

BELÉN MORETTO<sup>a</sup>  
JORGE O. GENTILI<sup>b</sup>  
ALICIA M. CAMPO<sup>c</sup>

## EL RELIEVE COMO UN FACTOR DE LA PELIGROSIDAD DE INUNDACIÓN EN LA CUENCA ALTA DEL ARROYO SAUCE CORTO (BUENOS AIRES, ARGENTINA)

### RESUMEN

El análisis de las características del relieve de una cuenca hidrográfica es de relevancia para el estudio del peligro de inundación. Su influencia en los procesos hidrológicos y geomorfológicos y las características meteorológicas poseen estrecha relación con los fenómenos que se manifiestan en su superficie. El objetivo del trabajo es analizar los parámetros (altura media, desnivel, gradiente de pendiente y orientación de ladera) que definen el relieve de la cuenca alta del arroyo Sauce Corto como factores de la peligrosidad de inundación. Se emplearon parámetros e índices morfométricos asociados al relieve a dos niveles categóricos: por un lado, a nivel de cada subcuenca en particular y, por el otro lado, de forma conjunta según la margen del curso principal a la que aportan sus aguas. En las subcuencas del suroeste y sur de la cuenca alta del arroyo Sauce Corto (Martirio, Cerro 832, Nacimiento Oeste y Nacimiento Este), es posible inferir crecidas súbitas potenciadas por los elevados gradientes de pendientes. Asimismo, en las subcuencas de la margen izquierda del curso principal, se aceleran los procesos de escorrentía dadas las características altitudinales y de pendiente de estas. Este estudio permite comprender la distribución y asociación de las variables del relieve que conforman la peligrosidad asociada a eventos de inundación.

**PALABRAS CLAVE:** pendientes; parámetros morfométricos; crecidas; Sistema de Ventania.

---

a Departamento de Geografía y Turismo (DGyT), Universidad Nacional del Sur (UNS) – CONICET. Bahía Blanca, Argentina. belen.moretto@uns.edu.ar (Autora de correspondencia), <https://orcid.org/0000-0003-4854-8967>

b Departamento de Geografía y Turismo (DGyT), Universidad Nacional del Sur (UNS) – CONICET. Bahía Blanca, Argentina. jogentili@uns.edu.ar, <https://orcid.org/0000-0002-4787-4667>

c Departamento de Geografía y Turismo (DGyT), Universidad Nacional del Sur (UNS) – CONICET. Bahía Blanca, Argentina. amcampo@uns.edu.ar, <https://orcid.org/0000-0003-1150-4039>

Fecha de recepción: 25-04-2023. Fecha de aceptación: 17-12-2023.

## RELIEF AS A FACTOR OF FLOOD HAZARD IN THE UPPER BASIN OF THE SAUCE CORTO STREAM (BUENOS AIRES, ARGENTINA)

### ABSTRACT

The analysis of the relief characteristics of a hydrographic basin is relevant for the study of flood danger. Its influence on hydrological and geomorphological processes and meteorological characteristics is closely related to the phenomena that manifest on its surface. The aim of the work is to analyze the parameters (average height, unevenness, slope gradient and slope orientation) that define the relief of the upper basin of the Sauce Corto stream as factors of flood hazard. Parameters and morphometric indices associated with the relief were used at two categorical levels: on the one side at the level of each sub-basin in particular and on the other side jointly according to the margin of the main course to which their waters contribute. In the southwestern and southern subbasins of the upper basin of the Sauce Corto stream (Martirio, Cerro 832, Nacimiento Oeste and Nacimiento Este) it is possible to infer sudden floods enhanced by the high slope gradients. Likewise, in the subbasins on the left bank of the main course, runoff processes are accelerated given their altitudinal and slope characteristics. This study allows us to understand the distribution and association of the relief variables that make up the hazard associated with flood events.

KEYWORDS: slopes; morphometric parameters; floods; Ventania System.

### INTRODUCCIÓN

El agua es un factor vital para la formación del relieve y su acción se hace más o menos evidente dependiendo del aumento o disminución de su transferencia y capacidad de erosión (Pedraza Gilsanz, 1996; Senciales González, 1999; Espinosa Rodríguez et al., 2018). El conjunto de aguas que drenan hacia un mismo colector configuran una cuenca hidrográfica, que constituye una unidad hidrológica y geográfica bien definida (López Baez, 2014; Moreira Braz et al., 2020). La cuenca cumple la función de recibir, almacenar y devolver el agua al circuito hidrológico, en proporciones que varían de acuerdo con la combinación de las características topográficas, litológicas, geomorfológicas, hidrográficas, biogeográficas y fitogeográficas, en su relación con el clima (Bruniard, 1992).

Por tanto, el estudio de los elementos que conforman una cuenca fluvial como unidad de gestión y entendida como sistema resulta imprescindible para comprender el funcionamiento de esta (Moreira Braz et al., 2020). El análisis del relieve es un aspecto básico en este tipo de estudios, debido a su influencia sobre los procesos hidrológicos y geomorfológicos, así como a su relación con las características meteorológicas, ya que la configuración topográfica se encuentra estrechamente relacionada con los fenómenos que se manifiestan en su superficie. En la actualidad, existen diversas técnicas que posibilitan el análisis de las distintas variables que caracterizan las cuencas y su red hidrográfica con el fin de elaborar conclusiones en relación con su respuesta hidrológica. A partir de ahí, han sido numerosos los trabajos sobre geomorfometría fluvial (Pike et al., 2009) que permiten inferir la dinámica hidrográfica de una cuenca

y los procesos que de ella se derivan. Al respecto, se puede mencionar como ejemplo los trabajos en los últimos años de Khan et al. (2021), Sharma et al. (2022), Jana y Paul (2022) y Khatoun y Javed (2022).

En Argentina, los estudios a nivel de cuenca son de diferente índole. Se realizaron análisis de parámetros e índices morfométricos (Aumassanne et al., 2018; Vargas et al., 2020; Vich et al., 2021), así como también de evaluación geomorfológica de cuencas (Fucks et al., 2017; Ocaña et al., 2020) para el estudio de la peligrosidad. En los últimos años, en el sur bonaerense se realizaron estudios integrales de cuencas hidrográficas pertenecientes al Sistema de Ventania: la cuenca del arroyo Sauce Grande (Gil, 2010), la cuenca del arroyo Sauce Corto (Gentili, 2012), la cuenca del arroyo San Bernardo (Volonté 2017), la cuenca del arroyo Saladillo García (González, 2018). Asimismo, en relación con la dinámica fluvial en cuencas no aforadas, Gil et al. (2009) evaluaron la influencia de la litología, la estructura y la morfología en índices morfométricos para subcuencas del río Sauce Grande y el arroyo Sauce Corto. Ortuno Caño y Gentili (2022) analizaron factores asociados al relieve de la cuenca del arroyo Cura Malal Grande (CCMG) y su incidencia en la dinámica hidrográfica. A su vez, Gil et al. (2016), Gil et al. (2019) y Moretto et al. (2019) evaluaron la potencialidad para generar crecidas a partir de la combinación de índices morfométricos en cuencas serranas del Sistema de Ventania. Por tanto, en el ámbito nacional los trabajos de dicha índole están orientados a contribuir a la peligrosidad de inundación. En este sentido, cobran cada vez más visibilidad este tipo de investigaciones como consecuencia de una mayor conciencia de los temas ambientales (Rotger, 2017).

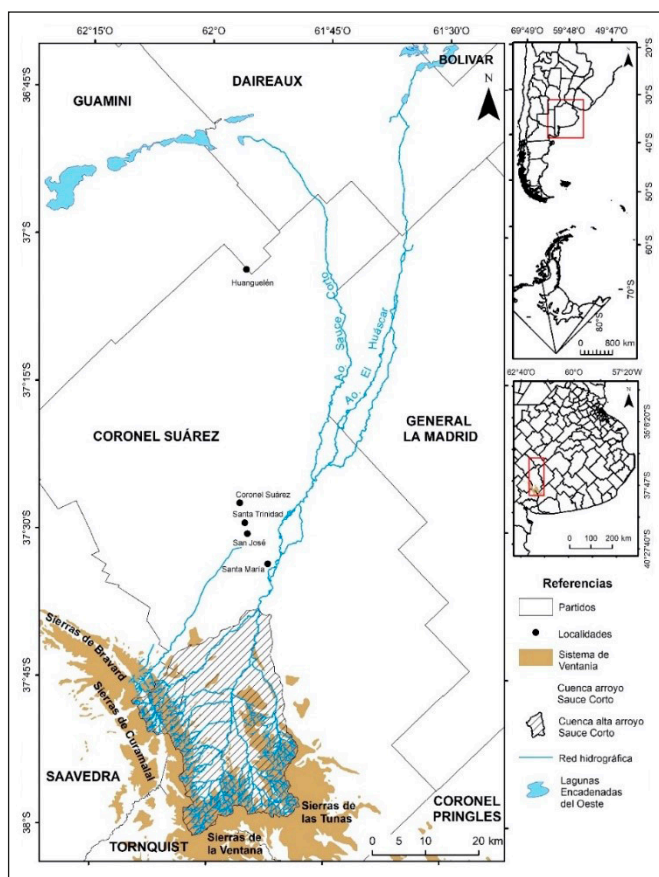
Dentro de la llanura pampeana, en el suroeste de la provincia de Buenos Aires se erige el Sistema de Ventania. El principal arroyo que se origina en la vertiente norte de dicho sistema es el Sauce Corto. La dinámica fluvial en la zona es generada por la combinación de factores hidrometeorológicos, geológicos y geomorfológicos, donde la deposición y erosión eólica han jugado un importante papel en la desorganización de la red fluvial (Pereyra y Ferrer, 1995; Pereyra et al., 2001; Gil et al., 2009). La ocurrencia de precipitaciones extremas en el área da lugar a crecidas que provocan eventos de inundación, que afectan a las principales localidades del partido de Coronel Suárez. El objetivo del trabajo es analizar los parámetros (altura media, desnivel, gradiente de pendiente y orientación de ladera) que definen el relieve de la cuenca alta del arroyo Sauce Corto como factores de la peligrosidad de inundación. La inclusión del relieve como variable para comprender las causas que conforman la peligrosidad resulta de relevancia como insumo para los estudios de riesgo de inundación y anegamiento y su gestión.

### ÁREA DE ESTUDIO

El Sistema de Ventania emerge de la llanura pampeana circundante en el suroeste de la provincia de Buenos Aires (figura 1). Formado por un conjunto de elevaciones bien definidas con una orientación noroeste-sureste, constituye una unidad orográfica propia que abarca 175 km de longitud y alcanza un ancho máximo de 50 km en su parte central (Harrington, 1947). El área de estudio del presente trabajo se circunscribe a la cuenca alta de la principal cuenca hidrográfica que tiene la vertiente norte del Sistema de Ventania: el arroyo Sauce Corto (SC). Sus nacientes se originan en las Sierras de Curamalal, Bravard, de la Ventana y de las Tunas. Es una cuenca de alimentación exclusivamente pluvial (Gentili, 2012),

que drena sus aguas en sentido sur-norte hacia el centro de la provincia y hasta la depresión de la cuenca de las “Lagunas Encadenadas del Oeste” (figura 1). La cuenca alta destaca por poseer una estructura de disipación bien integrada (sistemas hidrológicos típicos, SHT) con elementos lineales bien jerarquizados, al igual que los restantes arroyos que provienen de las sierras, lo que genera un escurrimiento organizado dominado por la pendiente. No obstante, la dinámica fluvial en la zona es generada por la combinación de factores hidrometeorológicos, geológicos y geomorfológicos, donde la deposición y erosión eólica jugaron un importante papel en la desorganización de la red fluvial (Pereyra y Ferrer, 1995; Pereyra et al., 2001; Gil et al., 2009), aguas abajo de la cuenca alta. En este sector, como consecuencia también de cambios en la pendiente, el arroyo se comienza a comportar como un sistema hidrológico no típico.

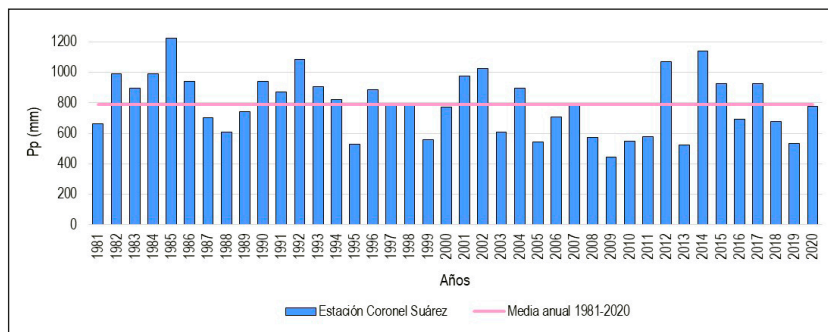
Figura 1. Arroyo Sauce Corto y su cuenca alta



El área se emplaza en la franja planetaria de climas templados con estaciones térmicas y pluviométricas marcadas (Campo de Ferreras et al., 2004). Las variaciones de las temperaturas guardan relación

con la continentalidad, la exposición a los flujos de aire dominantes, la orientación de la costa y las corrientes oceánicas (Campo de Ferreras et al., 2004). Los rasgos de continentalidad aumentan de noroeste a suroeste, y se evidencia una disminución notoria de los montos de precipitación. El régimen de precipitación se extiende de octubre a marzo y se presenta una estación relativamente seca de mayo a septiembre (Casado y Campo de Ferreras, 2019). El sistema serrano actúa como una divisoria de aguas; las diferencias altitudinales de los cordones y la orientación de estos provoca marcadas variaciones interanuales y estacionales que generan un cambio en el comportamiento y los montos de las lluvias (Gentili y Gil, 2013). La presencia del cordón serrano genera una sobreexcitación orográfica en las precipitaciones zonales que aumenta la cantidad de lluvia caída en los faldeos más expuestos a los vientos (Zapperi et al., 2007). La cuenca alta del arroyo Sauce Corto (y las localidades del partido de Coronel Suárez próximas a ella) se emplaza en esta área, donde la variabilidad de los elementos climáticos enunciada guarda una estrecha relación con la ocurrencia y la dinámica de los eventos de excesos hídricos. En el área de estudio, la media anual para los años entre 1981 y 2020 es de 791,7 mm (figura 2). En la figura 2 se observa la variabilidad interanual de las precipitaciones para la estación de Coronel Suárez, característica del suroeste bonaerense evaluada por diferentes autores (Casado y Campo, 2019; Scian, 2000). Por un lado, el año más lluvioso fue 1985, con un valor acumulado de 1.222,5 mm, seguido del año 2014, con 1.141,5 mm, 1992 con 1.083,9 y 2012 con 1.072,8 mm.

Figura 2. Precipitación anual y precipitación media anual en la estación Coronel Suárez para el período 1981-2020

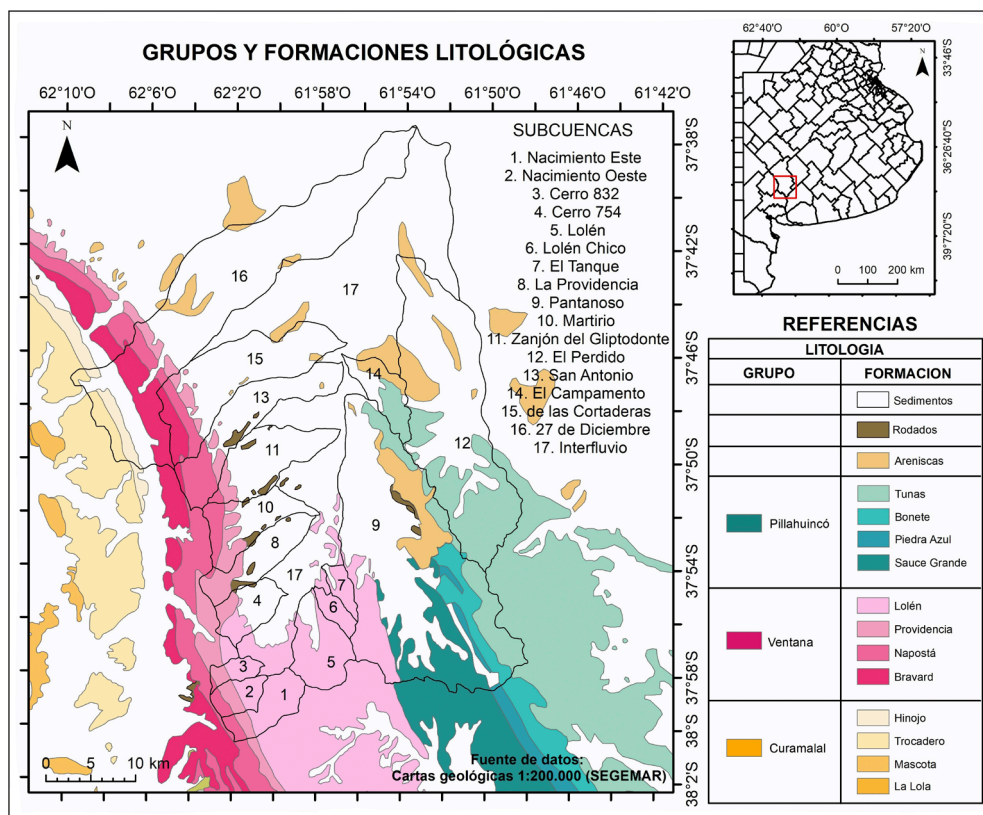


Fuente: elaborada por los autores a partir de datos del Servicio Meteorológico Nacional.

Von Gosen et al. (1990) consideran el Sistema de Ventania como una “faja plegada y corrida” con relevantes fallas inversas subaflorantes paralelas al rumbo de las sierras. Litológicamente, la cuenca del arroyo Sauce Corto en la región serrana se desarrolla sobre el basamento precámbrico de las Sierras de la Ventana (figura 3). No obstante, Selles Martínez (2001) y Dimieri et al. (2005) señalan que el aspecto principal del sistema son los pliegues (afectan a toda la pila estratigráfica del Paleozoico) en donde en forma subordinada aparecen las fallas. Sobre ella se apoyan sedimentos que pertenecen al Paleozoico y que fueron asignadas por Harrington (1947) a tres grandes grupos de series o unidades estratigráficas

pertencientes al Paleozoico inferior (Serie Curamalal y Ventana) y superior (Serie Pillahuincó). En el sector del valle intermontano y en la llanura discurren sedimentos del Plioceno (Terciario) y rodados del Pleistoceno (Cuaternario) (figura 3). En particular, el área extraserrana se encuentra en su mayoría conformada por estos últimos, sedimentos pertenecientes a las formaciones Pampeana y Postpampeana. Estos sedimentos también se encuentran en los valles principales hasta alturas considerables. Existen en menor medida depósitos de rodados de diferente edad (Pereyra et al., 2001; Selles Martínez, 2001). Desde el punto de vista geomorfológico, la cuenca alta del arroyo Sauce Corto corresponde a una superficie de planación regional cubierta de depósitos eólicos, principalmente loésicos, de diferentes eventos de deposición y en donde son frecuentes sectores sin cobertura vegetal ni edáfica, caracterizado también por eventos de deflación, lo que da lugar a la formación de cubetas (Pereyra y Ferrer, 1995; Pereyra et al., 2001).

Figura 3. Litología del área de estudio



La cuenca alta discurre sobre los partidos (división política-administrativa) de Coronel Suárez, Saavedra y Tornquist. Es en el partido de Coronel Suárez donde se localizan los núcleos poblados del área que son afectados por lo que ocurre aguas arriba. La localidad de Coronel Suárez, cabecera del partido homónimo, cuenta con un total de 23.621 personas; San José, con 2.234 habitantes; Santa Trinidad, con 1.474, y Santa María, con 1.832 (INDEC, 2013<sup>1</sup>) (figura 3). La vegetación original predominante del área es la estepa de gramíneas (Cabrera, 1976). Las características climáticas, junto a las topográficas y a la importante aptitud de los suelos, constituyen el territorio adecuado para el desarrollo de la agricultura y la ganadería, que representa una de las principales actividades económicas del sector.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Recopilación y tratamiento de la información*

Se vectorizaron la red hidrográfica, las curvas de nivel y los puntos acotados de 22 cartas topográficas del Instituto Geográfico Nacional (IGN) digitalizadas a escala 1:50.000. A partir de ellas se generó el Modelo Digital del Terreno (MDT) mediante el interpolador Topo to Raster, provisto por ArcGIS 10®. Con los datos descritos se delimitaron las cuencas hidrográficas y se jerarquizaron las redes de drenaje según Strahler (1964) para delimitar las unidades de diagnóstico objeto de análisis (16 subcuencas).

### *Parámetros e índices morfométricos asociados al relieve*

Los parámetros e índices morfométricos se analizaron a dos niveles categóricos: por un lado, considerando cada una de las subcuencas individualmente para describir la dinámica en particular de cada una y, por otro, teniendo en cuenta grupos de subcuencas según la margen del curso principal a la cual aportan sus aguas, para comprender cómo se comportan en su conjunto.

Se determinaron los parámetros morfométricos de medición directa: área, perímetro, longitud del cauce principal de la cuenca, cota máxima y mínima (tabla 1). Cabe destacar que estos dos últimos son considerados dentro de los parámetros asociados al relieve y a partir de la diferencia entre ambos se obtiene el desnivel de cuenca (H).

A continuación se obtuvieron los parámetros e índices relativos a las propiedades del relieve (hipsoimetría, gradientes de pendiente, pendiente media, orientación de la pendiente, rectángulo equivalente y tiempo de concentración). Se determinaron a través de mediciones indirectas con apoyo de herramientas de ArcGIS 10® y Microsoft Excel® a partir de sus respectivas fórmulas matemáticas. Se obtuvo el mapa de pendientes (ráster) a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT). Para definir los rangos de pendiente de las cuencas se utilizó la clasificación propuesta por Van Zuidam (1985) acotada a seis clases de acuerdo con las características del sector de estudio. El análisis se complementó con el estudio de los gradientes de pendiente de cada subcuenca en función de la proporción de estos, en términos

---

1 Se considera el dato del censo 2010 para cada una de las localidades, dado que en el momento de desarrollo del trabajo los datos del censo 2022 no se encuentran desagregados.

absolutos y relativos. Asimismo, se obtuvo el mapa de orientaciones de la cuenca, donde los valores parten de 0° a 360° según la orientación respecto al norte, debido a que incide en el comportamiento hidrológico de cada una de las cuencas. Esto resulta relevante en los estudios hidrológicos, como consecuencia de su influencia en la caracterización morfológica producto de su intervención en los aspectos climáticos a nivel local (zonas de umbría y solana) (Sastre Olmos, 2010). A partir de la reclasificación de ambos parámetros (pendiente y orientación), se combinaron ambos productos ráster para representar simultáneamente estos aspectos morfológicos. Asimismo, se calculó el rectángulo equivalente de cada subcuenca siguiendo a Villón Bejar (2004), que permite representar una cuenca con la forma de un rectángulo con la misma área y perímetro que la cuenca.

Tabla 1. Parámetros morfométricos

Parámetro	Unidad	Significado
Área (A)	km <sup>2</sup>	Área de la cuenca hidrográfica
Perímetro (P)	km	Perímetro de la cuenca hidrográfica
Longitud del cauce principal (Lmax)	km	Longitud de la cuenca hidrográfica
Cota máxima (H max)	m	Cota del punto más alto de la cuenca hidrográfica
Cota mínima (H min)	m	Cota del punto más bajo de la cuenca hidrográfica

Asimismo, para completar el análisis se calculó el tiempo de concentración ( $T_c$ ) y el coeficiente de torrencialidad de cada subcuenca. En el primer caso, se refiere al tiempo a partir del cual cada una de ellas contribuye al caudal en el punto de salida de esta (Chow et al., 1994). Para su obtención se utilizó la fórmula de la división de California Highways and Publics Works de Estados Unidos:

$$T_c = 0,95 \left( \frac{L_{max}^2}{H} \right)^{0,385}$$

donde  $L_{max}$  es la longitud del curso principal y  $H$  es el desnivel.

En cuanto al coeficiente de torrencialidad ( $C_t$ ), este es un índice que, por medio de la relación del número de cauces de orden uno con respecto a la superficie de la cuenca, posibilita obtener una aproximación al estudio de máximas crecidas, ya que está relacionado con la capacidad de descarga de una cuenca (Senciales González, 1999):

$$C_t = Dd \times \left( \frac{Nu^1}{A} \right)$$

donde  $Dd$  es la densidad de drenaje y  $Nu$  es el número de cauces de orden 1.



Del cálculo de los parámetros básicos se derivaron otros índices asociados a la forma del relieve: razón de relieve ( $Rr$ ), relación de relieve ( $R$ ), coeficiente de masividad ( $Cma$ ) y coeficiente orográfico ( $Co$ ) (tabla 2).

Tabla 2. Índices morfométricos asociados al relieve

Índice	Fórmula	Significado
Razón de relieve ( $Rr$ )	$Rr = \frac{H}{Lmax}$	$H$ : desnivel absoluto $Lmax$ : longitud de la cuenca (Schumm, 1956)
Relación de relieve ( $R$ )	$Rr = \frac{H}{P}$	$H$ : desnivel absoluto $P$ : perímetro de la cuenca (Melton, 1957)
Coficiente de Masividad ( $CMa$ )	$CMa = \frac{Hm}{A}$	$Hm$ : altura media $A$ : área de la cuenca (De Martonne, 1940)
Coficiente Orográfico ( $CO$ )	$CO = Hm \times CMa$	$Hm$ : altura media $CMa$ : coeficiente de masividad (De Martonne, 1940)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

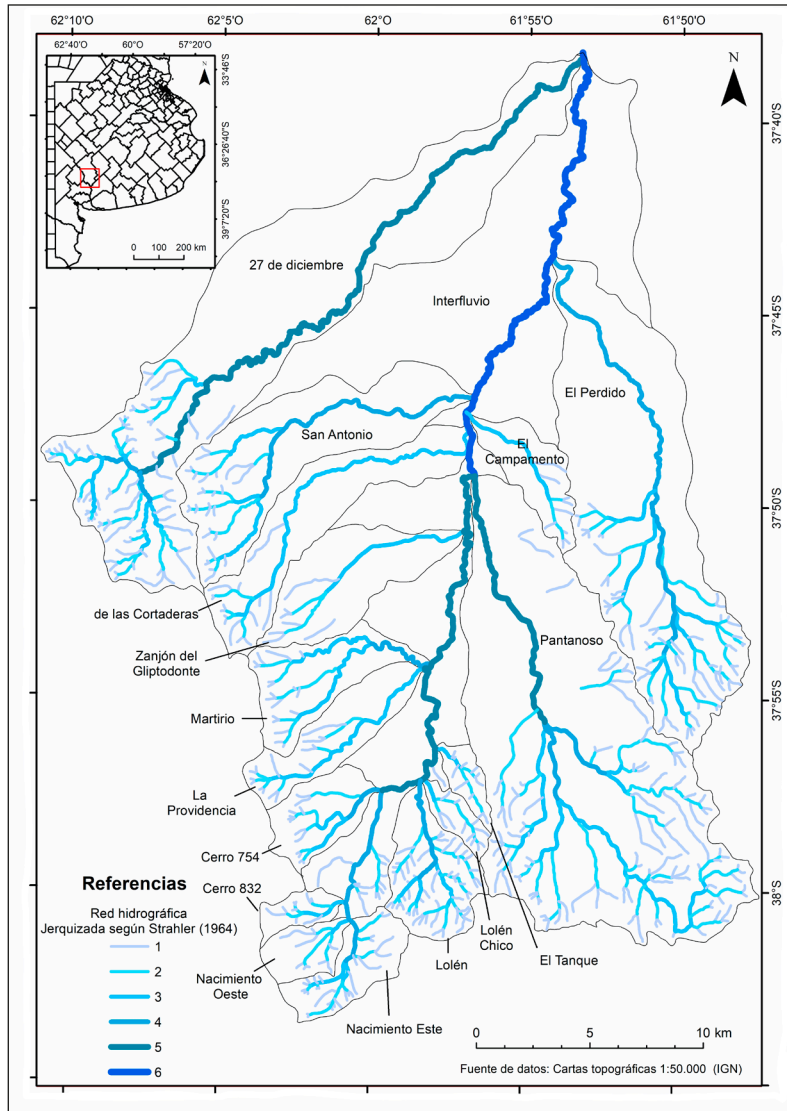
### *Análisis de los parámetros e índices del relieve a nivel de subcuencas*

La cuenca alta del arroyo Sauce Corto está conformada por 16 subcuencas (de orden 3 o superior) consideradas como unidades de diagnóstico y un área de interfluvio (figura 4).

Los parámetros morfométricos para cada subcuenca se observan en la tabla 3. Un parámetro de gran interés es el área de una cuenca, a partir del cual se derivan índices morfométricos que permiten determinar el estado erosivo de las cuencas y establecer una primera clasificación en cuanto a su tamaño (Jardí, 1985; Chow et al., 1994). El tamaño de la cuenca tendrá incidencia en el volumen de agua recibida y, por ende, en la consecuente generación de procesos erosivos y de crecidas (Bruniard, 1992). La cuenca Pantanoso es la de mayor superficie y le siguen en orden decreciente 27 de Diciembre y El Perdido; El Tanque, Lolén Chico y Cerro 832 son las de menor tamaño (tabla 3). Este parámetro por sí solo supone que en cuencas con superficies pequeñas, tal y como plantean Méndez et al. (2015), los tiempos de concentración de la escorrentía son menores, con mayor susceptibilidad a experimentar crecidas súbitas en las que toda el área de la cuenca se activa y aporta agua al sistema principal. El perímetro de una cuenca es un parámetro a partir del cual se calculan otros índices y que se encuentra estrechamente vinculado al área de la cuenca, ya que es directamente proporcional (Senciales González, 1999) (tabla 3). La longitud del cauce principal incide en el comportamiento hidrológico de esta y, al igual que el resto de los parámetros, es determinante para el cálculo de la mayoría de los índices morfométricos. Se observa en la tabla 3 que las cuencas de mayor longitud se corresponden con las de mayor superficie, con tiempos de concentración mayores

(27 de Diciembre, Pantanoso y El Perdido poseen un  $T_c$  de 6, 5 y 4 horas respectivamente) (tabla 5). Aquellas cuencas con altos valores en estos parámetros evidencian un crecimiento longitudinal, como las cuencas de Pantanoso, 27 de Diciembre y El Perdido; en cambio, en cuencas como El Tanque, Lolén Chico y Cerro 832 la tendencia es hacia el crecimiento lateral.

Figura 4. Red hidrográfica de la cuenca alta del arroyo SC



Fuente: modificado de Gentili (2012).

Tabla 3. Parámetros morfométricos

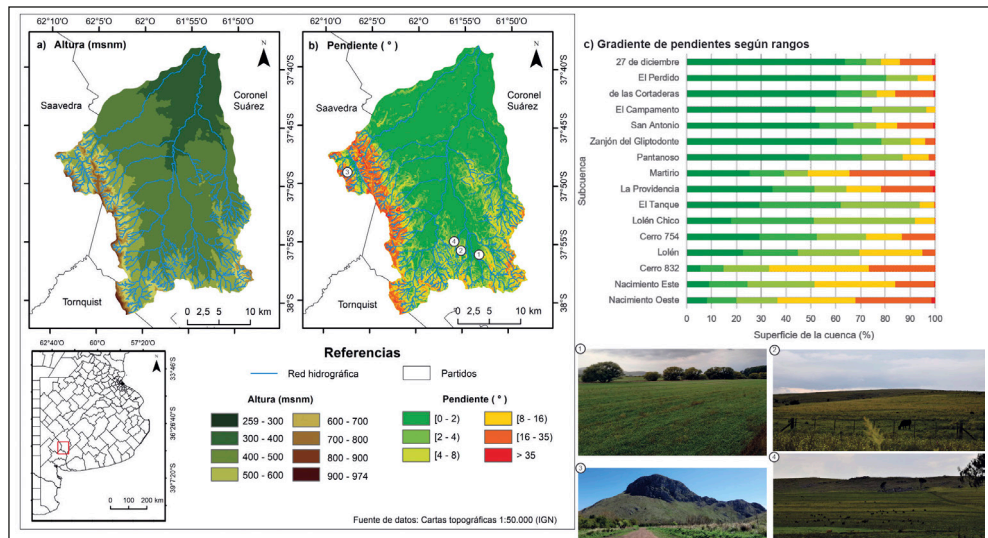
Cuenca	Parámetro				
	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Longitud del cauce (km)	Cota máxima (m.s.n.m.)	Cota mínima (m.s.n.m.)
27 de Diciembre	127,45	79,75	40,65	906	260
Cerro 832	4,89	11,26	3,92	931	405
Cerro 754	13,00	16,20	5,96	867	365
de las Cortaderas	48,17	38,25	18,43	830	288
El Campamento	12,64	19,08	8,06	411	289
El Perdido	100,43	55,44	25,98	616	275
El Tanque	4,58	10,94	4,27	444	345
La Providencia	18,11	22,78	10,59	914	328
Lolén	19,35	19,46	8,36	627	348
Lolén Chico	4,61	10,61	4,46	472	347
Martirio	20,12	23,37	10,71	925	327
Nacimiento Este	13,32	18,24	5,51	951	406
Nacimiento Oeste	7,59	11,71	3,78	973	408
Pantanoso	149,73	62,26	30,64	751	296
San Antonio	32,55	36,14	17,83	932	290
Zanjón del Gliptodonte	25,34	24,71	11,04	766	303

La cuenca alta del arroyo SC presenta una altura máxima de 973 m.s.n.m. y una altura mínima de 259 m.s.n.m., lo que determina un desnivel de 714 m.s.n.m. (figura 5). Del análisis de las diferentes subcuencas, Nacimiento Oeste presenta la cota máxima (973 m.s.n.m.) y le sigue en orden de importancia Nacimiento Este (951 m.s.n.m.). La menor altura le corresponde a El Campamento (411 m.s.n.m.) y a El Tanque (444 m.s.n.m.). Los valores del desnivel altitudinal en el área de estudio se encuentran en el rango entre los 646 y los 99 m.s.n.m. (tabla 4). Las diferencias de desnivel entre las cuencas configuran una peligrosidad diferente en cada una de ellas, y es mayor en aquellas subcuencas con diferencias altitudinales significativas. Se observa que los valores más altos de este parámetro, en términos generales, pueden deberse a la gran extensión de las unidades, lo que contribuye a las diferencias en las configuraciones topográficas. Estas heterogeneidades en las rugosidades del relieve influyen en la respuesta hidrológica de cada una de las subcuencas ante precipitaciones excesivas (Sala y Gay, 1981; Senciales González, 1999).

La pendiente media de la cuenca alta es de 4,07°. Los valores de pendiente de mayor frecuencia (un 64,76 % de la cuenca alta) se encuentran en los rangos de 0-2° y 2-4°, en el primer caso relacionado

con dinámicas de procesos de circulación de agua no concentrada y estancamiento de la escorrentía. El porcentaje del resto de los rangos de pendientes es similar (en torno al 12 y 10 %), a diferencia de las pendientes mayores a 35°, que solo representan un 2 % del territorio.

Figura 5. Cuenca alta arroyo SC: a) hipsometría, b) gradiente de pendientes y c) gradientes de pendientes según rangos (% de las subcuencas)



En la tabla 4 se presentan los valores de pendiente media para las unidades de diagnóstico. La cuenca Nacimiento Oeste presenta mayor pendiente media (12,3°), seguida por Cerro 832 (11,7°) y Martirio (11,6°), lo que la posiciona dentro de la categoría de Van Zuidam (1989) de muy empinado. Si se comparan estos resultados con cuencas de la vertiente sur del área serrana, observamos que son valores altos; a modo de ejemplo, la cuenca del arroyo San Bernardo (afluente de la cuenca del arroyo Sauce Grande) posee 8,7° (Volonté, 2017); arroyo de las Piedras, 9,08°, la mayor pendiente media de la cuenca Sauce Grande (Gil, 2010), la cual tiene sus nacientes en las Sierras de Ventania, Las Tunas y Pillahuincó; y arroyo Ventana, 2,06° (pertenece a la cuenca alta del río Sauce Chico) (García Martínez et al., 2016). Lo mismo ocurre para otras regiones serranas de la provincia de Buenos Aires: sobre el Sistema de Tandilia, en la cuenca de los arroyos Corrientes (2,82°) y Chocorí (2,74°) (Camino et al., 2018). A diferencia de lo que sucede, por ejemplo, en cuencas del área serrana de Córdoba, con valores de pendientes más abruptas que el Sistema de Ventania, donde por consiguiente la peligrosidad para generar crecidas es mayor: la cuenca del río Seco presenta valores de pendiente media de 22,09°, El Tala, 18,31° y Papagayos, 20,85° (Sosa y Ojeda, 2014). Con los valores que anteceden, complementados con los datos de desnivel, se infiere que en dichas cuencas habrá mayor rapidez en la concentración de las aguas, con picos de crecidas mayores, debido a que, al aumentar la pendiente media y las diferencias altitudinales, mayor será la posibilidad de generar crecidas (Senciales González, 1999).

Tabla 4. Parámetros asociados al relieve

Cuenca	Parámetro		
	Desnivel absoluto (m.s.n.m.)	Altura media (m.s.n.m.)	Pendiente Media (°)
27 de Diciembre	646	394	5,5
Cerro 832	526	552	11,7
Cerro 754	502	473	6,7
de las Cortaderas	542	409	5,9
El Campamento	122	327	2,7
El Perdido	341	342	2,5
El Tanque	99	379	3,7
La Providencia	586	472	8,3
Lolén	279	430	6,1
Lolén Chico	125	401	4,3
Martirio	598	484	11,6
Nacimiento Este	545	527	9,2
Nacimiento Oeste	565	572	12,3
Pantanosos	455	390	3,6
San Antonio	642	428	6,0
Zanjón del Gliptodonte	463	387	3,3

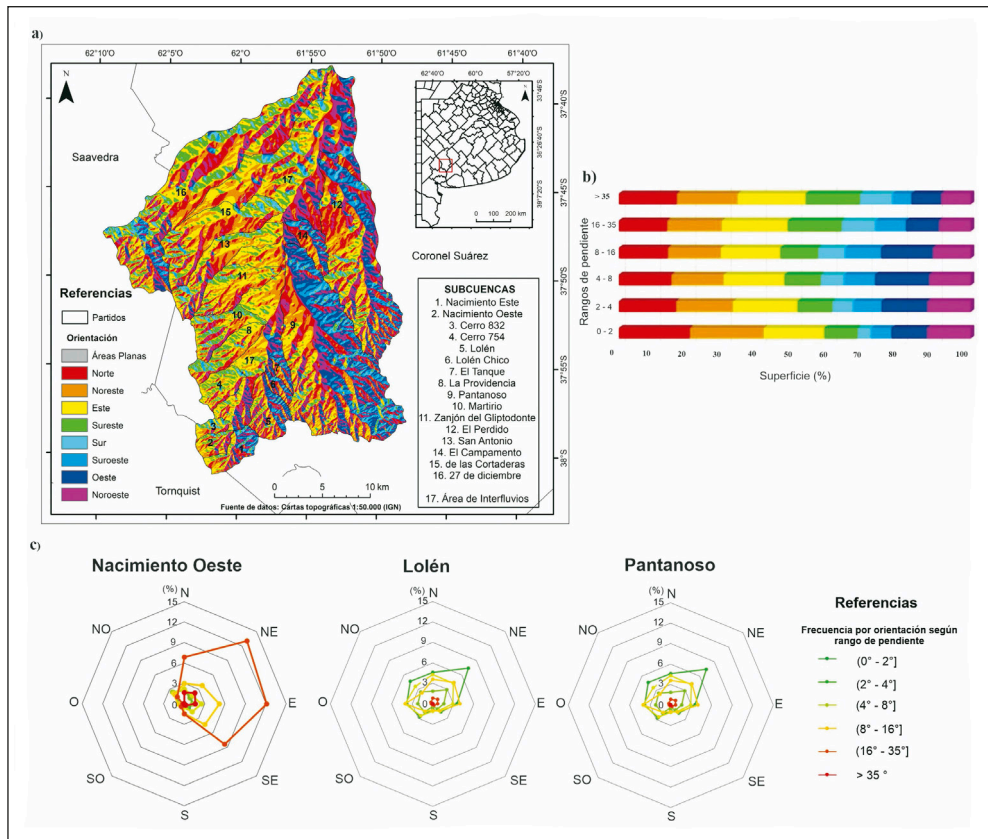
Por otra parte, cabe considerar el análisis de las orientaciones de las vertientes. No solo se evaluó dicho aspecto para la cuenca en general, sino que también se complementó con la superficie absoluta y porcentual en función de los rangos de pendientes (figura 6). Según Llamas (1993), hace referencia a la dirección geográfica con respecto al norte geográfico, considerando la pendiente general de las laderas de la cuenca. La orientación noreste tiene mayor representatividad (19,13 %) en el territorio, seguida con valores significativos de laderas orientadas hacia el este (18,85 %) y norte (17,14 %). Esto se relaciona con la pendiente regional impuesta por el sistema serrano asociado con la dirección del basamento de la estructura de las sierras y los fallamientos relacionados (Japas, 1999). A modo de ejemplo se muestran en la figura 5c los gráficos para las subcuencas de Nacimiento Oeste, Pantanosos y Lolén. Del análisis de las subcuencas y de combinar los rangos de pendientes según la clasificación de Van Zuidam (1989) con la orientación de las laderas es preciso destacar ciertos puntos clave:

- Las cuencas de mayor pendiente media y con un gran porcentaje de su superficie con gradientes elevados en los rangos más altos de pendiente (Nacimiento Oeste, Nacimiento Este, Cerro 832) se desarrollan según lo descrito en el párrafo anterior. A modo de ejemplo, Nacimiento Oeste presenta un 30,58 % de su superficie con pendientes abruptas. Las áreas con un rango de pendiente de entre 16 y 35° poseen la mayor representatividad de laderas orientadas al este; no obstante, también se visibiliza un gran porcentaje de su cuenca entre los mismos rangos con exposición al noreste. Situación que también se visibiliza en Cerro 832.
- La cuenca del Pantanoso presenta la única particularidad de que su superficie con rangos bajos de pendiente posee mayor variabilidad, con valores altos hacia el oeste (22 %) y significativos en el SO y NO en igual proporción que hacia el N y NE, con datos entre el 14 y el 15 %.
- Lolén es la única cuenca que presenta áreas planas (un 6,22 % de su superficie, lo que equivale a un 0,22 % del área total de la cuenca alta exceptuando el área de interfluvio). Su superficie, con datos porcentuales relevantes entre los 0 y 2°, los 4 y 8° y los 16 y 35°, dispone de laderas situadas en mayor proporción (en orden de importancia): NE (20 %), N (15 %), O (14 %) y NO y E (13 %).

En relación con los índices de razón de relieve ( $R_r$ ) (Schumm, 1956) y la relación de relieve ( $R$ ) (Melton, 1957), estos se utilizaron para complementar este tipo de estudios. Según Senciales González (1999), la  $R_r$  posibilita conocer la existencia de áreas locales con elevada velocidad de flujo, mientras que la  $R$  indica la presencia de fuertes velocidades de agua generalizadas, debidas a la pendiente de la cuenca. En la tabla 4 se observan los valores de los índices para cada una de las subcuencas de análisis. Se visibiliza que las cuencas de Nacimiento Oeste ( $R_r$ : 0,14;  $R$ : 0,05) y Cerro 832 ( $R_r$ : 0,12;  $R$ : 0,05) son las que poseen los mayores valores de ambos índices, y les siguen en orden las cuencas de Nacimiento Este y Cerro 754, ambas con valores de  $R_r$ : 0,09 y  $R$ : 0,03. A partir de estos resultados, junto con sus altas pendientes medias y su evolución en gradientes de pendientes elevados, se espera una mayor potencialidad de generar crecidas ante eventos de precipitación extremos. De las cuencas con valores más bajos, como 27 de Diciembre ( $R_r$ : 0,02;  $R$ : 0,01), cabe destacar que, si bien su desnivel es alto, su pendiente media decrece, por lo que se espera que la existencia de fuertes velocidades de agua sea menor.

Por otra parte, para comprender la importancia relativa del relieve respecto al área total de cada subcuenca, se calcularon los coeficientes de masividad y el orográfico (De Martonne, 1940). Los resultados se muestran en la tabla 5. Los mayores valores de ambos corresponden a la cuenca de Cerro 832 y Nacimiento Oeste, con valores de  $CMa$ : 0,13; 0,09 y de  $CO$ : 91,37; 62,78 respectivamente. Los datos evidencian el carácter accidentado del relieve y la potencialidad de estar sometidas a mayores procesos de degradación. Del análisis en conjunto de las subcuencas, se concluye que ambos coeficientes subestiman el área de cada una de ellas, por lo que damos cuenta que puede dar valores similares o iguales para cuencas distintas (Sánchez, 1987). Tal es el caso de la cuenca El Tanque en relación con Cerro 832 y Nacimiento Oeste.

Figura 6. a) Distribución de orientaciones en cuenca alta arroyo SC, b) frecuencia (%) de orientación según rango de pendiente, c) frecuencia (%) de orientación según rangos de pendiente en subcuencas de interés



Del análisis y la evaluación se desprende que las cuencas de Nacimiento Oeste, Nacimiento Este, Cerro 832, Cerro 754 y Martirio tenderán a una rápida concentración de las aguas, con valores de flujo elevados debido a sus altas pendientes medias con áreas menores a 100 km<sup>2</sup>. Con valores porcentuales de ocupación de su superficie, con gradientes de pendiente en el rango entre los 16-35°, persiste aún más la posibilidad del incremento de potencialidad de generar crecidas, afirmación que se coteja con los fuertes desniveles de las cuatro unidades de diagnóstico descritas. En cuencas como Nacimiento Oeste, Cerro 832, Nacimiento Este y Cerro 754, el tiempo de concentración ( $T_c$ ) es de 23', 25', 36' y 40' respectivamente, lo que reafirma lo expuesto precedentemente. Las tres primeras discurren sobre antiguas formaciones geológicas del Grupo Ventana; al igual que Martirio, pero que a su vez es cubierta por sedimentos producto del Plioceno y del Cuaternario.

Las cuencas del Tanque, Lolén y Lolén Chico tienen la particularidad de que sus desvíos altitudinales y sus alturas medias no son tan acusadas, sino que rondan los valores más bajos dentro de la

cuenca; de esto, aislando estos parámetros, se concluiría que son cuencas con menor potencialidad de generar crecidas. No obstante, sus pendientes medias, sus superficies, que se desarrollan sobre gradientes altos de pendiente 4-8° con orientaciones de laderas hacia el oeste y noreste, y sus altos valores en los coeficientes de masividad y orográfico determinan un comportamiento diferencial tendente a producir picos de crecidas no tan bruscos como los explicados con anterioridad, pero que es necesario tenerlos en cuenta, ya que la escorrentía genera en los puntos más altos la tendencia a drenar rápidamente debido a la pendiente de la topografía. En cuencas como Zanjón del Gliptodonte y 27 de Diciembre, donde la pendiente máxima es elevada, sucede que el valor medio decrece, lo que contribuye a que los picos de crecidas sean menos violentos, dado también que sus superficies discurren principalmente sobre gradientes bajos de pendiente. Asimismo, ello se corrobora con los tiempos de concentración de ambas subcuencas (tabla 5). De las Cortaderas, Providencia y San Antonio presentan valores no tan significativos en relación con los parámetros del relieve, lo que determina que las crecidas no sean tan súbitas. Dadas las características topográficas analizadas de las cuencas de El Campamento, El Perdido y Pantanosos, se infiere que la potencialidad para generar crecidas es menor, todas ellas con tiempos de concentración más altos. Cabe destacar que en el área no existen datos cuantitativos concretos que indiquen la contribución diferencial de cada una de las subcuencas en la producción de crecidas. En este sentido, este estudio puede ser una aproximación a ello de manera complementaria a trabajos precedentes (Gentili, 2012; Moretto et al., 2019; Moretto et al., 2023).

Tabla 5. Índices morfométricos asociados al relieve

Cuenca	Índices					
	Tiempo de concentración (h)	Coefficiente de torrencialidad	Razón de relieve	Relación de relieve	Coefficiente de masividad	Coefficiente orográfico
27 de Diciembre	6,00	0,63	0,02	0,01	0,005	2,67
Cerro 832	0,41	5,27	0,12	0,05	0,137	91,37
Cerro 754	0,68	2,00	0,09	0,03	0,047	29,21
de las Cortaderas	2,44	0,53	0,04	0,01	0,012	6,49
El Campamento	1,7	1,61	0,02	0,01	0,028	9,71
El Perdido	4,33	0,90	0,01	0,01	0,004	1,98
El Tanque	0,87	6,28	0,02	0,01	0,086	33,92
La Providencia	1,25	0,22	0,06	0,03	0,034	21,30
Lolén	1,26	1,53	0,04	0,01	0,025	12,26
Lolén Chico	0,83	7,38	0,03	0,01	0,089	36,41
Martirio	1,25	6,15	0,07	0,03	0,031	19,51

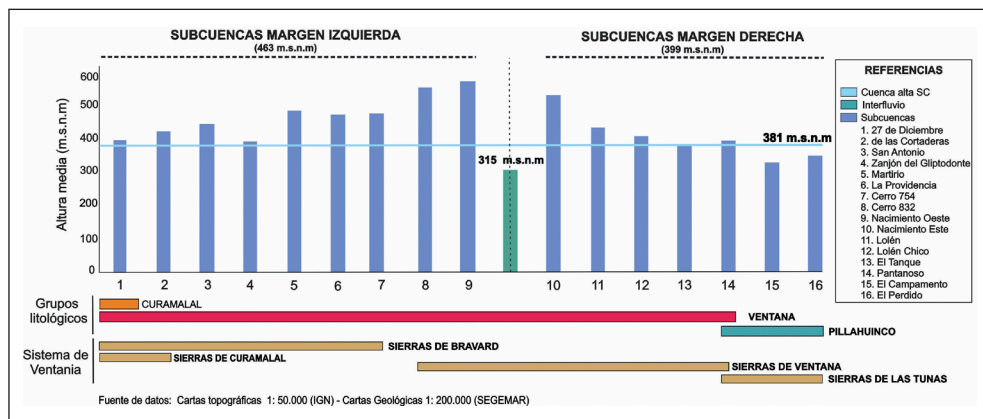


Cuenca	Índices					
	Tiempo de concentración (h)	Coefficiente de torrencialidad	Razón de relieve	Relación de relieve	Coefficiente de masividad	Coefficiente orográfico
Nacimiento Este	0,60	1,53	0,09	0,03	0,051	34,60
Nacimiento Oeste	0,38	6,44	0,14	0,05	0,091	62,79
Pantanoso	4,69	3,91	0,02	0,01	0,003	1,83
San Antonio	2,20	1,14	0,04	0,02	0,019	11,50
Zanjón del Gliptodonte	1,43	0,68	0,06	0,02	0,021	11,27

*Análisis de los parámetros del relieve a nivel de cuencas según la margen del curso principal*

Las cuencas de la margen derecha tienen su origen en las Sierras de Ventana y de las Tunas. Con excepción de Nacimiento Este y Pantanoso, presentan alturas medias y desniveles altitudinales más bajos respecto de las localizadas en la margen izquierda (figura 7). Por el contrario, los cursos de la margen izquierda drenan las Sierras de la Ventana, de Bravard y Curamalal, que presentan mayores alturas (figura 7). Esta diferencia altitudinal entre ambas márgenes puede incidir directamente en el comportamiento hidrológico de cada una de ellas.

Figura 7. Altura media a nivel de cuencas según la margen (indicando grupos litológicos sobre los que evolucionan y sierras donde se localizan)

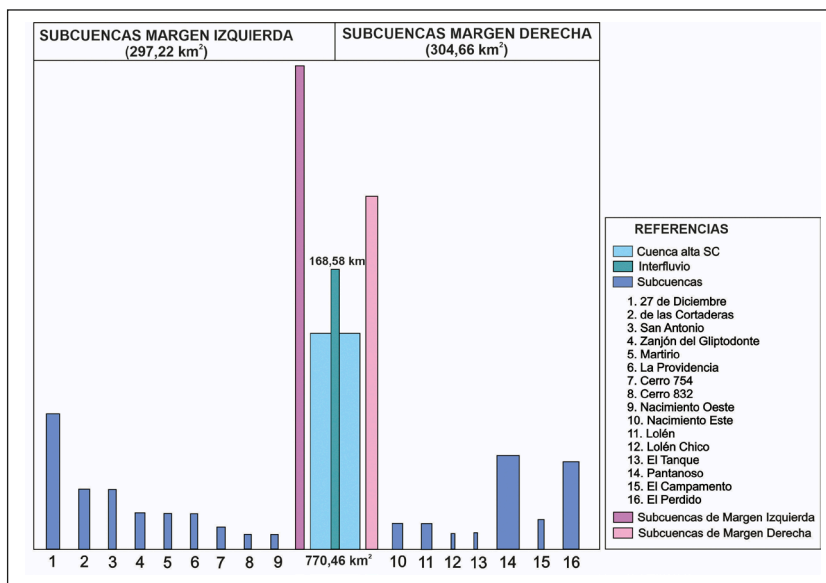


Fuente: elaboración propia.

Los rectángulos equivalentes de las subcuencas (figura 8) muestran que la superficie fuente de contribución de la margen derecha es levemente mayor que la izquierda. En la margen derecha se encuentran

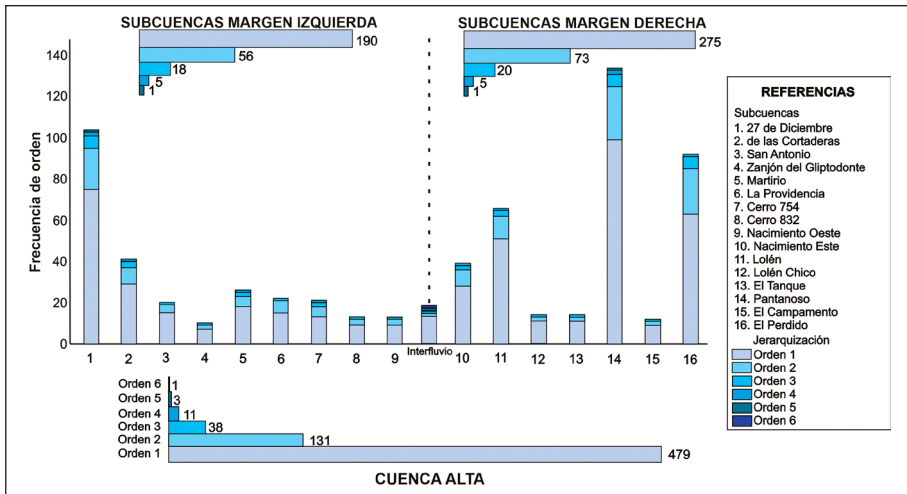
dos de las tres subcuencas de mayor superficie (Pantanosos y El Perdido), que tienden a recoger mayor cantidad de precipitación (Chow et al., 1994).

Figura 8. Áreas (mediante rectángulo equivalente) para cuencas según la margen



Las subcuencas de la margen derecha poseen una mayor cantidad de cauces de orden 1 (figura 9), tal como indicaron Gil et al. (2009) para algunas de estas subcuencas, asociado a que la mayoría de las unidades discurren sobre el grupo litológico Lolén (formado por areniscas), que, según Demoulin et al. (2005), son fácilmente erosionables (figuras 3 y 7). Cuanto mayor sea el número de cursos de primer orden y menor la superficie, la torrencialidad de la cuenca será mayor (Romero Díaz y López Bermúdez, 1987; Busnelli y Horta, 2014). Por tanto, a partir del cálculo del coeficiente de torrencialidad, se infiere que esta margen presenta mayores niveles de torrencialidad, donde Lolén presenta valores de  $C_t$  de 7,38, Nacimiento Este de 6,44, El Tanque de 6,28 y Lolén Chico de 6,15 (tabla 5). No obstante, en las subcuencas de la margen izquierda (a excepción de 27 de Diciembre), al presentar una menor superficie, la potencialidad de generar crecidas súbitas es mayor. Asimismo, las alturas y pendientes medias de las subcuencas superan la media de la cuenca alta en general (figura 7), por lo que aumenta la probabilidad de generar crecidas repentinas en sus redes de drenaje. En general, se observa que las cuencas de la margen izquierda (a excepción de Zanjón del Gliptodonte) presentan cuencas empinadas y ligeramente empinadas según la clasificación de Van Zuidam (1989).

Figura 9. Jerarquización de la red de drenaje a nivel de grupos de cuencas y de la CASC



### CONCLUSIONES

El trabajo se centra en el análisis de los factores que permiten analizar la dinámica hidrográfica de la cuenca alta del arroyo Sauce Corto en función de parámetros morfométricos asociados a las formas del relieve. Su estudio proporciona una descripción de las características de relieve de la cuenca por su fuerte influencia en los fenómenos de escorrentía superficial, infiltración y erosión hídrica. Permite comprender la distribución y asociación de las variables que configuran el peligro, en este caso en particular, asociado a eventos de inundación.

Del análisis a nivel de subcuenca, se puede esperar que las cuencas Nacimiento Oeste, Nacimiento Este, Cerro 832, Cerro 754 y Martirio tengan una rápida concentración de las aguas debido a sus altas pendientes medias y dimensiones reducidas (menores a 100 km<sup>2</sup>). Para las restantes unidades, dado que no presentan valores tan significativos en relación con los parámetros del relieve, se pueden esperar crecidas menos bruscas respecto de las descritas inicialmente. Cabe destacar que subcuencas como Lolén, Lolén Chico y el Tanque tienen la particularidad de que su desnivel altitudinal y su altura media rondan los valores más bajos dentro de la cuenca. No obstante, su jerarquización, su pendiente media y su superficie sobre gradientes medios de pendiente 4-8° determinan un comportamiento diferencial. Por tanto, a partir del análisis de las unidades de la región del suroeste y sur, es posible inferir crecidas súbitas potenciadas por los elevados gradientes de las pendientes. El relieve moderadamente bajo a bajo está presente en la región central –este de la cuenca–, con los menores gradientes de pendiente.

En relación con el análisis de cuencas según las márgenes, se observó que la disposición general de la cuenca alta del arroyo SC respecto al Sistema de Ventania da como resultado que las unidades de la margen izquierda presenten una mayor altura máxima, valores más altos de desnivel y de pendiente media del terreno, características que posibilitan que la potencialidad de generar crecidas sea mayor.

Desde esta perspectiva, el análisis a nivel de márgenes resulta de relevancia con fines de conocimiento hidrológico y de gestión del agua entendida como recurso y como peligro.

La presente investigación es un aporte a la caracterización del relieve como factor de la peligrosidad de inundación en el área, al mismo tiempo que contribuye al posterior estudio de dicho riesgo. El aporte ayuda en la consideración de distintos niveles categóricos (subcuencas de manera individual y subcuencas según márgenes) en el momento de realizar inferencias en términos de respuesta hidrológica, así como en la generación de información en el marco de cuencas no aforadas.

#### AGRADECIMIENTOS Y FUENTES DE FINANCIACIÓN

El presente trabajo se desarrolló en el marco del PGI “Geografía Física Aplicada al estudio de la interacción sociedad-naturaleza. Problemáticas ambientales a diversas escalas témporo-espaciales” (24/G092) (SGCyT-UNS).

#### REFERENCIAS

- Aumassanne, C. M., Gaspari, F. J., Bege, M. E., Sartor, P. D., Oricchio, P., & Di Bella, C. M. (2018). Morfometría de la cuenca alta del Río Colorado, Argentina. *Boletín Geográfico*, 1(40), 13-29. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6632148>
- Busnelli, J. & Horta, L. R. (2014). Morfometría de cuencas montañas y metamorfosis fluvial, Tucumán. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 71(1), 11-20. <https://revista.geologica.org.ar/raga/article/view/431>
- Bruniard, E. (1992). *Hidrografía. Procesos y tipos de escurrimiento superficial*. CEYNE.
- Cabrera, M. (1976). Regiones fitogeográficas de la República Argentina. En Kugler, W. (ed.). *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería* (2.ª ed., pp. 1-85). ACME SACI.
- Camino, M. A., Bó, M. J., Cionchi, J. L., López de Armentia, A., Del Río, J. L., & De Marco, S. G. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista Universitaria de Geografía*, 27(1), 73-97. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1852-42652018000100005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652018000100005&lng=es&tlng=es)
- Campo de Ferreras, A. M., Capelli de Steffens, A., & Diez, P. (2004). *El clima del suroeste bonaerense*. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo.
- 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>
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill.
- De Martonne, E. (1940). *Traité de Géographie Physique* (6.ª ed.). Armand Colin.
- Demoulin, A., Zarate, M., & Rabassa, J. (2005). Long-term landscape development: A perspective from the southern Buenos Aires ranges of east central Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 19(2), 193-204. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2004.12.001>

- Dimieri, L. V. L., Delpino, S., & Turienzo, M. M. (2005). Estructura de las Sierras Australes de Buenos Aires. *Geología y Recursos Naturales de la provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino, January*, 101-118.
- Espinosa Rodríguez, L. M., Balderas Plata, M. Á., & Baro Suárez, J. E. (2018). El relieve, factor para la génesis, desarrollo y gestión del riesgo. *CIENCIA Ergo Sum*, 25(1), 1-14. <https://doi.org/10.30878/ces.v25n1a4>
- Fucks, E. E., D'Amico, G., Pisano, M. F., & Nuccetelli, G. (2017). Evolución geomorfológica de la región del Gran La Plata y su relación con los eventos catastróficos. *Revista de La Asociación Geológica Argentina*, 74(2), 141-154. <http://ppct.caicyt.gov.ar/index.php/raga/article/view/9053/9530>
- García Martínez, B., Gil, V., Carbone, M. E., & Simeón, C. P. (2016). Caracterización del patrón hidromorfológico del arroyo de la ventana en su tramo medio alto (Buenos Aires, Argentina). *Estudios Geográficos*, 77(281), 521-541. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201617>
- 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(1-2), 147-166. <http://hdl.handle.net/11336/10364>
- Gentili, J. O. (2012). Hidrografía del Arroyo Sauce Corto aplicada al estudio de las inundaciones y anegamientos [Tesis doctoral]. Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional del Sur. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/494>
- Gil, V., Gentili, J., Campo, A., Jelinski, G., & Crisafulli, M. (2016). Evaluación del peligro potencial de crecidas en cuencas serranas. Sistema de Ventania, provincia de Buenos Aires. *Tercer Encuentro de Investigaciones en Formación de Recursos Hídricos*. [https://www.ina.gov.ar/ifrh-2016/trabajos/IFRH\\_2016\\_paper\\_133.pdf](https://www.ina.gov.ar/ifrh-2016/trabajos/IFRH_2016_paper_133.pdf)
- Gil, V. (2010). *Hidrogeomorfología de la cuenca alta del río Sauce Grande aplicada al peligro de crecidas* [Tesis doctoral]. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur. [http://bibliotecadigital.uns.edu.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1852-42652009001100009&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://bibliotecadigital.uns.edu.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652009001100009&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Gil, V., Gentili, J., & Campo, A. M. (2009). Influencia de la litología en la variación de los parámetros morfométricos, Sistema de Ventania, Argentina. *Papeles de Geografía*, 49-50, 55-68. <http://hdl.handle.net/11336/68746>
- Gil, V., Volonté, A., & Campo, A. M. (2019). Índices morfométricos a diferentes escalas aplicados al peligro de crecidas en cuencas pequeñas. Cuenca del arroyo San Bernardo, Argentina. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 20(4), 811-824. <https://doi.org/10.20502/rbg.v20i4.1598>
- González, M. (2018). *Hidrogeomorfología de la cuenca del arroyo Saladillo de García aplicada al ordenamiento del periurbano de Bahía Blanca* [Tesis de grado]. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/5773>
- Gregory, K. & Walling, D. (1973). *Drainage basin. Form and process: a geomorphological approach*. Edward Arnold.
- Harrington, H. (1947). Explicación de las Hojas Geológicas 33m (Sierra de Curamalal) y 34m (Sierra La Ventana). Provincia de Buenos Aires. *Boletín de la Dirección de Minería y Geología*, 61, 1-43.

- Japas, M. S. (1999). Revisión de las teorías acerca del origen del arco de las Sierras Australes de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 54(1), 9-22. [https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/collection/paper/document/paper\\_00044822\\_v54\\_n1\\_p9\\_Japas](https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/collection/paper/document/paper_00044822_v54_n1_p9_Japas).
- Jardí, M. (1985). Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía*, XIX, 41-68. <https://www.raco.cat/index.php/RevistaGeografia/article/download/45789/56812>
- Khan, I., Bali, R., Agarwal, K. K., Kumar, D., & Singh, S. K. (2021). Morphometric Analysis of Parvati Basin, NW Himalaya: A Remote Sensing and GIS Based Approach. *Journal of the Geological Society of India*, 97(2), 165-172. <https://doi.org/10.1007/s12594-021-1648-8>
- Khatoon, T. & Javed, A. (2022). Morphometric Behavior of Shahzad Watershed, Lalitpur District, Uttar Pradesh, India: A Geospatial Approach. *Journal of Geographic Information System*, 14(03), 193-220. <https://doi.org/10.4236/jgis.2022.143011>
- Llamas, J. (1993). *Hidrografía General, Principios y Aplicaciones*. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco.
- López Báez, W. (2014). Análisis del manejo de cuencas como herramienta para el aprovechamiento sustentable de recursos naturales. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, XIII(2), 39-45. <https://doi.org/10.5154/r.rchsa.2012.06.017>
- Mahala, A. (2020). The significance of morphometric analysis to understand the hydrological and morphological characteristics in two different morpho-climatic settings. *Applied Water Science*, 10(1). <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1118-2>
- Melton, M. A. (1957). *An analysis of the relation among elements of climate, surface properties and geomorphology*. Office of Naval Research Project NR389-04.
- Méndez Mata, W. J., Carrera Ramos, J. M., & Rivas Rodríguez, L. J. (2015). Geomorfometría de cuencas de drenaje de la vertiente norte del macizo “El Ávila” (Estado Vargas, Venezuela): implicaciones hidromorfodinámicas. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 16(3), 501-530. <https://doi.org/10.20502/rbg.v16i3.657>
- Moreira Braz, A., Mirándola García, P. H., Pinto, A. L., Salinas Chávez, E., & Oliveira, I. J. de. (2020). Manejo integrado de cuencas hidrográficas: posibilidades y avances en los análisis de uso y cobertura de la tierra. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 29(1), 69-85. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v29n1.76232>
- Moretto, B., Gentili, J. O., & Campo, A. M. (2019). Análisis morfométrico multiescalar en la cuenca alta del arroyo Sauce Corto (Buenos Aires, Argentina). *Huellas*, 23(2), 149-167. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.19137/huellas-2019-2316>
- Moretto, B., Gentili, J. O., & Campo, A. M. (2023). Morfología de vertientes en áreas serranas: cuenca alta del arroyo Sauce Corto (Argentina) Slope morphology in hilly area: Sauce Corto's upper basin (Argentina). *Revista Geográfica Digital*, 20, 3-19. <https://doi.org/10.30972/geo.20396370>
- Ocaña, R. E., Flores, D. G., Pittaluga, M. A., & Cortez Taillant, V. S. (2020). Aplicación de índices geomorfométricos, para el análisis del sistema erosivo fluvial de la cuenca matagusanos. Precordillera

- de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 77(1), 174-191. <https://revista.geologica.org.ar/taga/article/view/21>
- Ortuño 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/https://doi.org/10.5016/estgeo.v20i3.16753>
- Pedraza Gilsanz, J. (1996). *Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones*. Rueda.
- 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.
- Pereyra, F., Tchilinguirian, P., Copolecchia, M., Cavallaro, S., Fratolocchi, C., Borello, L., Milanese, J. B., & Suriano, J. M. (2001). *Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. Carta de Línea de Base Ambiental 3763-IV Coronel Suárez Provincia de Buenos Aires. Boletín 307*. <http://repositorio.segemar.gov.ar/308849217/2099>
- Pike, R. J., Evans, I. S., & Hengl, T. (2009). Geomorphometry: A brief guide. En Hengl, T. & Reuter, H. I. (eds.). *Geomorphometry - Concepts, Software, Applications*, 33(C), 3-30. Elsevier Ltd. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)00001-9](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)00001-9)
- Romero Díaz, M. A. & López Bermúdez, F. (1987). Morfometría de redes fluviales: Revisión crítica de los parámetros más utilizados y aplicación al Alto Guadalquivir. *Papeles de Geografía (Física)*, 12, 47-62. <https://revistas.um.es/geografia/article/view/42391/40741>
- Rotger, D. (2017). Fluvial landscape and territory planning. Perspectives of integration in the Metropolitan Region of Buenos Aires. *Revista de Urbanismo*, 37, 1-15. <http://dx.doi.org/10.5354/0717-5051.2017.47085>
- Sala, M. & Gay, R. (1981). Algunos datos morfométricos de la cuenca de Isábena. *Notes de Geografía Física*, 4, 41-65.
- Sastre Olmos, P. (2010). *Sistemas de información geográfica (SIG). Técnicas básicas para estudios de biodiversidad*. Instituto Geológico y Minero de España.
- Schumm, S. (1956). The evolution of drainage systems and slopes in bad lands at Perth Amboy, New Jersey. *GSA Bulletin*, 67(5), 597-646. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:EODSAS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2)
- Sellés-Martínez, J. (2001). Geología de la Ventania (Provincia de Buenos Aires (Argentina)). *Journal of Iberian Geology*, 27, 43-69. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=273869>
- Senciales González, J. (1999). *Redes fluviales. Metodología de análisis*. Universidad de Málaga.
- Sharma, R., Rajwant, S., Singh, Y., Singh, N., & Sangra, R. (2022). Morphometric Analysis of Baner, Neogal and Awa River Basins, Himachal Pradesh, India. *Journal of the Geological Society of India*, 98(1), 125-132. <https://doi.org/10.1007/s12594-022-1938-9>
- Silva, J. R. I., Montenegro, A. A. de A., Farias, C. W. L. de A., Jardim, A. M. da R. F., Silva, T. G. F. da, & Montenegro, S. M. G. L. (2022). Morphometric characterization and land use of the Pajeú river basin in the Brazilian semi-arid region. *Journal of South American Earth Sciences*, 118. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103939>

- Sosa, G. & Ojeda, G. (2014). Morfometría comparada de tres cuencas hídricas en la ladera occidental de la sierra de Comechingones. San Luis, Argentina. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, 33, 73-81. <https://www.editoresasagai.org.ar/ojs/index.php/rgaia/article/view/73>
- Strahler, A. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basin and channel networks. En Chow, V. T. (ed.). *Handbook of applied hydrology compendium of water-resources technology* (pp. 39-76). McGraw-Hill Book Co.
- Van Zuidam, R. (1985). *Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping*. Smits, The Hague.
- Vargas, M., Rothis, M., Esper Angillieri, M. Y., Perucca, L., & Vargas, N. (2020). Análisis morfológico y morfotectónico de dos cuencas fluviales intermontanas colineales y opuestas de la Precordillera, Andes Centrales de Argentina. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 72(1). <https://doi.org/10.18268/bsgm2020v72n1a111019>
- Varón Gutiérrez, S. D. & Vargas Cuervo, G. (2019). Análisis de la susceptibilidad por inundaciones asociadas a la dinámica fluvial del río Guatiquía en la ciudad de Villavicencio, Colombia. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 28(1), 152-174. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v28n1.70856>
- Vich, A. I., Pasquali, E. L. V., Otta, S. A., Lauro, C., & Bastidas, L. B. (2021). Morphometric analysis of basins located in the piedmont of central Western Argentina. *Cuadernos Geográficos*, 60(1), 295-312. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v60i1.9639>
- Villón Bejar, M. (2004). *Hidrología*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Volonté, A. (2017). *Geomorfología Fluvial aplicada al peligro de crecidas. Cuenca del arroyo San Bernardo, Sistema de Ventania, Argentina* [Tesis doctoral]. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur. <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/3453>
- Von Gosen, W., Buggisch, W., & Dimieri, L. V. (1990). Structural and metamorphic evolution of the Sierras Australes (Buenos Aires Province, Argentina). *Geologische Rundschau*, 79(3), 797-821. <https://doi.org/10.1007/BF01879216>
- Zapperi, P., Ramos, M., Gil, V., & Campo, A. M. (2007). Caracterización de las precipitaciones estivales en el Suroeste bonaerense. *Contribuciones Científicas*, 1(2), 483-491. <http://hdl.handle.net/11336/94838>

Cómo citar este artículo:

Moretto, Belén, Gentili, Jorge O., & Campo, Alicia M. (2023). El relieve como un factor de la peligrosidad de inundación en la cuenca alta del arroyo Sauce Corto (Buenos Aires, Argentina). *Cuadernos de Geografía*, 111, 33-56. <https://doi.org/10.7203/CGUV.111.26542>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.