

PROCESAMIENTO DE DATOS SATELITALES ÓPTICOS Y DE RADAR PARA LA DETECCIÓN DE CAMBIOS MORFOMÉTRICOS: EL CASO DE LA DESEMBOCADURA DEL RÍO SAUCE GRANDE (ARGENTINA)

Andrea Soledad Brendel

Instituto Argentino de Oceanografía (IADO), Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur (UNS), CONICET, Bahía Blanca-Argentina.
asbrendel@iado-conicet.gob.ar

Federico Ferrelli

Instituto Argentino de Oceanografía (IADO), Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur (UNS), CONICET, Bahía Blanca-Argentina.
ferrelli@criba.edu.ar

María Florencia de Uribe Echeverría

Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur (UNS), Bahía Blanca, Argentina.
mflorenciadue89@gmail.com

María Cintia Piccolo

Instituto Argentino de Oceanografía (IADO), Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur (UNS), CONICET, Bahía Blanca-Argentina.
ofpiccol@criba.edu.ar

Gerardo Miguel Eduardo Perillo

Instituto Argentino de Oceanografía (IADO), Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur (UNS), CONICET, Bahía Blanca-Argentina.
gmeperillo@criba.edu.ar

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios morfométricos de la desembocadura del río Sauce Grande (Argentina) a partir del procesamiento de datos satelitales ópticos y de radar. Se realizó un análisis visual de imágenes satelitales de alta resolución durante el período 2011-2018. Las imágenes mostraron que, en el año 2018 en la desembocadura del río, se originó un nuevo canal distributivo. Para detectar la fecha de su generación, se procesaron imágenes Landsat 8 OLI-TIRS y Sentinel 1A y 1B. Se analizó la variabilidad pluviométrica para comprobar si la variación morfométrica fue originada por la precipitación. La aparición del nuevo distributivo ocurrió en la semana del 7 al 13 de septiembre, producto de una precipitación torrencial y un subsiguiente período húmedo con precipitaciones intensas que duró dos meses y que no son comunes en la región. El canal fue intermitente, dado que se observó sólo hasta noviembre 2018. Las imágenes ópticas no permitieron analizar los cambios morfométricos debido a la importante nubosidad, mientras que las imágenes de radar proporcionaron la información necesaria para observar el cambio morfométrico. El método empleado es muy útil en aquellas regiones que presentan datos escasos o inexistentes y que tienen una alta cobertura nubosa.

Palabras clave: nuevo canal distributivo. imágenes de libre acceso. variabilidad pluviométrica. cuencas hidrográficas.

PROCESSING OF OPTICAL AND RADAR SATELLITE DATA FOR THE DETECTION OF MORPHOMETRIC CHANGES. THE CASE OF THE SAUCE GRANDE RIVER MOUTH (ARGENTINA)

ABSTRACT

This study aims to assess morphometric changes in the mouth of the Sauce Grande river (Argentina) through the processing of optic and radar images. It was made a visual analysis with the high-resolution images during 2011-2018. These images allowed us to identify that the Sauce Grande river's mouth originated a new distributive channel. To detect the occurrence period there were processed Landsat 8 OLI-TIRS and Sentinel 1A and 1B images. It was studied the pluviometric variability during 2018 on a daily time-scale to determine whether the rainfall originated morphometric changes. The distributive channel was evidenced during the period 7th-13th September due to very heavy precipitation events followed by a wet period with heavy precipitation that had an extension of two months. This

pluviometric situation is untypical in these regions. The distributary channel was intermittent due to it was observed until November 2018. As a consequence of the rainy condition, optical images did not allow for analyzing the morphometric changes due to the high coverage of clouds. Hence, the method applied is useful for those regions with scarce or non-data and a high-coverage of clouds.

Keywords: New distributary channel. free available images. rainfall variability. hydrographic basins.

INTRODUCCIÓN

En las cuencas hidrográficas interactúan factores naturales como la geomorfología, el clima, el suelo, el agua, la vegetación y la fauna, en conjunto con los desarrollos productivos generados por el hombre (Gil, 2010). La variabilidad pluviométrica es uno de los parámetros ambientales que mayores modificaciones generan en estos espacios (CHEN *et al.*, 2012; MOLINA-NAVARRO *et al.*, 2014). La utilización de imágenes satelitales ha demostrado ser de gran utilidad para el estudio de los procesos hidrometeorológicos y geomorfológicos que ocurren en ellas. Dentro de las provistas por sensores ópticos, las más utilizadas son las Landsat, dada su alta resolución espacial y temporal y la cobertura y calidad de datos (KOLIOS y STYLIOS, 2013; CONTRERAS *et al.*, 2020). Sin embargo, la desventaja de los métodos basados en datos ópticos es que no son aplicables a regiones donde la cobertura de nubes es frecuente (GONZÁLEZ SANPEDRO, 2008). En la Región Pampeana (Argentina) estas imágenes se han empleado para monitorear las coberturas del suelo (GUERSCHAM *et al.*, 2004; BRENDEL *et al.*, 2019), analizar la dinámica de cuerpos de agua (ALIAGA *et al.*, 2016; BOHN y PICCOLO, 2020), estudiar el clima urbano (FERRELLI *et al.*, 2016), entre otros.

Por otro lado, las imágenes de Radar de Apertura Sintética (SAR, *por sus siglas en inglés*) han tenido múltiples aplicaciones, dado que permiten monitorear los parámetros del suelo en diferentes condiciones meteorológicas. Por lo tanto, presentan un alto potencial en diversas disciplinas como la hidrología, la meteorología y la geomorfología (GONZÁLEZ SANPEDRO, 2008; KOUSIK y PRABIR KUMAR, 2015). A escala mundial, se han utilizado para mapear áreas de inundaciones (GHOSH *et al.*, 2020), clasificar los tipos de cultivos y evaluar sus cambios multitemporales (WEI *et al.*, 2019), analizar las fluctuaciones espaciales y temporales del caudal en las planicies aluviales (PALOMINO-ÁNGEL *et al.*, 2019), estimar volúmenes de cuerpos de agua (LIEBE *et al.*, 2009), entre otros. En Argentina, las imágenes SAR se han empleado para discriminar los tipos de cobertura vegetal (BAUMANN *et al.*, 2018), determinar la rotación de cultivos de invierno (COPATI *et al.*, 2018), estimar el área cubierta por nieve (TEVEROVSKY *et al.*, 2018) y mejorar la clasificación de las coberturas del suelo (DELEGIDO *et al.*, 2016). Su aplicación en cuencas hidrográficas ha permitido generar modelos de elevación digital de alta precisión y delimitar cuencas con mayor exactitud (AMITRANO *et al.*, 2014; LONG *et al.*, 2014; AKBARI *et al.*, 2016). Otras aplicaciones fueron desarrollar modelos para la evaluación hidrológica y geomorfológica (NARDI *et al.*, 2006), calcular índices de posicionamiento topográficos fundamentales para implementar nuevas tecnologías en la agricultura de precisión (MIEZA *et al.*, 2016), entre otros.

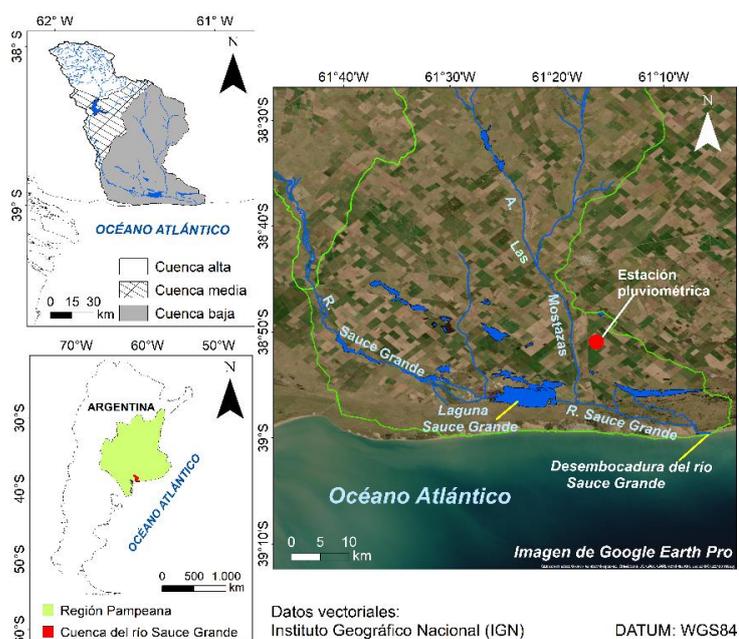
Los sistemas hídricos naturales se caracterizan por una alta variabilidad espacio-temporal por lo que la respuesta hidrológica de una cuenca ante un evento de precipitación es el resultado de múltiples factores (ZABALETA y ANTIGÜEDAD, 2013). En las cuencas hidrográficas de la llanura Pampeana (Argentina), la dinámica de sus recursos hídricos se relaciona directamente con la regularidad, intensidad y frecuencia de la variabilidad pluviométrica (ALIAGA, 2018). El área de estudio es la desembocadura del río Sauce Grande, localizado al sur de la región Pampeana Argentina (Figura 1). El caudal medio es de $2,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ y presenta importantes fluctuaciones como consecuencia de la variabilidad pluviométrica, alcanzando valores de hasta $35 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (BRENDEL, 2020). El estudio de las variaciones morfométricas del río se ha centrado principalmente en la cuenca media y alta, dado que se encuentra el dique Paso de Las Piedras que es un reservorio de gran importancia para la provisión de agua potable para la población y las actividades industriales (CASADO y CAMPOS, 2019; BRENDEL, 2020). Sobre la cuenca inferior, se destaca el trabajo realizado por Fornerón (2012) quien realizó un estudio multitemporal de la morfometría de la desembocadura del río Sauce Grande durante el período 1990-2010, utilizando imágenes satelitales Landsat. Esta autora encontró que la desembocadura presenta variaciones espaciales en su posición. Sin embargo, no se han realizado investigaciones sobre este sector de la cuenca comparando distintas fuentes de información satelital y considerando la variabilidad climática que está sufriendo la región en las últimas décadas (ALIAGA, 2016; BRENDEL, 2020). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios morfométricos de la desembocadura del río Sauce Grande incorporando no solamente datos satelitales ópticos sino

de radar. En aquellos años donde se comprobó cambios importantes en la morfología de la desembocadura del río se realizó un estudio de la variabilidad pluviométrica del área de estudio. Los resultados de este estudio permitieron identificar los procesos geomorfológicos e hidrológicos del río Sauce Grande con mayor precisión y en diferentes condiciones meteorológicas.

ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del río Sauce Grande está localizada al sur de la región Pampeana (Argentina) (Figura 1). Es exorreica y presenta una extensión total de 4856 km², de los cuales 2630 km² corresponden a la cuenca inferior. El río Sauce Grande 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 escorrentía y condicionada por la presencia de la Barrera Medanososa Austral (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).

Figura 1 - Localización de la desembocadura del río Sauce Grande.



Fuente - elaborado por los autores.

METODOLOGÍA

Inicialmente, se realizó un análisis visual de todas las imágenes satelitales de alta resolución (Google Earth) disponibles para el área de estudio (2011-2018). Se constató que, en 2018, la desembocadura del río Sauce Grande presentó un canal distributivo que no había sido identificado previamente. A partir de entonces, se procesaron y evaluaron imágenes satelitales ópticas y de radar, con el objetivo de detectar el momento de generación del nuevo distributivo y evaluar su dinámica espacio-temporal. Las imágenes satelitales ópticas fueron Landsat 8 OLI-TIRS (Tabla 1) y se obtuvieron del catálogo de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE-Argentina) durante el período agosto-diciembre de 2018. En ese mismo lapso, se descargaron imágenes de radar de apertura sintética (SAR) Sentinel 1A y Sentinel 1B (Tabla 2) del sitio web de la Agencia Espacial Europea (ESA, Copernicus

Open Access Hub, <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>). Estas últimas imágenes registran una polarización VH+VV, su nivel de procesamiento está referenciado considerando el modelo de elevación digital Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) y fueron adquiridas en órbita descendente.

Tabla 1 - Descripción de las imágenes satelitales Landsat 8 OLI-TIRS utilizadas.

Fecha de la imagen satelital	Descripción
15/08/2018	LC08L1TP226087201808152018082801T1
31/08/2018	LC08L1TP226087201810182018103101T1
16/09/2018	LC08L1TP226087201809162018092801T1
02/10/2018	LC08L1TP226087201810022018101001T1
18/10/2018	LC08L1TP226087201810182018103101T1
03/11/2018	LC08L1TP226087201811032018111501T1
19/11/2018	LC08L1TP226087201811192018112901T1
05/12/2018	LC08L1GT226087201812052018121101T2
21/12/2018	LC08L1TP226087201812212018122701T1

Fuente - elaborado por los autores.

Tabla 2 - Fechas y descripción de las imágenes Sentinel utilizadas en el presente estudio.

	Fecha de la imagen satelital	Descripción
Sentinel 1A	14/08/2018	S1AIWGRDH1SDV20180814T09161320180814T0916380232400286B1E5DA
	07/09/2018	S1AIWGRDH1SDV20180907T09161520180907T0916400235900291E58AE1
	25/10/2018	S1AIWGRDH1SDV20181019T09154120181019T0916060132190186F48781
	30/11/2018	S1AIWGRDH1SDV20181130T09161520181130T09164002481502BB564DAD
	24/12/2018	S1AIWGRDH1SDV20181224T09161420181224T09163902516502C7AC31E8
Sentinel 1B	08/08/2018	S1BIWGRDH1SDV20180808T09153820180808T09160301216901669D1800
	13/09/2018	S1BIWGRDH1SDV20180913T09154020180913T0916050126940176D222C7
	19/10/2018	S1BIWGRDH1SDV20181025T0916152018102509164002429002A89B8D3E
	12/11/2018	S1BIWGRDH1SDV20181112T09154120181112T0916060135690191E0E9DB
	30/12/2018	S1BIWGRDH1SDV20181230T09153920181230T09160401426901A8A5CDC0

Fuente - elaborado por los autores.

A cada una de las imágenes satelitales Landsat 8 OLI-TIRS, se le aplicó una combinación RGB 564, dado que permite discriminar fácilmente las diferencias entre la tierra y el agua. Este procedimiento fue realizado con el software Arc Gis 10.5 (ESRI®). Por otro lado, las imágenes Sentinel fueron procesadas con el software libre SNAP (Sentinel Application Platform). Se calibraron utilizando la órbita precisa con las efemérides del satélite y se usaron diferentes filtros para remover bordes, ruido térmico y *spleckle* a partir de la utilización del filtro Gamma Map. Las mismas fueron corregidas topográficamente. Para ello, se utilizó como referencia el MDE SRTM (1sec HGT). Se aplicó una interpolación bilineal y se proyectó el mapa a coordenadas UTM WGS84. Posteriormente, se utilizaron técnicas de contraste para identificar cambios en la morfometría del área de estudio. Por un lado, se aplicó la técnica de Bandas Matemáticas. En este nivel del procesamiento se realizó una calibración en las dos bandas de polarización, como así también la conversión de potencia retrodispersada a decibeles ($10 \log_{10}(\sigma_0)$). Además, se empleó la técnica de Diferencias que consistió en la resta entre la primera imagen perteneciente al 14 de agosto de 2018 y las restantes. Con ello, se aumentó el contraste de aquellas zonas que sufrieron modificaciones durante el periodo estudiado.

Finalmente, para explicar la aparición del nuevo canal distributivo se analizó la variabilidad pluviométrica durante el período agosto-diciembre de 2018. Para ello, se utilizó información

pluviométrica diaria de una estación meteorológica localizada a ≈ 20 km de la desembocadura del río Sauce Grande. Los datos fueron cedidos por la Bolsa de Cereales y Productos de Bahía Blanca (<http://www.bcp.org.ar/>). Se calcularon seis índices pluviométricos (Tabla 3), utilizando 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>). El último índice fue definido tras el conocimiento del régimen pluviométrico de la región (*) (Tabla 3). A los datos pluviométricos, se les realizó un análisis de la calidad y de la homogeneidad. 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). A partir de ello, se obtuvo el porcentaje de información faltante y el número de valores atípicos, que no superó el 1 % en cada caso.

Tabla 3 - Índices pluviométricos calculados en este 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 - elaborado por los autores.

La morfometría de la desembocadura del río Sauce Grande durante el período 2011-2018, utilizando imágenes de alta resolución, se muestra en la Figura 2. Se detectó que, a partir de 2018, la desembocadura del río se modificó y se generó un nuevo canal distributivo, con dirección norte-sur, ubicado al oeste de la desembocadura actual. Este no había sido observado en años anteriores (Figura 2).

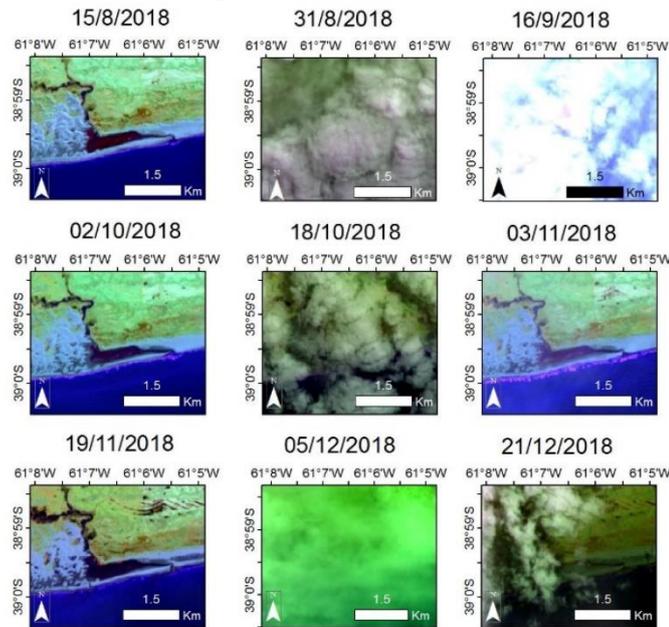
Figura 2 - Morfometría de la desembocadura del río Sauce a partir de imágenes Google Earth durante el período 2011-2018. Altura de visión: 3,8 km.



Fuente - elaborado por los autores.

Para comprender la evolución espacial y temporal de la desembocadura del río Sauce Grande se evaluó, en primera instancia, su dinámica a partir de imágenes satelitales Landsat durante el período agosto-diciembre de 2018 (Figura 3). En este lapso, las imágenes presentaron un elevado porcentaje de nubosidad en la mayoría de los meses, por lo que no permitieron detectar la fecha en la cual se originó el canal distributivo (Figura 3).

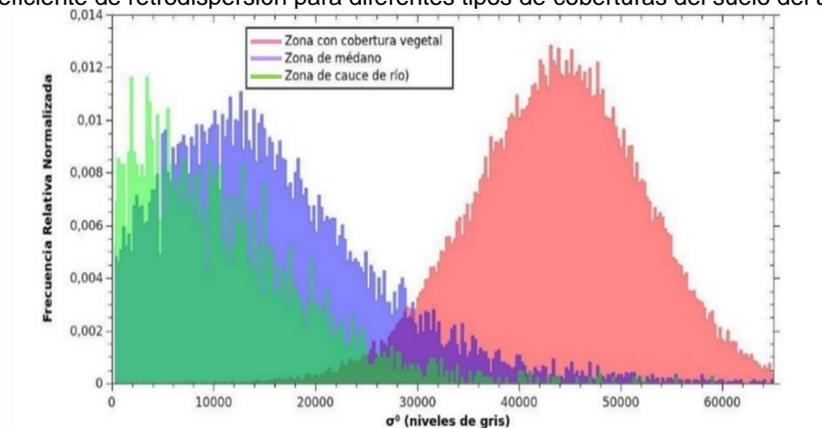
Figura 3 - Combinación RGB 564 de diferentes imágenes Landsat 8 OLI-TIRS durante el período agosto-diciembre de 2018.



Fuente - elaborado por los autores.

Por lo tanto, se procesaron las imágenes de radar Sentinel durante ese mismo período. Las zonas próximas al distributivo y los médanos descubiertos mostraron un coeficiente de retrodispersión elevado que resultó en un escaso contraste y como consecuencia, insuficiente para detectar con exactitud la morfometría de la desembocadura y el nuevo canal distributivo (Figura 4). Esta técnica sólo permitió delimitar con alta precisión las áreas con cobertura vegetal del médano y el cauce del río (Figura 4). El método de segmentación basado en Bandas Matemáticas mostró resultados similares, dado que registró un bajo contraste entre las diferentes cubiertas del suelo. Esto se relacionó con un elevado coeficiente de absorción identificado en el agua y, por lo tanto, un bajo coeficiente de retrodispersión. Además, su valor es bajo dado que el agua refleja especularmente la radiación incidente. Esta situación también se registró en los médanos costeros.

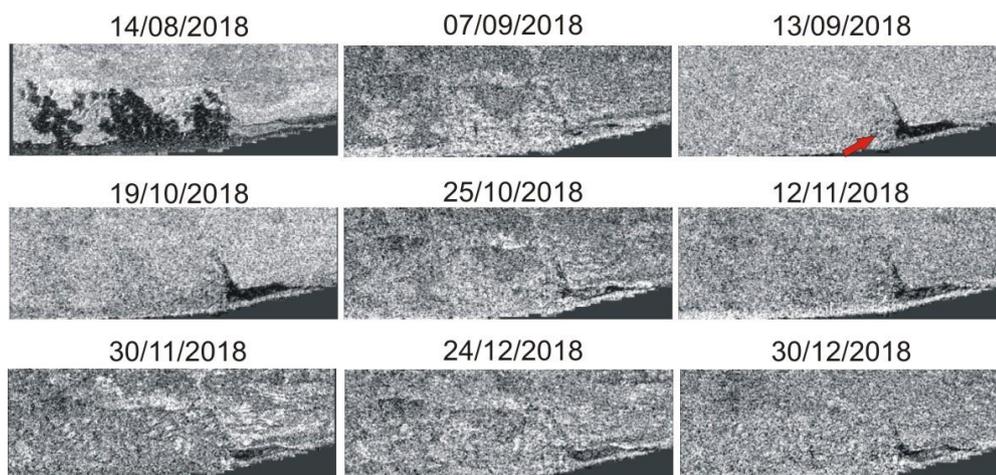
Figura 4 - Coeficiente de retrodispersión para diferentes tipos de coberturas del suelo del área de estudio.



Fuente - elaborado por los autores.

La técnica de Diferencias fue la que permitió obtener el contraste suficiente para discriminar diferentes coberturas del suelo y analizar la evolución espacio-temporal de la desembocadura del río Sauce Grande (Figura 5). La morfometría se modificó durante el periodo de estudio y, durante los días 7 y 13 de septiembre de 2018, se detectó la formación del nuevo canal distributivo (Figura 5). Este se mantuvo hasta noviembre de 2018 (Figura 5).

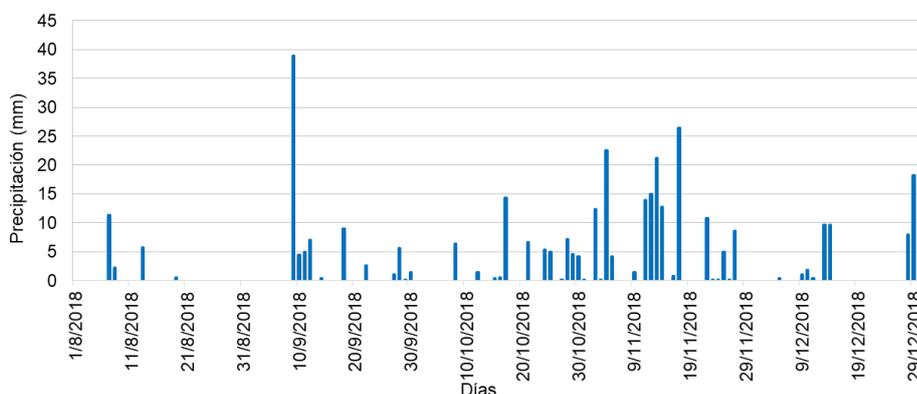
Figura 5 - Evolución espacio-temporal de la desembocadura del río Sauce Grande a partir del procesamiento de imágenes SAR durante el periodo agosto-diciembre de 2018. La flecha roja indica el momento de aparición del nuevo distributivo.



Fuente - elaborado por los autores.

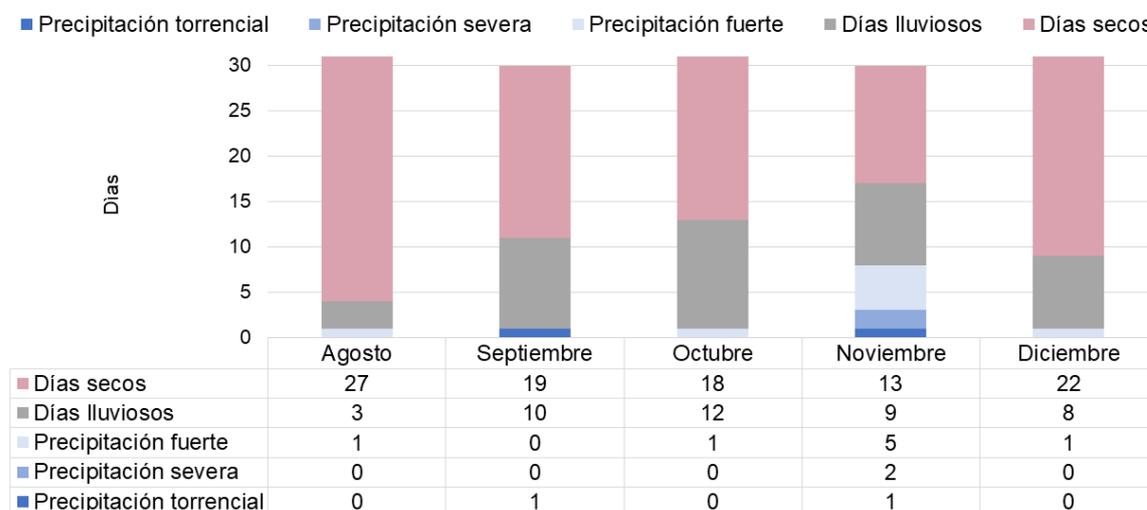
La generación del nuevo canal distributivo, durante la semana del 7 al 13 de septiembre de 2018, se explica por la magnitud de las precipitaciones registradas en esa semana (Figuras 6 y 7). Durante el día 9 de septiembre ocurrió una precipitación torrencial (39 mm/día) y fue la más intensa de todo el periodo de estudio (Figura 6). Los días 10, 11 y 12 de septiembre fueron caracterizados como lluviosos (16 mm en total) (Figura 6). Durante los días posteriores a la formación de este canal también se registraron días lluviosos (p. ej., 27, 28 y 29 de septiembre) (Figura 6). Por otro lado, en octubre se observaron un total de 12 días lluviosos (p. ej., 15 y 16) y un día con precipitación fuerte (17/10, 14 mm/día) (Figuras 6 y 7). Es importante destacar que la precipitación fue abundante para la región en el mes de noviembre (17 días), generando un caudal elevado que favoreció la permanencia de este canal (Figura 7). Del total de días con lluvia, cinco de ellos fueron con lluvias intensas y dos con precipitación severa (Figura 7). Similarmente a septiembre, se detectó un solo día con precipitación torrencial (17/11, 26 mm/día) (Figura 6). Por último, durante diciembre 2018 (similarmente a agosto), los días secos fueron importantes, registrando un total de 22 y no se observaron precipitaciones severas y torrenciales durante este mes. (Figura 7). Las escasas precipitaciones durante diciembre no permitieron mantener el nuevo canal distributivo y, por lo tanto, el río descargó en su desembocadura original.

Figura 6 - Precipitación diaria durante el período agosto-diciembre de 2018.



Fuente - elaborado por los autores.

Figura 7 - Número de días mensuales con precipitación de diferente intensidad durante el período agosto-diciembre de 2018.



Fuente - elaborado por los autores.

CONCLUSIÓN

En este estudio se estudió, por primera vez, la generación de un nuevo canal distributivo en la desembocadura del río Sauce Grande (Argentina). Si bien se tenía conocimiento que la desembocadura del río cambiaba de posición (FORNERÓN, 2012), nunca se había observado la generación de canales intermitentes en la desembocadura del río. En este trabajo, ello ocurrió en septiembre de 2018. La utilización de imágenes Sentinel permitió acotar la incerteza temporal y detectar el período en el cual se originó el canal. Además, la utilización de imágenes SAR fue fundamental para conocer la dinámica espacial y temporal de la desembocadura del río, dado que con las imágenes ópticas no se pudo analizar por el elevado porcentaje de nubes.

El nuevo canal distributivo fue producto de una precipitación torrencial, que no es común en el área. El canal permaneció sólo dos meses en la desembocadura del río. Los resultados encontrados en esta investigación constituyen una base de datos fundamental en el estudio de la dinámica hidrológica de las cuencas, principalmente en aquellas que presentan datos escasos o inexistentes y que, además, presentan una elevada nubosidad.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue realizado en el marco de los proyectos de investigación denominados: "Evaluación de los riesgos ambientales de la variabilidad climática sobre la cuenca media e inferior del río Sauce Grande" financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y la Universidad Nacional del Sur (UNS), "Estudio integrado de estuarios argentinos" y "Estudio integrado de lagunas pampeanas" de la UNS y "Desarrollo de un Modelo de Elevación Digital de alta precisión orientado al estudio geoambiental de distintas cuencas hidrográficas de la región pampeana (Argentina) a partir de datos SAR polarimétricos" financiado por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). Los autores agradecen a la Bolsa de Cereales de Bahía Blanca por los datos meteorológicos cedidos.

REFERENCIAS

AKBARI, A., RAMLI, N. I. B., & KONG, N. S. Application of public domain satellite-based DEMs in natural hazard modelling. **International Journal of Environmental Science and Development**, vol. 7(2), p. 140-144, 2016. <https://doi.org/10.7763/IJESD.2016.V7.756>

- ALIAGA, V.S. *Variabilidad climática de la Región Pampeana y su efecto sobre las lagunas de la región*. Tesis de Doctor en Geografía. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, 193 p., 2018. <https://doi.org/10.4995/raet.2016.5196>
- ALIAGA, V. S., FERRELLI, F., BOHN, V. Y., & PICCOLO, M. C. Utilization of satellite images to understand the dynamics of Pampas shallow lakes. *Revista de Teledetección*, 46, p. 133-146, 2016.
- ALIAGA, V.S., FERRELLI, F., & PICCOLO, M.C. Regionalization of climate over the Argentine Pampas. *International Journal of Climatology*, vol. 37(S1), p. 1237-1247, 2017. <https://doi.org/10.1002/joc.5079>
- AMITRANO, D., MARTINO, G., IODICE, A., MITIDIERI, F., PAPA, M., RICCIO, D., & RUELLO, G. Sentinel-1 for monitoring reservoirs: A performance analysis. *Remote Sensing*, vol. 6 (11), p. 10676-10693, 2014. <https://doi.org/10.3390/rs61110676>
- BAUMANN, M., LEVERS, C., MACCHI, L., BLUHM, H., WASKE, B., GASPARRI, N. I., & KUEMMERLE, T. Mapping continuous fields of tree and shrub cover across the Gran Chaco using Landsat 8 and Sentinel-1 data. *Remote Sensing of Environment*, 216, p. 201-211, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.06.044>
- BRENDEL, A.S. Estudio integral de los recursos hídricos y las coberturas del suelo de la cuenca media y baja del río Sauce Grande (Argentina). Tesis de Doctor en Geografía. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, 189 p., 2020. <https://doi.org/10.19137/huellas-2020-2425>
- 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*, vol. 13 (1), p. 014503, 2019. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.13.014503>
- 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*, 431, p. 107-116, 2020. https://doi.org/10.11137/2020_1_107_116
- 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*, vol. 58(1), p. 6-26, 2019. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v58i1.6751>
- CHEN, H., XU, C.Y., & GUO, S. Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff. *Journal of Hydrology*, vol. 434, p. 36-45, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.02.040>
- CONTRERAS, F., FERRELLI, F., & PICCOLO, M. C. Impactos de eventos secos y lluviosos sobre cuerpos de agua periurbanos subtropicales. *Finisterra*, vol. 55 (114), p. 3-22, 2020.
- COPATI, E. J., HUMBER, M. L., PURICELLI, E., SANCHEZ, A., SAHAJPAL, R., BECKER-RESHEF, I., & EXCHANGE, B. A. G. **Remote sensing observations capture winter crop rotation in Argentina**. In: *AGU Fall Meeting Abstracts*, 2018.
- DELEGIDO, J., TENJO, C., RUIZ-VERDU, A., PEREIRA-SANDOVAL, M., PASQUALOTTO, N., GIBAJA, G., & SANCHIS-MUÑOZ, J. **Aplicaciones de Sentinel-2 a estudios de vegetación y calidad de aguas continentales**. In: *XVII Simposio Internacional en Percepción Remota y Sistema de Información Geográfica (SELPER)*, pp. 7-11, 2016.
- FERRELLI, F., BUSTOS, M.L., & PICCOLO, M.C. La expansión urbana y sus impactos sobre el clima y la sociedad de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. *Estudios Geográficos*, vol. 77, p. 469-489, 2016. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201615>
- FORNERÓN, C.F. Hidrografía de la laguna Sauce Grande (provincia de Buenos Aires) en época de sequía. Tesis de Doctor en Geografía. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, 211 p., 2012.
- GHOSH, B., MOTAGH, M., HAGHSHENAS HAGHIGHI, M., & MAGHSUDI, S. **Automatic Flood Monitoring based on SAR Intensity and Interferometric Coherence using Machine Learning**. In: *EGU General Assembly Conference Abstracts*, pp. 12954, 2020. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-12954>
- GIL, V. Hidrogeomorfología de la cuenca alta del río Sauce Grande aplicada al peligro de Crecidas. Tesis de Doctor en Geografía. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, Argentina, 289 p., 2010.

- GONZÁLEZ SANPEDRO, M. Optical and radar remote sensing applied to agricultural areas in Europe. Tesis de Doctor en Física. Departamento de Física de la Tierra y Termodinámica, Universidad de Valencia, España, 355 p., 2008.
- GUERSCHMAN, J.P., PARUELO, J.M., BELLA, C.D., GIALLORENZI, M.C., & PACIN, F. Land cover classification in the Argentine Pampas using multi-temporal Landsat TM data. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 24(17), p. 3381-3402, 2004. <https://doi.org/10.1080/0143116021000021288>
- ISLA, F.I., CORTIZO, L., ORELLANO TURNO, H. Dinámica y Evolución de las Barreras Medanosas, Provincia de Buenos Aires, Argentina. **Revista Brasileira de Geomorfología**, vol. 2(1), p. 73-83, 2001. <https://doi.org/10.20502/rbg.v2i1.9>
- LONG, S., FATOYINBO, T. E., & POLICELLI, F. Flood extent mapping for Namibia using change detection and thresholding with SAR. **Environmental Research Letters**, vol. 9(3), p. 035002, 2014. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/3/035002>
- 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**, vol. 40, p. 150–160, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.02.005>
- KOUSIK, D., & PRABIR KUMAR, P. Soil moisture retrieval model by using RISAT-1, C-band data in tropical dry and sub-humid zone of Bankura district of India. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space**, vol. 18, p. 297–310, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.09.004>
- LIEBE, J.R., VAN DE GIESEN, N., ANDREINI, M.S., STEENHUIS, T.S., & WALTER, M.T. Suitability and limitations of ENVISAT ASAR for monitoring small reservoirs in a Semiarid Area. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol. 47, p. 1536–1547, 2009. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2008.2004805>
- MIEZA, M.S., CRAVERO, W.R., KOVAC, F.D., & BARGIANO, P.G. Delineation of site-specific management units for operational applications using the topographic position index in La Pampa, Argentina. **Computers and Electronics in Agriculture**, vol. 127, p. 158-167, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.06.005>
- MOLINA-NAVARRO, E., TROLLE, D., MARTÍNEZ-PÉREZ, S., SASTRE-MERLÍN, A., & JEPPESEN, E. Hydrological and water quality impact assessment of a Mediterranean limno-reservoir under climate change and land use management scenarios. **Journal of Hydrology**, vol. 509, p. 354-366, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.11.053>
- NARDI, F., VIVONI, E.R., & GRIMALDI, S. Investigating a floodplain scaling relation using a hydrogeomorphic delineation method. **Water Resources Research**, vol. 42, p. 09409, 2006. <https://doi.org/10.1029/2005WR004155>
- PALOMINO-ÁNGEL, S., ANAYA-ACEVEDO, J. A., SIMARD, M., LIAO, T. H., & JARAMILLO, F. Analysis of floodplain dynamics in the Atrato River Colombia using SAR interferometry. **Water**, vol.11(5), p. 875, 2019. <https://doi.org/10.3390/w11050875>
- TEVEROVSKY, S. A., PASCUAL, I. G., NOTARNICOLA, C., DE SALMUNI, G.S. **Estimation of wet snow cover area with SAR imagery in the basin of Tupungato River, Mendoza, Argentina**. In: *IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON)*, pp. 1-6, 2018. <https://doi.org/10.1109/ARGENCON.2018.8646034>
- WEI, S., ZHANG, H., WANG, C., WANG, Y., & XU, L. Multi-temporal SAR data large-scale crop mapping based on U-Net model. **Remote Sensing**, vol. 11(1), 68, 2019. <https://doi.org/10.3390/rs11010068>
- ZABALETA, A., & ANTIGÜEDAD, I. Streamflow response of a small forested catchment on different timescales. **Hydrology and Earth System Sciences**, vol. 171, p. 211-223, 2013. <https://doi.org/10.5194/hess-17-211-2013>
- ZHANG, X., & YANG, F. *RClmDex (1.1) user manual*. [Consulta: 03/09/2020]. Disponible en: <http://cccma.Seos.Uvic.Ca/ETCCDI/software.shtml>. 2013.