

IMPACTO DE EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS SOBRE EL CAUDAL DIARIO DE UN RÍO DE LA REGIÓN PAMPEANA (ARGENTINA)

IMPACTS OF RAINFALL EVENTS ON A DAILY RIVER FLOW LOCATED IN PAMPAS (ARGENTINA)

IMPACTO DE EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS NO FLUXO DIÁRIO DE UM RIO NA REGIÃO PAMPEANA DA ARGENTINA

Andrea Soledad Brendel

Doctora en Geografía y becaria Posdoctoral del Instituto Argentino de Oceanografía (IADO), Universidad Nacional del Sur (UNS)-CONICET, Bahía Blanca-Argentina. Docente del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur (UNS), Bahía Blanca, Argentina. asbrendel@iado-conicet.gob.ar / <http://orcid.org/0000-0002-0909-4694>

Federico Ferrelli

Doctor en Geografía. Instituto Argentino de Oceanografía (IADO), Universidad Nacional del Sur (UNS)-CONICET, Bahía Blanca-Argentina. Docente del Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur (UNS), Bahía Blanca, Argentina. fferrelli@criba.edu.ar / <http://orcid.org/0000-0002-5623-8929>

María Cintia Piccolo

Doctora en Oceanografía. Instituto Argentino de Oceanografía (IADO), Universidad Nacional del Sur (UNS)-CONICET, Bahía Blanca-Argentina. Profesora Emérita del Departamento de Geografía y Turismo de la Universidad Nacional del Sur (UNS). ofpiccol@criba.edu.ar / <http://orcid.org/0000-0002-5184-9149>

Gerardo Miguel Eduardo Perillo

Doctor en Oceanografía. Instituto Argentino de Oceanografía (IADO), Universidad Nacional del Sur (UNS)-CONICET, Bahía Blanca-Argentina. Profesor Consulto del Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur (UNS). gmeperillo@criba.edu.ar / <http://orcid.org/0000-0002-1200-5138>

Recenido: 23/06/2020; Aceito: 02/02/2021; Publicado: 29/06/2021.

RESUMEN

El estudio de eventos meteorológicos extremos a corto plazo permite detectar la intensidad y magnitud de la variabilidad pluviométrica con alta precisión. En este contexto, los objetivos de esta investigación fueron i) analizar la variación espacio-temporal del caudal del río Sauce Grande utilizando datos en alta frecuencia y ii) detectar y evaluar diferentes momentos de crecida del río para verificar si el flujo del río responde a la irregularidad de las precipitaciones durante el período diciembre 2016-marzo 2018. La metodología incluyó el cálculo de seis índices pluviométricos diarios, clasificados según la intensidad de las precipitaciones y su relación con el caudal diario del río. Se realizaron campañas de aforo y se midió el caudal del río en alta frecuencia, con un intervalo de 10 minutos. Además, se realizaron hidrogramas en diferentes momentos de crecida del río y se procesaron imágenes satelitales Landsat 8 de días posteriores a las precipitaciones de diferente intensidad con el objetivo de detectar las áreas de mayor vulnerabilidad hidrológica. El área de

estudio presentó una marcada variabilidad pluviométrica diaria que se vio reflejada en el caudal del río alcanzando su máximo bajo precipitaciones extremas. Las áreas de mayor vulnerabilidad hidrológica se localizaron sobre el NW de la laguna Sauce Grande, en la barrera medanosa Austral y en cercanías de la descarga del río Sauce Grande en el Océano Atlántico. Esta investigación aporta información esencial para los diferentes actores sociales y los tomadores de decisiones, dado que sirven de base para el diseño de políticas destinadas a preservar el ambiente y garantizar la permanencia de las actividades económicas de la cuenca.

Palabras clave: Monitoreo en Alta Frecuencia; Río de Llanura; Cuenca Inferior Río Sauce Grande; Imágenes Landsat.

ABSTRACT

The study of short-term extreme meteorological events allows detecting the intensity and magnitude of the rainfall variability with high precision. The objective of this study is twofold. On the one hand, we analyzed the spatial and temporal variations in the Sauce Grande river flow using high-frequency data. Moreover, we detected and assessed different increased river flow moments to verify if this flow directly responds to the rainfall variability during December 2016 – March-2018 to evaluate the effects of rainfall variability on the Sauce Grande River's daily flow (southern of Pampas Region, Argentina) between December 2016 and March 2018. The methodology included calculating six daily rainfall indices, classified according to the intensity of the precipitations and its relation with the river's daily flow. Gauging campaigns were carried out, and the river's flow was measured in high frequency (10 min). Besides, hydrographs were carried out at different times of the river's rise. Landsat 8 satellite images were processed for days after the rainfall of varying intensity to detect the most significant hydrological vulnerability areas. The study area presented a marked daily rainfall variability reflected in the river flow, reaching its maximum under extreme rainfall. The areas of greatest hydrological vulnerability were located on the NW of the Sauce Grande lagoon, on the southern dunes barrier, and near the Sauce Grande River's discharge into the Atlantic Ocean. This research provides essential information for the different social actors and decision-makers since they serve as the basis for the design of policies aimed at preserving the environment and guaranteeing the permanence of the basin's economic activities.

Keywords: High-frequency Measurements; Plains River; Lower Part of The Sauce Grande River Basin; Landsat Images.

RESUMO

O estudo de eventos meteorológicos extremos de curto prazo permite detectar com alta precisão a intensidade e magnitude da variabilidade da precipitação. O objetivo deste estudo é duplo. Por um lado, analisamos as variações espaciais e temporais na vazão do rio Sauce Grande (sul da Região dos Pampas, Argentina), usando dados de alta frequência. Além disso, detectamos e avaliamos diferentes momentos de aumento do fluxo do rio para verificar se este fluxo responde diretamente à variabilidade da chuva entre dezembro de 2016 e março de 2018. A metodologia incluiu o cálculo de seis índices pluviométricos diários, classificados de acordo com a intensidade das precipitações e sua relação com a vazão diária do rio. Foram realizadas medições da vazão do rio em alta frequência (10 min). Além disso, foram realizados hidrogramas em diferentes momentos da nascente do rio. As imagens do satélite Landsat 8 foram processadas por dias após a chuva de intensidade variável para detectar as áreas de vulnerabilidade hidrológica mais significativas. A área de estudo apresentou uma acentuada variabilidade diária da precipitação refletida na vazão do rio, atingindo seu máximo sob chuvas extremas. As áreas de maior vulnerabilidade hidrológica localizavam-se no NW da lagoa Sauce Grande, na barreira de dunas sul, e próximo ao deságue do Rio Sauce Grande no Oceano Atlântico. Esta pesquisa fornece informações essenciais para os diferentes atores sociais e tomadores de decisão, uma vez que servem de base para o desenho de políticas que visam preservar o ambiente e garantir a perenidade das atividades econômicas da bacia.

Palavras-chave: Medições de Alta Frequência; *Río de Llanura*; Baixo Curso da Bacia do Rio Sauce Grande; Imagens Landsat.

INTRODUCCIÓN

El estudio de la precipitación, principalmente las extremas, constituye uno de los elementos fundamentales del clima, dadas las diversas consecuencias ambientales y sociales que generan, tales como inundaciones, erosión del suelo, pérdida de biodiversidad, entre otros (SCHOLZ et al., 2008; ZHENG et al., 2017; BRENDEL et al., 2017). Su análisis diario permite detectar la intensidad y magnitud de la variabilidad pluviométrica con alta precisión (FERRELLI et al., 2019). En la llanura pampeana argentina, la cantidad e intensidad de las precipitaciones, el relieve escasamente ondulado y los suelos hidromorfos de muy baja permeabilidad son los principales factores que generan las recurrentes inundaciones a la cual está sujeta esta región (VÁZQUEZ et al., 2011).

La alternancia de años secos y húmedos es un fenómeno típico de esta área, que la afecta mediante la ocurrencia de inundaciones y sequías (SCARPATI y CAPRIOLO, 2013). Los excesos hídricos se traducen en áreas anegables y en numerosas ocasiones afectan a la población, sus actividades económicas y las coberturas del suelo (NOSETTO et al., 2012; FERRELLI, 2017). En este sentido, la detección de las áreas de mayor vulnerabilidad hidrológica cobra importancia en la actualidad, dado que los modelos climáticos proyectan variaciones en la intensidad de las precipitaciones (FERNÁNDEZ et al., 2016). Según el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 2013), la magnitud y la frecuencia de las precipitaciones extremas se incrementarán en el futuro, aún en aquellas regiones en donde la precipitación no ha presentado cambios significativos. Por lo tanto, el conocimiento sobre las áreas de mayor exposición hidrológica puede ser valioso para los responsables de la toma de decisiones y para el manejo integrado de los recursos hídricos (FERNÁNDEZ et al., 2016; BOHN y PICCOLO, 2020).

El procesamiento de imágenes satelitales Landsat ha facilitado el análisis y el monitoreo de las áreas cubiertas por agua ante eventos de precipitación de diferente magnitud en distintas cuencas hidrográficas del mundo, dada su alta resolución espacial y temporal y la cobertura y calidad de datos (KOLIOS y STYLIOS, 2013; SAKAI et al., 2018). Existen distintos tipos de mapas de vulnerabilidad hidrológica, por ejemplo, aquellos que representan las áreas inundadas ante un evento de inundación específico, mapas de áreas potencialmente inundables, mapas de áreas o puntos anegados durante inundaciones históricas, entre otros (VOLONTÉ, 2018).

El estudio del caudal de un río es fundamental para comprender la dinámica y variabilidad de la escorrentía y para conocer la respuesta del flujo a las precipitaciones con diferente nivel de intensidad (CARBONE et al., 2006). Además, el conocimiento de su

dinámica espacio-temporal y la respuesta frente a un evento de precipitación extrema es fundamental dado que periódicamente provocan inundaciones que generan daños severos en la economía y la población (VOLONTÉ, 2018). En este sentido, adquiere importancia el monitoreo de los cursos de agua en alta frecuencia, dado que permite la recolección, comparación y análisis continuo y periódico de información meteorológica y limnológica, fundamentales para el manejo y gestión de los recursos hídricos (ATKINS et al., 2003). Además, permite obtener un mayor volumen de datos y cobertura espacial que las realizadas con técnicas de muestreo convencional que suelen ser mensuales o estacionales (HAMILTON et al., 2015) y hacen posible la medición de parámetros en lugares inaccesibles (PORTER et al., 2009).

Las mediciones en alta frecuencia ha permitido estimar la carga de nutrientes en tres cuencas hidrográficas de Reino Unido ante un evento de crecida (OUTRAM et al., 2014), monitorear el material particulado en suspensión y los contaminantes que se transportan desde las áreas continentales hacia el mar con mayor precisión en la cuenca del río Ródano (Francia) (POULIER et al., 2019), analizar la frecuencia de inundación en la cuenca del río Sava (Eslovenia) (BEZAK et al., 2016), entre tantos otros ejemplos. Los estudios hidrológicos y meteorológicos en la cuenca del río Sauce Grande (sur de la Región Pampeana, Argentina), se han centrado en su mayoría sobre la cuenca alta (p. ej., GIL, 2009; GASPARI et al., 2012; CASADO et al., 2016; VOLONTÉ, 2018; CASADO y CAMPO, 2019). Sin embargo, no se han realizado investigaciones que utilicen información hidrológica en alta frecuencia sobre el sector medio e inferior de la cuenca del río Sauce Grande, considerando el arroyo Las Mostazas como principal afluente. Su aplicación permitiría conocer con mayor precisión la dinámica espacial y temporal de los recursos hídricos y las áreas inundables ante eventos de precipitación de diferente intensidad. Por lo expuesto anteriormente, el objetivo de este estudio fueron i) analizar la variación espacio-temporal del caudal del río Sauce Grande utilizando datos en alta frecuencia y ii) detectar y evaluar diferentes momentos de crecida del río para verificar si el flujo del río responde a la irregularidad de las precipitaciones durante el período diciembre 2016-marzo 2018.

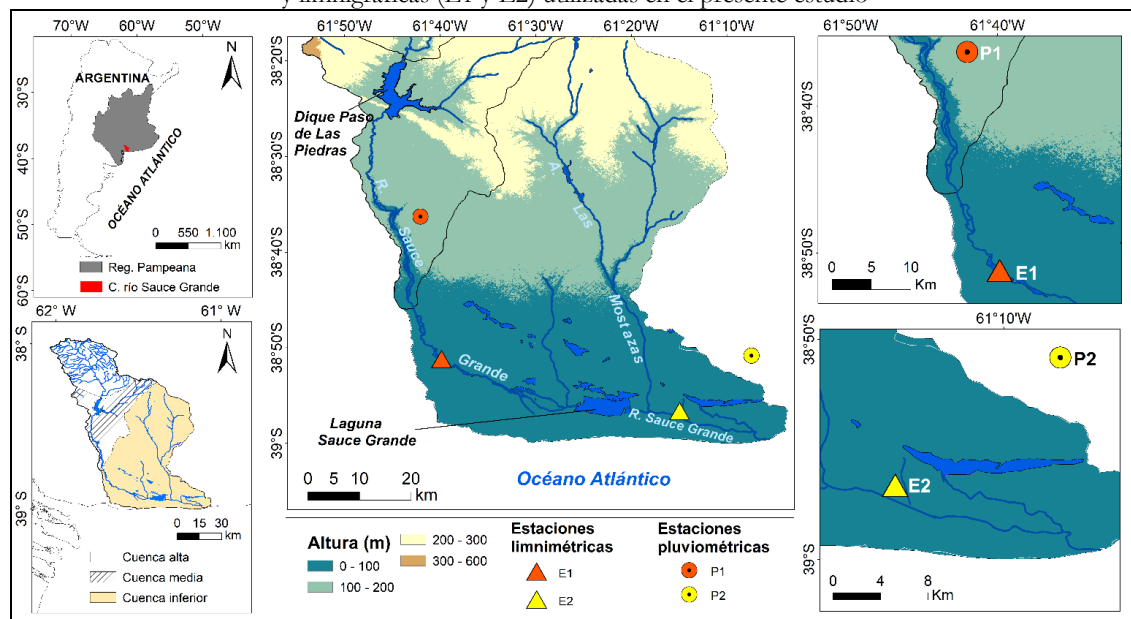
ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio es la cuenca inferior del río Sauce Grande, localizada en el sur de la Región Pampeana, Argentina (Figura 1). Es exorreica y tiene una extensión de 2630 km². Está formada por el río Sauce Grande que es el principal afluente de la laguna homónima y que, luego de la descarga de este cuerpo de agua, colecta las aguas del arroyo Las Mostazas

y desemboca en el Océano Atlántico (Figura 1). La laguna presenta como principal atractivo turístico la pesca deportiva del pejerrey. Está originada por el embalsado natural del agua proveniente de la esorrentía y condicionada por la presencia de la Barrera Medanososa Austral (ISLA et al., 2001). Esta barrera, se desarrolló en el Holoceno Medio como resultado del abundante sedimento litoral que migró hacia el interior del continente como consecuencia de las fluctuaciones del nivel del mar (ISLA et al., 2001). El sedimento es poroso, de alta permeabilidad y está compuesto por arenas de granos redondeados a subredondeados, de tamaño uniforme y principalmente de arena fina y muy fina. La vegetación que la recubre es rala (ISLA et al., 2001).

El clima es subhúmedo seco, con una precipitación media anual de 646 mm y una temperatura media anual de 15,3 °C. La principal actividad económica es la agricultura de secano con rotación de cultivos y pastoreo de ganado en pastizales naturales o seminaturales (BRENDDEL et al., 2019). Las sequías e inundaciones son recurrentes y constituyen uno de los fenómenos de mayor impacto sobre la actividad agrícola, la población y el ambiente (ALIAGA et al., 2017). Los eventos de crecidas del río Sauce Grande, en su cuenca alta, son repentinos y están asociados a eventos de precipitaciones extrema. Las consecuencias implican daños materiales, pérdidas de infraestructura y en algunos casos hasta víctimas mortales (VOLONTÉ y GIL, 2019).

Figura 1 – Localización de la cuenca inferior del río Sauce Grande, de las estaciones pluviométricas (P1 y P2) y limnigráficas (E1 y E2) utilizadas en el presente estudio



Fuente: elaboración propia.

MÉTODO DE TRABAJO

Información meteorológica

Para analizar la variabilidad pluviométrica diaria, se calcularon seis índices (Tabla 1) en el software RCLimDex (ZHANG y YANG, 2013). Cinco de ellos fueron definidos por el Grupo Experto en Detección del Cambio Climático e Índices (ETCCDI, por sus siglas en inglés, <http://etccdi.pacificclimate.org>) y uno fue definido tras el conocimiento del régimen pluviométrico de la región (*) (Tabla 1). El software RCLimDex es ampliamente utilizado para la evaluación de la variabilidad pluviométrica diaria en distintas regiones del mundo (CHEN et al., 2017; FERRELLI et al., 2019). Su aplicación ha permitido caracterizar la amplitud, frecuencia y persistencia de los eventos pluviométricos extremos con alta precisión (MARIGI et al., 2016; FERRELLI et al., 2019; NIE et al., 2019), motivos por los cuales se decidió aplicarlo en este estudio. La selección de los índices, se realizó teniendo en cuenta la distribución y comportamiento pluviométrico de la región (ALIAGA et al., 2017; FERRELLI et al., 2019).

Tabla 1 – Índices pluviométricos calculados en el presente estudio

Categorías	Definición
Días secos	Número de días con precipitaciones $< 0,1$ mm
Días lluviosos	Número de días con precipitaciones $> 0,1$ y $< 9,9$ mm
Precipitaciones fuertes	Número de días con precipitaciones diarias > 10 y < 20 mm
Precipitaciones severas	Número de días con precipitaciones diarias > 20 y < 25 mm
Precipitaciones torrenciales	Número de días con precipitaciones diarias > 25 y < 50 mm
Precipitaciones extremas (*)	Número de días con precipitaciones diarias > 50 mm

Fuente: elaboración propia.

Para calcular los índices se utilizaron datos diarios registrados por dos estaciones pluviométricas (P1 y P2) ubicadas en la cuenca inferior del río Sauce Grande (Figura 1). Esta información fue cedida por la Bolsa de Cereales y Productos de Bahía Blanca <<http://www.bcp.org.ar/>>. El período de estudio fue diciembre 2016-marzo 2018, dado que durante ese lapso se contó con información del caudal del río. Por lo tanto, la serie de precipitación tuvo la misma extensión temporal que la del caudal. Inicialmente, se realizó un análisis de la calidad y de la homogeneidad de la información. Para ello, se ordenaron las series de precipitación en tablas con la finalidad de identificar los datos faltantes, las inconsistencias y los datos erróneos (ZHOU et al., 2018). Este procedimiento fue realizado en el Software R, utilizando el paquete RclimDex (ZHANG y YANG, 2013). Además, se calculó el porcentaje de información perdida y el número de valores atípicos de las dos estaciones pluviométricas. Los mismos no superaron el 5 %. Posteriormente, para rellenar

la serie de datos, se aplicó un Análisis de Componentes Principales (WOLD et al., 1987), dado que permite generar un nuevo conjunto de datos derivado de la combinación de variables, capturando la mayor varianza observada en la serie original (p. ej., TAYLOR et al., 2013; KONDRASHOV et al., 2014).

Medición del caudal

Se utilizaron datos del nivel de agua del río Sauce Grande registradas por dos estaciones limnigráficas (E1 y E2) ubicadas en la cuenca inferior (Figura 1 y Figura 2). La E1 está localizada a ≈ 21 km antes del ingreso del río a la laguna Sauce Grande, mientras que la E2 está ubicada a ≈ 8 km de la descarga del río de la laguna y luego de haber colectado las aguas del arroyo Las Mostazas. Además, la E2 se encuentra a ≈ 18 km de la desembocadura del río en el Océano Atlántico (Figura 1 y Figura 2). Ambas estaciones forman parte de la red de Estaciones de Monitoreo Ambiental Costero (EMAC <http://emac.iado-conicet.gob.ar/2019>), construidas en el Instituto Argentino de Oceanografía (IADO-CONICET) <<https://iado.conicet.gov.ar/>>. El nivel de agua es registrado con una frecuencia de medición de 10 minutos. Los datos son almacenados en la memoria interna de la estación y son actualizados en la página web cada media hora. La forma de alimentación de la batería interna es a través de paneles solares (Figura 2).

Figura 2 – Estaciones limnigráficas EMAC (E1 y E2) ubicadas en la cuenca inferior del río Sauce Grande



Fuente: elaboración propia.

Para calcular el caudal del río en los dos sectores, se realizaron cinco campañas de aforo durante el año 2017, teniendo en cuenta los diferentes niveles de altura de agua del río registradas por las EMAC en E1 y E2. El objetivo de las campañas fue obtener una curva de calibración del caudal con respecto al nivel de agua, abarcando diferentes condiciones de altura del río. Para medir la velocidad de la corriente y la profundidad de la columna de agua, se utilizó un perfilador de corrientes acústico Doppler (ADP, por sus siglas en inglés) basado en el sistema River Surveyor (Figura 3).

Figura 3 – Perfilador de corrientes acústico Doppler (ADP) utilizado en las campañas de aforo



Fuente: elaboración propia.

El sistema está montado en una embarcación que mide y registra instantáneamente, en una computadora portátil, la velocidad de la corriente de agua, como así también la profundidad de la columna de agua y la batimetría del canal. Estas variables son registradas a medida que la embarcación se mueve de un flanco del río al otro (OBERG y MUELLER, 2007). El sistema River Surveyor permite obtener, por integración de los tres parámetros registrados, el caudal total. Por lo tanto, a partir de las curvas de calibración (altura-caudal) y las mediciones instantáneas del nivel de agua registradas por la EMAC en E1 y E2, se obtuvo el caudal del río Sauce Grande cada diez minutos en las dos estaciones (E1 y E2) durante el período diciembre 2016 - marzo 2018. Posteriormente, el caudal fue promediado y se obtuvo su valor diario.

Análisis de información satelital e hidrológica

Para detectar las áreas cubiertas por agua ante eventos de precipitación de diferente intensidad, se procesaron imágenes satelitales Landsat 8 OLI-TIRS (Path 226, Row 87) de días posteriores a la ocurrencia de los mismos (Tabla 2). Las imágenes fueron obtenidas del catálogo de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) y corresponden a días despejados. Se realizó la corrección geométrica, radiométrica y atmosférica con el software ENVI 5.1, siguiendo los lineamientos descritos en Brendel et al. (2019) y se calculó el Índice Normalizado de Diferencia de Agua (Ec. 1) (NDWI, *por sus siglas en inglés*) (MCFEETERS, 1996). Este índice ha sido ampliamente utilizado a escala mundial y regional (p.ej., DONIA, 2018; BRENDEL et al., 2019; BOHN y PICCOLO, 2020). El mismo varía entre -1 y 1, siendo los valores mayores a 0,5 la superficie cubierta por agua. Para obtener las clases “agua” y “no agua”, se realizó una segmentación de las imágenes

aplicando una clasificación no supervisada sobre la imagen de valores de NDWI. Posteriormente, se vectorizaron los resultados y se obtuvo la delimitación de los dos cuerpos de agua. Este proceso fue realizado con los softwares ArcGis 10.5 y ENVI 5.3.

$$NDWI = \frac{V-IRC}{V+IRC} \quad (1)$$

donde, V: verde (banda espectral 3 del Landsat 8 OLI-TIRS) y IRC: infrarrojo cercano (banda espectral 5 del Landsat 8 OLI-TIRS).

Tabla 2 – Descripción de las imágenes satelitales utilizadas

Categorías	Fecha del evento	Fecha de la imagen satelital
Precipitación torrencial	26-02-2017	05-03-2017
Precipitación fuerte	30-03-2017	06-04-2017
Precipitación extrema	10-09-2017	13-09-2017
Día seco	18-12-2017	18-12-2017

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, para conocer la dinámica del caudal del río Sauce Grande en diferentes momentos de crecidas, se realizaron hidrogramas. El mismo consta de una curva ascendente o de crecida, un segmento donde se obtiene el caudal máximo y una curva descendente o de recesión. A partir de su aplicación se puede obtener el inicio y fin del escurrimiento directo y el momento de caudal máximo (CHOW et al., 1994; VOLONTÉ, 2018).

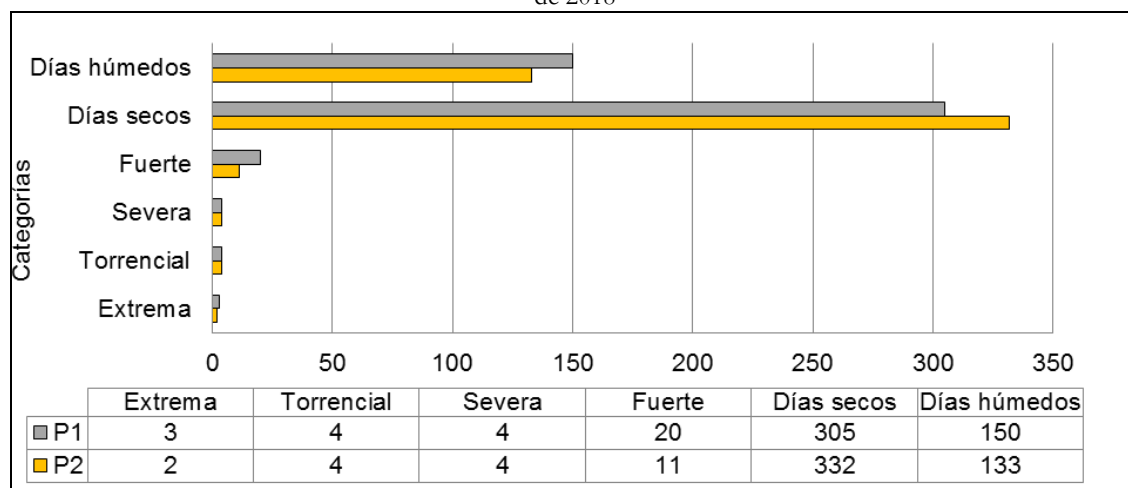
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de la variabilidad pluviométrica diaria

El análisis de los eventos meteorológicos extremos a escala diaria, permite detectar la intensidad y magnitud de la variabilidad pluviométrica en numerosas regiones del mundo con alta precisión (CHEN et al., 2017; FERRELLI et al., 2019; RAHMANI y HARRINGTON, 2019). Por este motivo, se aplicaron para conocer su comportamiento en la cuenca del río Sauce Grande (Argentina). En este contexto, se presentaron en la Figura 4 el número de días con precipitaciones de diferente intensidad y los días sin precipitación, en la estación P1 y P2 durante el período de estudio. En ambas estaciones, los días secos fueron los más frecuentes (305 días es decir el 62,8 % en P1 y 332 días en P2, 68,3 % del

período estudiado), mientras que los húmedos fueron mayores en P1 (150 días, es decir el 30,9 %) (Figura 4). Esta situación concuerda con el gradiente de precipitación que presenta la cuenca, el cual es decreciente en sentido N-S (BRENDDEL, 2020a). La diferencia más importante fue registrada en los días con precipitación fuerte, dado que en P1 se contabilizaron 20 días, mientras que en P2, 11 días (Figura 4). Los días con precipitación severa y torrencial fueron cuatro en las dos estaciones analizadas. Por otra parte, se contabilizaron un total de tres días con precipitación extrema en P1 y dos en P2 (Figura 4). Estos resultados demuestran que el área de estudio tiene una marcada variabilidad de las precipitaciones diarias, característica típica de la Región Pampeana, Argentina (BOHN et al., 2016; ALIAGA et al., 2017).

Figura 4 – Número de días total de los seis índices analizados durante el período diciembre de 2016-marzo de 2018

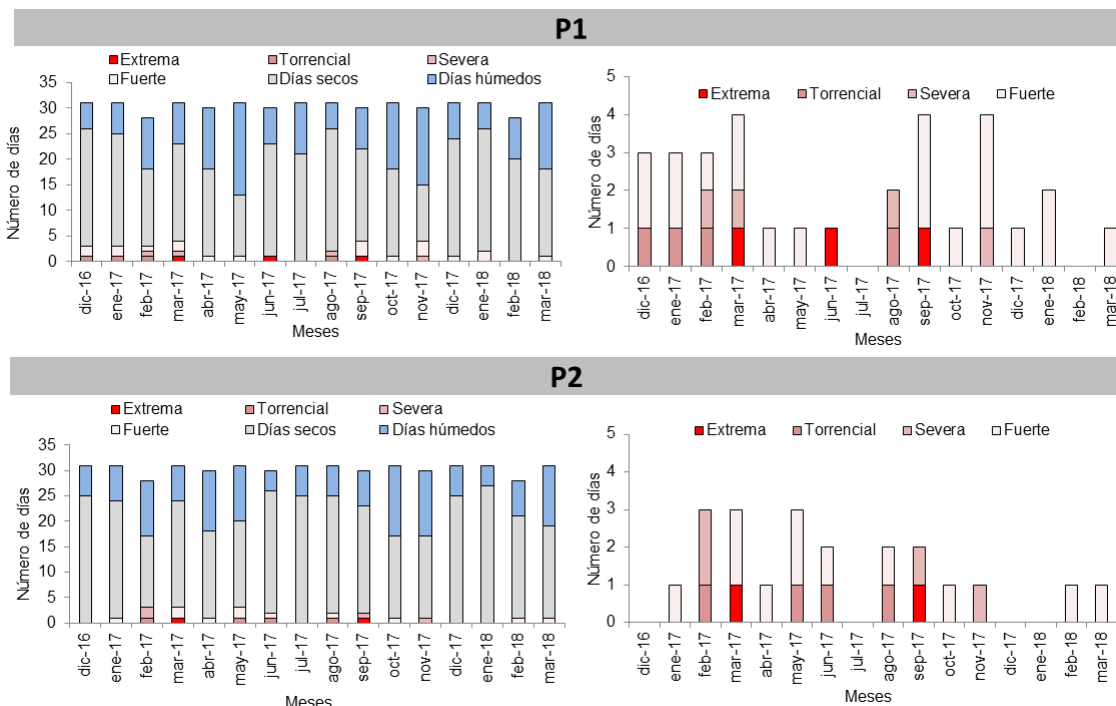


Fuente: elaboración propia.

El comportamiento mensual de los seis índices analizados se presenta en la Figura 5. El mes de enero de 2018 fue el que registró el mayor número de días secos en la P2, con un total de 27 días, mientras que en la estación P1, esta categoría fue más frecuente durante enero de 2018 y agosto de 2017, con un total de 24 días (p.ej., 1 al 10 de enero de 2018; 12 al 27 de agosto de 2017) (Figura 5). La situación pluviométrica ocurrida durante enero de 2018 fue atípica, dado que es el mes que presenta los máximos montos de precipitación, mientras que lo registrado durante agosto de 2017 fue normal, ya que en el invierno las precipitaciones son escasas (BRENDDEL, 2020b). Los días secos se mantuvieron elevados durante diciembre de 2016 y 2017 en ambas estaciones (23 días en P1 y 25 días en P2) (p. ej., 14 al 24 de diciembre de 2016 y 17 al 25 de diciembre de 2017) y en julio de 2017 en P2 (25 días) (p. ej., 18 al 30 de julio de 2017). Los días secos fueron menos representativos durante noviembre de 2017 en P1 (11 días) (p. ej., 19 al 22) y febrero de 2017 en P2 (14

días) (p. ej., 20 al 25). Durante octubre y noviembre de 2017, también se registró un escaso número de días secos en P2 (16 días), mientras que esta se repitió en febrero de 2017 en P1 (14 días) (Figura 5).

Figura 5 – Número de días mensuales de los seis índices analizados en P1 y P2 durante diciembre de 2016 y marzo de 2018



Fuente: elaboración propia.

Los días húmedos fueron más frecuentes durante mayo de 2017 en P1 y octubre de 2017 en P2, con un total de 18 y 14 días, respectivamente. Son ejemplos los días que comprenden el período 7-15 de mayo de 2017 en P1 y los días 8, 9 y 10 de octubre de 2017 en P2 (Figura 5). El menor número de días húmedos en P1 fue registrado en diciembre de 2016 y agosto de 2017 con un total de cinco días en cada mes en P1, mientras que en P2, los días húmedos fueron mínimos durante junio de 2017 y enero de 2018 con un total de 4 días en cada mes (Figura 5).

Por otro lado, el número de días con precipitaciones fuertes fue más elevado durante septiembre y noviembre de 2017 en P1 con un total de tres días en cada mes (p.ej., 20 y 30 de septiembre y 13 y 30 de noviembre de 2017) y durante marzo y mayo de 2017 en E2 (7 y 30 de marzo; 18 y 24 de mayo). Se registraron meses sin presencia de precipitaciones fuertes como, por ejemplo, noviembre y diciembre de 2017 y enero de 2018 en P2 y junio, julio y agosto de 2017 en P1. Cabe destacar que la estación P2 presentó un mayor número de meses con ausencia de lluvias fuertes que P1 (7 meses vs 4 meses) (Figura 5).

El comportamiento de los días con precipitación severa fue variable a lo largo del período de estudio y las estaciones pluviométricas muestran una variabilidad espacial importante cuando los eventos no fueron extremos. En P2, febrero de 2017 fue el mes que mostró el mayor número de días con precipitaciones severas (4 y 9 de febrero de 2017), seguido de septiembre y noviembre de 2017, con un día en cada mes (11/9 y 2/11, respectivamente). Durante el resto de los meses no se evidenciaron precipitaciones con estas características.

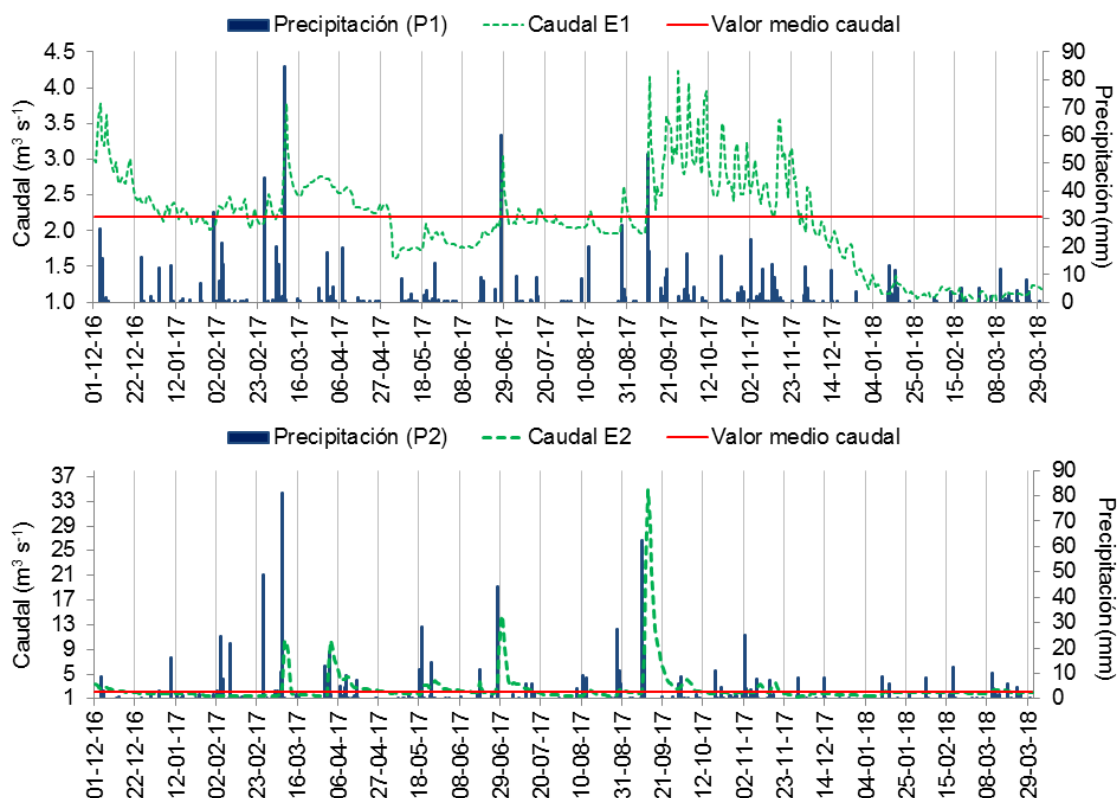
En P1, se observaron cuatro días con precipitación severa ocurridos en febrero (4/2), marzo (4/3), agosto (11/8) y noviembre (2/11) de 2017. Por otro lado, se encontró una similitud en la ocurrencia de días con lluvias torrenciales, dado que se registraron durante el 26 de febrero y el 28 de agosto de 2017 en ambas estaciones. Durante el resto del período, estas se evidenciaron en diciembre de 2016, enero y febrero de 2017, contabilizando un día por mes en P1 y en febrero, marzo, mayo y junio de 2017 en P2 (Figura 5). Por último, también se encontró coincidencia en la ocurrencia de las precipitaciones extremas. En ambas estaciones, se registraron durante los días 8 de marzo y 10 septiembre de 2017 y durante el día 27 de junio de 2017, solamente en P1 (Figura 5).

Por lo tanto, los índices de precipitación analizados permitieron clasificar las precipitaciones según su intensidad y realizar, por primera vez, una estadística pluviométrica a escala diaria de la cuenca media e inferior del río Sauce Grande. Su estudio es fundamental en las cuencas hidrográficas que se emplazan sobre la Región Pampeana, ya que estas, frecuentemente, se ven afectadas por eventos pluviométricos de corto plazo (FERRELLI et al., 2019). Estos últimos son los causantes de fenómenos tales como inundaciones y anegamientos de ciudades (ZAPPERI, 2014), pérdida de cultivos producto de precipitaciones severas (SCARPATI y CAPRIOLO, 2020), crecida de ríos por precipitaciones extremas y como consecuencia pérdidas de infraestructura y hasta en algunos casos vidas humanas (VOLONTÉ y GIL, 2019), entre otros.

Análisis del caudal diario del río y su relación con la precipitación

El caudal diario del río Sauce Grande en E1 y E2 y la precipitación en P1 y P2, durante el período diciembre 2016-marzo 2018, se presenta en la Figura 6. El caudal medio en E1 fue $2,1 \pm 0,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, mientras que en E2 fue $2,6 \pm 2,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. El comportamiento del caudal a lo largo del período fue similar en ambos tramos del curso de agua y su fluctuación se relacionó con la precipitación, al igual que en lo reportado en otros ríos localizados sobre la Región Pampeana, Argentina (CARBONE et al., 2006; VOLONTÉ, 2018) (Figura 6).

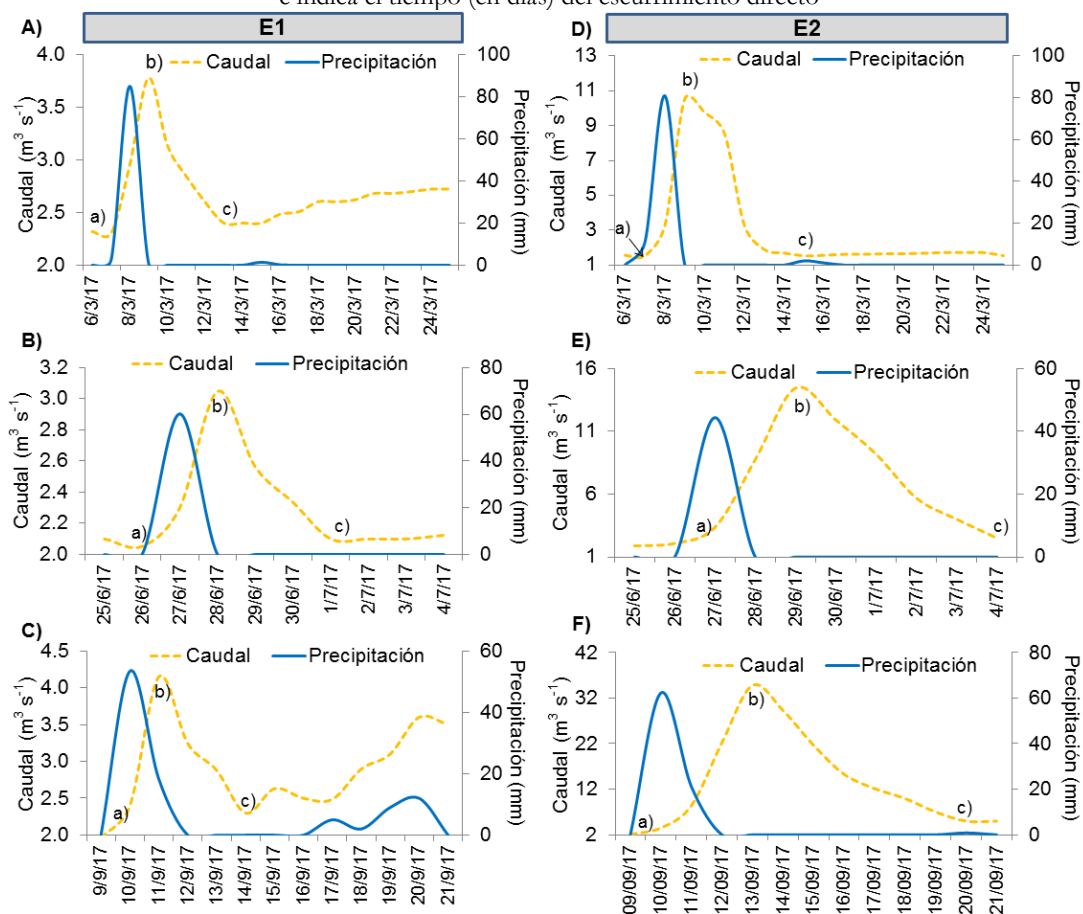
Figura 6 – Caudal diario del río Sauce Grande en la E1 y E2 y precipitación en P1 y P2 durante el período diciembre 2016-marzo 2018



Fuente: elaboración propia.

Los sistemas fluviales poseen un comportamiento hidrológico normal representado por el régimen estacional. Además, presentan comportamientos extremos ya sea por el volumen del caudal (crecidas o estiajes) o por su frecuencia (VOLONTÉ, 2018). En el área de estudio, algunos eventos de precipitación generaron un caudal superior al promedio, producto de precipitaciones con diferente intensidad (Figura 6). En este estudio, se analizaron en detalle tres períodos y se realizaron los hidrogramas correspondientes (Figura 7). El primero ocurrió en marzo de 2017 y se caracterizó por un aumento de caudal a partir del día 7 alcanzando su valor máximo el día 9 en ambas estaciones (E1: $3,8$ y E2: $10,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) (Figura 7a y 7d). El período en el cual se registraron las precipitaciones fue similar, dado que ocurrieron durante el 7 y el 9 de marzo. Sin embargo, las registradas durante el día 7 en P1 correspondieron a un día lluvioso ($2,2 \text{ mm}$), mientras que en P2 fue caracterizada como fuerte ($10,8 \text{ mm}$). Las lluvias fueron extremas en ambas estaciones durante el día 8 (85 mm en P1 y 81 mm en P2), mientras que el día 9 de marzo fue clasificado como un día lluvioso. Por lo tanto, el máximo caudal fue registrado un día después de la máxima precipitación (Figura 7a y 7d). El tiempo de escurrimiento del flujo directo (diferencia entre a y c) fue mayor en E2 dado que fue de 9 días, mientras que en E1 fue 6 días (Figura 7a y 7d).

Figura 7 – Hidrograma en diferentes momentos de crecida en la E1 (A, B, C) y E2 (D, E, F). a) Inicio del escurrimiento directo, b) momento de caudal máximo y c) fin de escurrimiento directo. La diferencia entre a y c indica el tiempo (en días) del escurrimiento directo



Fuente: elaboración propia.

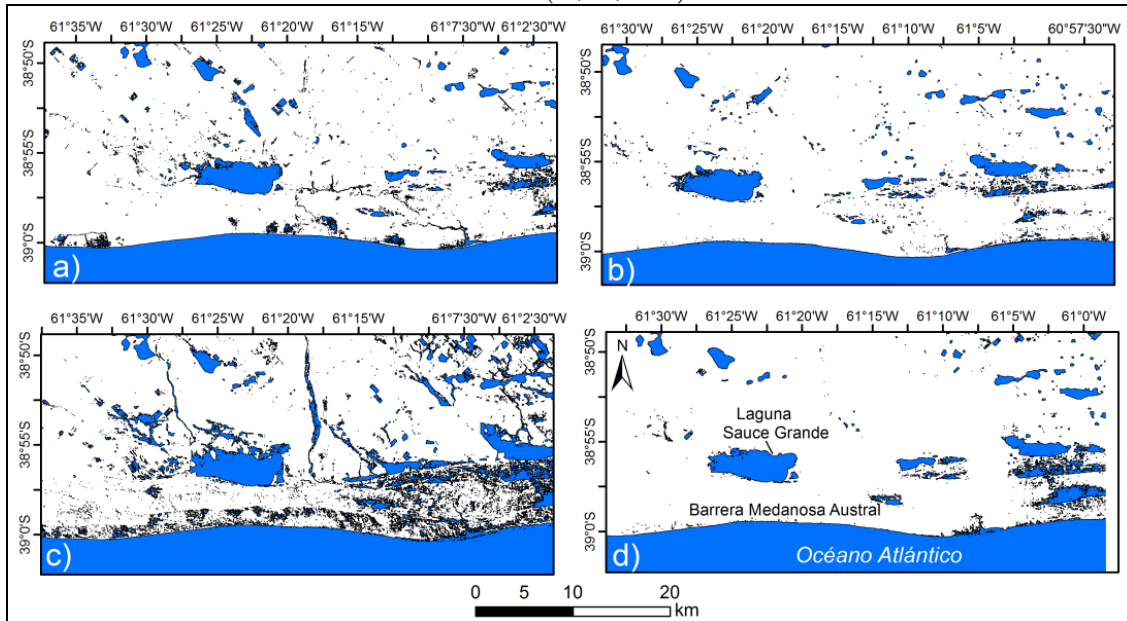
El segundo período analizado, se produjo en junio de 2017 (Figura 6, Figura 7b y Figura 7e). La precipitación ocurrió durante el día 27 de junio y fue de 60 mm en E1 (extrema) y 44,4 mm en E2 (torrencial). Como consecuencia de las lluvias, el caudal se incrementó a partir de ese día y fue máximo el día 28 de junio en E1 ($3 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$), mientras que en E2 se produjo el día 29 con un valor de $14,5 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$. Además, se observó que el tiempo de escurrimiento directo fue mayor en E2 (9 días) (Figura 7e).

Por último, el tercer período ocurrió en septiembre de 2017 y se caracterizó como el más extremo, dado que los caudales en ambas estaciones fueron los más elevados de todo el período de estudio (Figura 7c y Figura 7f). En E1 fue $4,1 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$ y ocurrió el día 11 de septiembre como consecuencia de precipitaciones extremas registradas el día previo (53 mm). El flujo se mantuvo elevado el día 12 ($3,2 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$), dado que también se produjeron lluvias fuertes (18 mm) (Figura 7c). Las precipitaciones también ocurrieron en E2 durante los mismos días que en E1, pero fueron de mayor magnitud ya que el valor total fue 85 mm, de los cuales 61 mm ocurrieron el día 10/9 (Figura 7f). El caudal máximo fue $34,8 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$ y ocurrió dos días después que en E1 (13/9), producto probablemente del flujo que

aporta la laguna y el arroyo Las Mostazas sobre este sector. El tiempo de escurrimiento directo también fue mayor, similarmente al ejemplo mencionado anteriormente, en E2 dado que fue 12 días (Figura 7f). Esta situación podría tener relación con la escasa pendiente del terreno dado que el río se encuentra próximo a su desembocadura en el Océano Atlántico (RABASSA, 1982). Según Casado et al. (2016), este sector es una zona de planicies, donde se evidencia una estrecha relación entre el escurrimiento superficial y subterráneo, por lo que los excesos y déficits hídricos ocurren por progresión acumulada de anomalías de precipitación, generando una mayor duración del flujo. El tiempo de escurrimiento encontrado en el río Sauce Grande es típico de ríos de llanuras (CARBONE et al., 2006). La cobertura de agua en días posteriores a una precipitación torrencial (a), fuerte (b), extrema (c) y en un día sin precipitaciones (d), se presenta en la Figura 8. Durante un día seco, la superficie cubierta por agua fue 28,3 km² (Figura 8d). En el resto de los ejemplos analizados, el área fluctuó en función de la intensidad de las precipitaciones. En este sentido, el área aumentó a 32,3 km² en días posteriores a un evento de precipitación fuerte (Figura 8b) y 41,5 km² cuando ocurrió una lluvia torrencial (Figura 8a). El área fue máxima ante un período de precipitación extrema, alcanzado un total de 75,4 km² (Figura 8c).

Durante este último evento, se desarrollaron numerosos cursos y cuerpos de agua de pequeña extensión, principalmente sobre la barrera medanosa y en cercanías a la desembocadura del río Sauce Grande en el Océano Atlántico. Otro sector cubierto por agua fue en el sector NW de la laguna y en el sector más próximo al ingreso del río en el cuerpo de agua. Este ejemplo permitió visualizar las áreas de mayor riesgo ante lluvias extremas en la cuenca baja que ocasionaron caudales elevados (Figura 8c). Su detección es fundamental para prevenir pérdidas y planificar las actividades agrícolas y ganaderas ante este tipo de eventos. En la literatura existe evidencia que, ante la ocurrencia de eventos de crecidas de ríos localizados en áreas de escasa pendiente, se han generado pérdidas económicas, sociales y ambientales (CAPRIOLO et al., 2008; QUIROZ LONDOÑO et al., 2013; CARRASCAL, 2017). Por lo tanto, el conocimiento de la respuesta del caudal a las precipitaciones y la detección de las áreas de mayor vulnerabilidad hidrológica son fundamentales para el ordenamiento territorial y para garantizar la permanencia de las actividades económicas de la cuenca inferior del río Sauce Grande.

Figura 8 – Cobertura de agua en el extremo sur de la cuenca inferior del río Sauce Grande durante días posteriores a una: a) precipitación torrencial (26/2/2017), b) fuerte (30/3/2017), c) extrema (10/9/2017), d) día seco (18/12/2017)



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIÓN

La utilización de datos diarios fue fundamental para comprender el comportamiento espacial y temporal de las precipitaciones y su relación con el caudal del río Sauce Grande (Argentina) con alta precisión. El área de estudio presenta una marcada variabilidad pluviométrica diaria. Esta condición genera fluctuaciones en el flujo del río, alcanzando su máximo bajo precipitaciones extremas.

Este estudio constituye un avance fundamental en los estudios hidrológicos y meteorológicos de la Región Pampeana, dado que es la primera vez que se monitorea en alta frecuencia el caudal del río en este sector de la cuenca considerando el aporte del arroyo Las Mostazas. Sin embargo, es necesario continuar con el monitoreo del caudal del río por un período de tiempo más extenso, que permita analizar otros eventos de crecida, compararlos con los analizados en esta investigación y, de esta manera, evaluar la dinámica hidrológica de la cuenca con un mayor número de datos. Por otro lado, se considera una actividad esencial el monitoreo del caudal en la cuenca alta. Dicha información permitiría comprender el funcionamiento de la totalidad de la cuenca del río Sauce Grande.

A pesar de lo anteriormente expuesto, los resultados obtenidos en este estudio constituyen una base de datos esencial dado que se detectaron las áreas de mayor vulnerabilidad hidrológica de una cuenca que es muy importante para la región. Estas se localizaron sobre el NW de la laguna Sauce Grande, es decir antes del ingreso del río

homónimo en el cuerpo de agua y sobre la barrera medanosa Austral y en cercanías de la descarga del río Sauce Grande en el Océano Atlántico. Teniendo en cuenta los severos daños económicos que ocasiona la variabilidad pluviométrica, este estudio aporta información vital para el manejo sustentable de los recursos naturales y la permanencia de las actividades económicas en la cuenca.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo del CONICET y la Universidad Nacional del Sur por la financiación del estudio. Se agradece también a la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) por la información satelital brindada a través del proyecto Misión SAOCOM y la Bolsa de Cereales de Bahía Blanca por los datos meteorológicos brindados.

REFERENCIAS

ALIAGA, V. S.; FERRELLI, F.; PICCOLO, M. C. Regionalization of climate over the Argentine Pampas. **International Journal of Climatology**, Londres, v. 37, n. 1, p. 1237-1247, 2017. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/joc.5079>. Acceso: 23 mar. 2020.

BEZAK, N.; BRILLY, M.; ŠRAJ, M. Flood frequency analyses, statistical trends and seasonality analyses of discharge data: a case study of the Litja station on the Sava River. **Journal of Flood Risk Management**, v. 9, n. 2, p. 154-168, 2016. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/jfr3.12118>. Acceso: 03 abr. 2019.

BOHN, V. Y.; DELGADO, A. L.; PICCOLO, M. C.; PERILLO, G. M. E. Assessment of climate variability and land use effect on shallow lakes in temperate plains of Argentina. **Environmental Earth Sciences**, v. 75, n. 9, p. 818, 2016. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5569-6>. Acceso: 16 mar. 2020.

BOHN, V. Y.; PICCOLO, M. C. Propuesta metodológica para la predictibilidad de las inundaciones lagunares en llanuras (Provincia de Buenos Aires, Argentina). **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n. 1, p. 107-116, 2020. Disponible en: <https://revistas.ufrrj.br/index.php/aigeo/article/viewFile/34095>. Acceso: 20 abr. 2020.

BRENDEL, A. S.(a). Tendencias y anomalías termo-pluviométricas actuales y futuras de una cuenca hidrográfica de la Región Pampeana Argentina: un análisis orientado a reducir los impactos socio-ambientales. **Geográfica Digital**, v. 17, n. 34, p. 31-46, 2020. Disponible en: http://dx.doi.org/10.11137/2017_2_05_16. Acceso: 01 mar. 2020.

BRENDEL, A. S.(b). **Estudio integral de los recursos hídricos y las coberturas del suelo de la cuenca media y baja del Río Sauce Grande (Argentina)**. 2020. Tesis de Doctor en Geografía. Universidad Nacional del Sur, Argentina. Disponible en: <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/4866>. Acceso: 04 mar. 2020.

BRENDEL, A. S.; BOHN, V. Y.; PICCOLO, M. C. Efecto de la variabilidad climática sobre el estado de la vegetación y la cobertura de agua en una cuenca de clima templado (Argentina). **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 40, n. 2, p. 5-16, 2017. Disponible en: http://dx.doi.org/10.11137/2017_2_05_16. Acceso: 12 may. 2019.

BRENDEL, A. S.; FERRELLI, F.; PICCOLO, M. C.; PERILLO, G. M. E. Assessment of the effectiveness of supervised and unsupervised methods: maximizing land-cover classification accuracy with spectral indices data. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 3, n. 1, p. 1-15, 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.1117/1.JRS.13.014503>. Acceso: 23 may. 2020.

CHOW, V.; MAIDMENT, D.; MAYS, L. **Hidrología aplicada**. Bogotá: McGraw-Hill, 1994.

CAPRIOLO, A.D.; FORTE LAY, J. A; SCARPATI, O. La inundación del año 2001 en la Provincia de Buenos Aires, Argentina. **Mundo Agrario**, v. 9, n. 17, p. 1-24, 2008.

CARBONE, M. E.; PÉREZ, D. E.; PICCOLO, M. C.; PERILLO, G. M. E. Comportamiento hidrológico del arroyo Claromeco, Argentina. **Investigaciones Geográficas**, n. 39, p. 179-193, 2006. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.14198/INGEO2006.39.09>. Acceso: 09 may. 2020.

CARRASCAL, C. **Desarrollo de cuerpos de agua someros durante años húmedos extremos y sus implicancias socioeconómicas en la zona de drenaje indefinido occidental peripampeano (provincia de Buenos Aires)**. Tesis de Licenciado en Geografía, Universidad Nacional del Sur, Argentina, 2017.

CASADO, A.; PEIRY, J. L.; CAMPO, A. M. Geomorphic and vegetation changes in a meandering dryland river regulated by a large dam, Sauce Grande River, Argentina. **Geomorphology**, v. 268, p. 21-34, 2016. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.05.036>. Acceso: 07 feb. 2020.

CASADO, A.; CAMPO, A. M. Extremos hidroclimáticos y recursos hídricos: estado de conocimiento en el suroeste bonaerense, Argentina. **Cuadernos geográficos de la Universidad de Granada**, v. 58, n. 1, p. 6-26, 2019. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v58i1.6751>. Acceso: 02 feb. 2020.

DONIA, N. NDWI Based Change Detection Analysis of Qarun Lake Coastal Area, El-Fayoum, Egypt. En: EL-ASKARY, E.; LEE, S.; HEGGY, E.; PRADHAN, B. (Eds.) **Advances in Remote Sensing and Geo Informatics Applications**. Cham: Springer, 2019, p. 121-124.

FERNÁNDEZ, P.; MOURATO, S.; MOREIRA, M.; PEREIRA, L. A new approach for computing a flood vulnerability index using cluster analysis. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 94, p. 47- 55, 2016. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2016.04.003>. Acceso: 06 may. 2020.

FERRELLI, F. Efectos de eventos El Niño y La Niña sobre las lagunas del sur de la Región Pampeana (Argentina). **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 2, n. 6, p. 122-142, 2017. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549/interespaço.v2n6p122-142>. Acceso: 02 mar. 2020.

FERRELLI, F.; BRENDEL, A. S.; ALIAGA, V. S.; PICCOLO, M. C.; PERILLO, G. M. E. Climate regionalization and trends based on daily temperature and precipitation extremes in the south of the Pampas (Argentina). **Cuadernos de Investigación Geográfica**, v. 45, n.1, p. 393-416, 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.18172/cig.3707>. Acceso: 29 mar. 2020.

GASPARI, F. J.; VAGARÍA, A. M. R.; SENISTERRA, G. E.; DENEGRÍ, G. A.; DELGADO, M.I.; BESTEIRO, S.I. Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. **AUGMDOMUS**, v. 4, p. 143-158, 2012. Disponible en: <http://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/6041>. Acceso: 06 mar. 2020.

GIL, V. **Hidrogeomorfología de la cuenca alta del río Sauce Grande aplicada al peligro de Crecidas**. Tesis de Doctor en Geografía, Universidad Nacional del Sur, Argentina, 2009.

HAMILTON, D.P.; CAREY, C.C.; ARVOLA, L.; ARZBERGER, P.; BREWER, C.; COLE, J.J.; KRATZ, T. K. A Global Lake Ecological Observatory Network (GLEON) for synthesising high-frequency sensor data for validation of deterministic ecological models. **Inland Waters**, v. 5, n. 1, p. 49-56, 2015. Disponible en: <<https://doi.org/10.5268/IW-5.1.566>>. Acceso: 14 abr. 2020.

IPCC. Panel Intergubernamental de Cambio Climático. Climate change 2013: The physical science basis. En: STOCKER, D.; QIN, G. K.; PLATTNER, M.; TIGNOR, S.K.; ALLEN, J.; BOSCHUNG, A.; NAUELS, Y.; XIA, V.; BEX, P.M. (Eds.). **Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Reino Unido: Cambridge University Press, 2013. p. 1535.

ISLA, F. I.; CORTIZO, L.; ORELLANO TURNO, H. Dinámica y Evolución de las Barreras Medanosas, Provincia de Buenos Aires, Argentina. **Revista Brasileira de Geomorfología**, v. 2, n.1, p. 73-83, 2001. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v2i1.9>. Acceso: 04 abr. 2020.

KOLIOS, S.; STYLIOU, C. D. Identification of land cover/land use changes in the greater area of the Preveza peninsula in Greece using Landsat satellite data. **Applied Geography**, v. 40, p. 150-160, 2013. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.02.005>. Acceso: 09 mar. 2020.

KONDRASHOV, D.; DENTON, R.; SHPRITS, Y. Y.; SINGER, H. J. Reconstruction of gaps in the past history of solar wind parameters. **Geophysical Research Letters**, v. 41, n. 8, p. 2702-2707, 2014. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/2014GL059741>. Acceso: 16 abr. 2020.

MARIGI, S.N.; NJOGU, A.K.; GITHUNGO, W. N. Trends of extreme temperature and rainfall indices for Arid and Semi-arid lands of South Eastern Kenya. **Journal of Geoscience and Environment Protection**, v.4, p. 158-171, 2016. Disponible en: <https://doi.org/10.4236/gep.2016.412012>. Acceso: 16 dic. 2020.

MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, n. 7, p. 1425-1432, 1996. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>. Acceso: 02 ago. 2018.

NIE, H.; QIN, T.; YANG, H.; CHEN, J.; HE, S.; LV, Z.; SHEN, Z. Trend analysis of temperature and precipitation extremes during winter wheat growth period in the major winter wheat planting area of China. **Atmosphere**, v. 10(5), n. 240, 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/atmos10050240>. Acceso: 16 dic. 2020.

NOSETTO, M. D.; JOBBÁGY, E. G.; BRIZUELA, A. B.; JACKSON, R. B. The hydrologic consequences of land cover change in central Argentina. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 154, p. 2-11, 2012. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.008>. Acceso: 16 feb. 2020.

OBERG, K.; MUELLER, D. S. Validation of streamflow measurements made with acoustic Doppler current profilers. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 133, n. 12, p. 1421-1432, 2007. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2007\)133:12\(1421\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2007)133:12(1421)). Acceso: 02 jul. 2016.

OUTRAM, F. N.; LLOYD, C. E. M.; JONCZYK, J.; BENSKIN, C. M.; GRANT, F.; PERKS, M. T.; HAYGARTH, P. M. High-frequency monitoring of nitrogen and phosphorus response in three rural catchments to the end of the 2011–2012 drought in England. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 18, n. 9, p. 3429-3448, 2014. Disponible en: 10.5194/hess-18-3429-2014. Acceso: 02 jul. 2019.

POULIER, G.; LAUNAY, M.; LE BESCOND, C.; THOLLET, F.; COQUERY, M.; LE COZ, J. Combining flux monitoring and data reconstruction to establish annual budgets of suspended particulate matter, mercury and PCB in the Rhône River from Lake Geneva to the Mediterranean Sea. **Science of the Total Environment**, v. 658, p. 457-473, 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.075>. Acceso: 19 feb. 2020.

PORTER, J. H.; NAGY, E.; KRATZ, T. K.; HANSON, P.; COLLINS, S. L.; ARZBERGER, P. New eyes on the world: advanced sensors for ecology. **BioScience**, v. 59, p. 385-397, 2009. Disponible en: <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.5.6>. Acceso: 23 oct. 2019.

QUIROZ LONDOÑO, O. M.; GRONDONA, S. I.; MASSONE, H. E.; FARENGA, M.; MARTÍNEZ, G.; MARTÍNEZ, D. E. Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevencción del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio. **Geofocus**, v. 13, n. 1, p. 76-98, 2013. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11336/25139>. Acceso: 04 may. 2019.

RABASSA, J. Variación regional y significado geomorfológico de la densidad de drenaje en la cuenca del río Sauce Grande, provincia de Buenos Aires. **Revista de la Asociación Geológica Argentina**, v. 37, n. 3, p. 268-284, 1982.

RAHMANI, V.; HARRINGTON JR, J. Assessment of climate change for extreme precipitation indices: A case study from the central United States. **International Journal of Climatology**, v. 39, n. 2 p. 1013-1025, 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/joc.5858>. Acceso: 01 mar. 2021.

SAKAI, T.; TAKAKURA, H.; OKUMURA, M.; HATTA, S.; YOSIKAWA, Y. Monitoring spring floods on the Lena River using multiple Satellite sensors. En: HIYAMA, T.; YAMAGUCHI, Y (Eds.). **Global Warming and Human-Nature Dimension in Northern Eurasia**. Singapore: Springer, 2018. p. 53-69.

SCARPATI, O. E.; CAPRIOLO, A. D. Sequías e inundaciones en la provincia de Buenos Aires (Argentina) y su distribución espacio-temporal. **Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía**, v. 82, p. 38-51, 2013. Disponible en: <https://doi.org/10.14350/rig.31903>. Acceso: 16 nov. 2019.

SCARPATI, O. E.; CAPRIOLO A. D. A study of seasonal trends in precipitation patterns during a period of forty years for sustainable agricultural water management in Buenos Aires Province, Argentina. En: Khaite, P.; Erechtkhoukova, M. (Eds.) **Sustainability Perspectives: Science, Policy and Practice. Strategies for Sustainability**. Cham: Springer, 2020. p. 223-240.

SCHOLZ, G.; QUINTON, J. N.; STRAUSS, P. Soil erosion from sugar beet in Central Europe in response to climate change induced seasonal precipitation variations. **Catena**, v. 72, n. 1, p. 91-105, 2008. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.04.005>. Acceso: 09 nov. 2019.

TAYLOR, M. H.; LOSCH, M.; WENZEL, M.; SCHRÖTER, J. On the sensitivity of field reconstruction and prediction using empirical orthogonal functions derived from gappy data. **Journal of Climate**, v. 26, n. 22, p. 9194-9205, 2013. Disponible en: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00089.1>. Acceso: 02 dic. 2017.

VÁZQUEZ, P.; MASUELLI, S.; PLATZECK, G.; BOOLSEN, O. Recurrencia de anegamiento en la pampa deprimida, provincia de Buenos Aires. En: RIVAS, R.; CARMONA, F.; OCAMPO, D. (Eds.). **Teledetección: Recientes aplicaciones en la Región Pampeana**: Tandil, 2011. p 31-46.

VOLONTÉ, A. **Geomorfología fluvial aplicada al peligro de crecidas: cuenca del arroyo San Bernardo, sistema de Ventania, Argentina**. Tesis de Doctor en Geografía, Universidad Nacional del Sur, Argentina, 2018.

VOLONTÉ, A.; GIL, V. Aportes de la hidrogeomorfología histórica en la determinación de áreas inundables a partir de eventos extremos de crecidas. **Huellas**, v. 23, n. 1, p. 11-26, 2019.

WOLD, S.; ESBENSEN, K.; GELADI, P. Principal component analysis. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 2, n.1-3, p. 37-52, 1987. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0169-7439\(87\)80084-9](https://doi.org/10.1016/0169-7439(87)80084-9). Acceso: 06 dic. 2017.

ZAPPERI, P. A. Caracterización del escurrimiento urbano en la ciudad de Bahía Blanca. **Revista Universitaria de Geografía**, v. 3, n. 2, p. 125-150, 2014.

ZHANG, X.; YANG, F. RClimDex (1.1) user manual. Disponible en: <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI/software.shtml>, 2013.

ZHENG, Y.; HE, Y.; CHEN, X. Spatiotemporal pattern of precipitation concentration and its possible causes in the Pearl River basin, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 161, p. 1020-1031, 2017. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.156>. Acceso: 09 mar. 2020.

ZHOU, H.; AIZEN, E.; AIZEN, V. Constructing a long-term monthly climate data set in central Asia. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 3, p. 1463-1475, 2018. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/joc.5259>. Acceso: 23 abr. 2020.

Como citar:

ABNT

BRENDEL, A. S.; FERRELLI, F.; PICCOLO, M. C.; PERILLO, G. M. E. Impacto de eventos pluviométricos sobre el caudal diario de un río de la Región Pampeana (Argentina). **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 7, e202112, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.e202112>>. Acesso em: 29 jun. 2021.

APA

Brendel, A. S., Ferrelli, F., Piccolo, M. C., & Perillo, G. M. E. Impacto de eventos pluviométricos sobre el caudal diario de un río de la Región Pampeana (Argentina). *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, v. 7, e202112. Recuperado em 29 junho, 2021, de <http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.e202112>



This is an open access article under the CC BY Creative Commons 4.0 license.

Copyright © 2021, Universidade Federal do Maranhão.

