. *Journal of Hydrology*, 590, 11. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125383>
 - Lambrecht, Y. B., Montico, A., Picone, N., & Gil, V. (2022). Hacia una definición de evento extremo de precipitación: El caso de Bahía Blanca. *XII Jornadas Patagónicas de Geografía; II Congreso Internacional de Geografía de La Patagonia Argentino-Chilena: Transformaciones Socio-Territoriales, Complejidades e Incertidumbres*. Comodoro Rivadavia, Argentina: Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco; Instituto de Investigaciones Geográficas de la Patagonia; Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco; Instituto de Investigaciones Geográficas de la Patagonia;
 - Marini, F. (2014). *Anegamientos en los partidos de Coronel Pringles y Coronel Suárez . Análisis con imágenes satelitales MODIS*.
 - Martinez, D. M., & Solman, S. (2024). Detecting the occurrence of extreme precipitation events in Southeastern South America from synoptic-scale patterns. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-5219584/v1>
 - Mastrandrea, A., & Angeles, G. R. (2024). Evaluación del riesgo hídrico en la cuenca del arroyo Napostá Grande (provincia de Buenos Aires, Argentina). *Cuadernos Geográficos*, 63(1), 199-219. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v63i1.26111>
 - Mastrandrea, A., & Bohn, V. (2023). Rainfall extreme events and socio-physical effects on a temperate hydrographic basin in Argentina. *Research Square*, 1-14. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2591653/v1> License:
 - McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425-1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
 - Mercau, J. L., Jobbagy, E. G., Viglizzo, E., Menendez, A., Di Bella, C., Bert, F., ... Murray, F. (2013). Sequía e inundación en la hiperllanura pampeana. Una mirada desde el lote al municipio. *Rev. Agronomía & Ambiente*, 33(2), 71-77.
 - Monachesi, A. (1995). Las inundaciones en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina: un problema de actores y estrategias. *Desastres y Sociedad*, 5(3), 21-28.
 - Montico, A., Lambrecht, Y. B., & Zapperi, P. A. (2023). Percepción de los eventos extremos pluviométricos y crecidas en el partido de Tornquist (provincia de Buenos Aires, República Argentina). *Contribuciones Científicas GAEA*, 35, 71-83.
 - Moretto, B., Gentili, J., Ortúñoz-Cano, M., & Campo, A. (2019). El agua: recurso y peligro. Análisis normativo-institucional para la vertiente norte del Sistema de Ventania (Argentina). *Geográfica Digital*, 16(31), 29-45. <https://doi.org/10.30972/geo.16313598>
 - Moretto, Belén, Ortúñoz-Cano, M. de los Á., & Gentili, J. O. (2023). Análisis de la gestión de riesgos asociados a extremos hídricos en dos cuencas hidrográficas del suroeste bonaerense (Rep. Argentina). *Contribuciones Científicas GAEA*, 35(2), 84-93.
 - Ortúñoz-Cano, M. de los Á., & Gentili, J. O. (2022). Influência de fatores físicos no padrão fluvial e setorização da bacia do cura influence of physical factors on the fluvial pattern and sectorization of the Cura Malal Grande basin (Argentina). *Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia*, 20(3), 241-263. <https://doi.org/10.5016/estgeo.v20i3.16753>
 - Ortúñoz-Cano, M., Gentili, J., Moretto, B., & Campo, A. (2019). Eventos de exceso hídrico en la prensa escrita (Sistema de Ventania, Argentina). *Boletín Geográfico*, 1(41), 53-75.

- Paredes, P., Maglione, D., Sandoval, M., Soto, J., Bonfili, O., & Humano, G. (2022). Relación entre índices de sequía usando datos meteorológicos y satelitales, en la estepa magallánica seca (Patagonia). *Revista de Investigación En Modelos Financieros*, 11(I), 45–62. [https://doi.org/10.56503/rimf/Vol.1\(2022\)/2338](https://doi.org/10.56503/rimf/Vol.1(2022)/2338)
- Pereyra, F., & Ferrer, J. (1995). Geomorfología del flanco nororiental de las Sierras Australes, provincia de Buenos Aires. *IV Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses*, 239–247. Junin: Universidad Nacional de la Plata.
- Pérez-Ortiz, M. A., Montenegro-Murillo, D. D., & Vargas-Franco, V. (2022). Análisis de la influencia de la variabilidad climática en la precipitación de la cuenca del río Cali, Colombia. *Revista DYNA*, 89(221), 168–177. <https://doi.org/10.15446/dyna.v89n221.101607>
- Peterson, T. C., Folland, C. 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 1998–2001. In *World Meteorological Organization*. Genova.
- Robledo, F. A., & Penalba, O. C. (2008). Análisis estacional de la frecuencia diaria y la intensidad de los extremos de precipitación sobre el sudeste de Sudamérica. *Meteorológica*, 32(1), 31–49.
- Saucedo, M., Campetella, C., Cejas, A., Cerrudo, C., López Amorín, I., & Luis Stella, J. (n.d.). Definición de umbrales meteorológicos para el nuevo sistema de alertas del SMN Noviembre 2021. In *Nota Técnica SMN*.
- Scarpati, O. E., & Capriolo, A. D. (2013). Sequías e inundaciones en la provincia de Buenos Aires (Argentina) y su distribución espacio-temporal. *Investigaciones Geográficas*, (82), 38–51. [https://doi.org/10.1016/S0188-4611\(13\)72785-7](https://doi.org/10.1016/S0188-4611(13)72785-7)
- Scarpati, O. E., & Capriolo, A. D. (2018). Evolución del exceso de agua edáfica anual en la Región Pampeana (Argentina). *Estudios Geográficos*, LXXIX, 375–395. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201814>
- Scordo, F., Piccolo, M. C., & Perillo, G. M. E. (2018). Aplicación del Índice de Precipitación Evapotranspiración Estandarizada (SPEI) para identificar períodos húmedos y secos en la patagonia andina y extra andina Argentina. *Geociências*, 37(2), 423–436.
- Sierra, E. M., Fernandez Long, M. E., & Bustos, C. (1994). Cronología de inundaciones y sequias en el noreste de la provincia De Buenos Aires. *Rev. Facultad de Agronomía*, 14(3), 241–249.
- Sun, Y., Zhang, W., Peng, H., Zhou, F., Jiang, A., Chen, X., & Wang, H. (2023). The impacts of climate change on the hydrological process and water quality in the Three Gorges Reservoir area, China. *Water*, 15(8), 1–20. <https://doi.org/10.3390/w15081542>
- Tricart J. L. (1973). *Geomorfología de la Pampa Deprimida como base para los estudios edafológicos y agronómicos*. Buenos Aires: INTA.
- Vázquez, P. M., Cabria, F. N., Rojas, M. del C., & Calandroni, M. B. (2009). Riesgo de anegamiento: estimaciones para la cuenca baja del río Salado. *CI. Suelo (Argentina)*, 27(2), 237–246.
- Vercelli, N., Varni, M., Lara, B., Entraigas, I., & Ares, M. G. (2019). Linking soil water balance with flood spatial arrangement in an extremely flat landscape. *Hydrological Processes*, 34(1), 21–32. <https://doi.org/10.1002/hyp.13567>
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Volonté, A. (2017). *Geomorfología fluvial aplicada al peligro de crecidas. Cuenca del arroyo San Bernardo, Sistema de Ventania, Argentina*. Universidad Nacional del Sur.
- Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025–3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>
- Zapperi, P. A., Ramos, M. B., Gil, V., & Campo, A. M. (2007). Caracterización de las precipitaciones estivales en el Suroeste bonaerense. *Contribuciones Científicas GAEA*, 19.

Financiación

Este trabajo fue financiado por los PGI-UNS “Geografía Física Aplicada al estudio de la interacción sociedad-naturaleza. Problemáticas ambientales a diferentes escalas témporo-espaciales” (24/G092) y “Climatología y planificación urbana: aportes para la construcción de ciudades sostenibles y resilientes” (24/ZG33). Asimismo, se agradece al Servicio Meteorológico Nacional por la provisión de los datos de precipitación para la realización del presente estudio.