

Morfología de vertientes en áreas serranas: cuenca alta del arroyo Sauce Corto (Argentina)

Slope morphology in hilly area: Sauce Corto's upper basin (Argentina)

Moretto, Belén; Gentili, Jorge O.; Campo, Alicia M.

 **Belén Moretto** belen.moretto@uns.edu.ar
Universidad Nacional del Sur (UNS), Argentina

 **Jorge O. Gentili** jogentili@uns.edu.ar
Universidad Nacional del Sur (UNS), Argentina

 **Alicia M. Campo** amcampo@uns.edu.ar
Universidad Nacional del Sur (UNS), Argentina

Geográfica Digital

Universidad Nacional del Nordeste, Argentina
ISSN-e: 1668-5180
Periodicidad: Semestral
vol. 20, núm. 39, 2023
revista.geografica.digital@gmail.com

Recepción: 29 Diciembre 2022
Aprobación: 19 Abril 2023

URL: <http://portal.amelica.org/amei/journal/615/6154021001/>

DOI: <https://doi.org/10.30972/geo.20396370>

Resumen: En el arroyo Sauce Corto [SC] eventos de origen hidrometeorológico generan crecidas que recurrentemente derivan en inundaciones cuyos efectos inciden en las principales poblaciones del partido de Coronel Suárez. Los estudios sobre las características topográficas y sus dimensiones asociadas son de relevancia para comprender las causas que conforman al peligro de inundación. En este contexto, el objetivo del trabajo es analizar las formas del terreno y sus procesos asociados, en función de la morfología (longitudinal y transversal) de las vertientes de la cuenca alta del arroyo SC. A partir de la combinación de las tres curvaturas del perfil y del plano (en ambos casos: cóncavo, convexo y rectilíneo) se establecieron nueve formas de vertientes. La cuenca alta del SC posee mayor frecuencia de formas del terreno rectilíneas-planares, asociadas a circulación de agua no concentrada y estancamiento del agua. Le siguen en orden de importancia las vertientes convexo-convergentes y las cóncavo-divergente. Su análisis permitió describir las curvaturas y su asociación con los procesos y geoformas en el área de estudio a los fines de contribuir al análisis de uno de los factores que definen la peligrosidad de inundación.

Palabras clave: curvatura del terreno, morfología de vertientes, peligro de inundación, cuenca alta arroyo Sauce Corto.

Abstract: In the Sauce Corto [SC] stream, hydrometeorological events generate floods that recurrently result in flooding, the effects of which affect the main towns of the Coronel Suárez district. Studies on topographic features and their associated dimensions are relevant to understanding the causes of flood hazards. In this context, the aim of the work is to analyze the forms of the land and its associated processes, based on the morphology (longitudinal and transversal) of the slopes in Sauce Corto's upper basin [SC]. From the combination of the three curvatures of the profile and the plane (in both cases: concave, convex and rectilinear), nine forms of slopes were established. The upper basin of SC has a higher frequency of rectilinear-planar terrain forms, associated with non-concentrated water circulation and water stagnation. They are followed in order of importance by the convex-convergent and the concave-divergent slopes. Their analysis made it possible to describe the curvatures and their association with the processes and geoforms in the study area in order to contribute to the analysis of one of the factors that define flood hazard.

Keywords: curvature of the terrain, slope morphology, flood hazard, Sauce Corto's upper basin.

1. Introducción

Las formas del relieve son el producto de la interacción entre los medios bioclimáticos y las condiciones litoestructurales a través del tiempo (Racca, 2010). Su estudio permite comprender el origen, la dinámica, distribución y evolución de las diferentes formas de la superficie terrestre (Espinosa Rodríguez et al., 2018; Pedraza Gilsanz, 1996). En particular, las formas y procesos producto de la acción del agua superficial, son objeto de análisis de la geomorfología fluvial, que se encarga en parte de cualificar y cuantificar la geometría de la superficie fluvial (Dollar, 2000; Gutiérrez Elorza, 2008; Pedraza Gilsanz, 1996). El origen y desarrollo de la red hidrográfica dependen por tanto de la geología subyacente y las fuerzas endógenas y exógenas que operan en el área (Reddy et al., 2004). Las propiedades morfológicas del terreno (como pendiente, gradiente de pendiente, curvatura y rugosidad) posibilitan la descripción de las formas del relieve (Hartemink y McBratney, 2008).

La descripción de las vertientes es una fuente de información confiable para la estimación de diversos fenómenos (erosión del suelo, movimiento de masas, flujo de agua, entre otros). A su vez, las formas de las vertientes pueden ser intensificadoras de procesos morfogenéticos o diferenciadoras de la intensidad del flujo sobre la tierra (Ruhe, 1975). Estas formas permiten comprender y describir los procesos de erosión, escorrentía y deposición de una cuenca (Valeriano, 2008). Los atributos del terreno más utilizados son la altimetría y productos a partir de su derivación: primera derivada (pendiente y orientación) y segunda derivada (curvaturas) (Vasconcelos et al., 2012).

El desarrollo de este análisis, se inició con Richter (1962), Evans (1972) y Young (1972) quienes ensayaron un método cuantitativo de análisis topográfico, a partir del cual definieron cuatro índices: pendiente del terreno, aspecto de la superficie, curvatura del perfil y curvatura del plano topográfico. Por otra parte, Zevenbergen y Thorne (1987) analizaron los efectos que provocan estos atributos morfológicos sobre el balance de algunos procesos (vinculados a la escorrentía y remoción en masa). Pedraza Gilsanz (1996) describe los tipos de vertientes teniendo en cuenta las características y procesos asociados a las mismas. Minár y Evans (2008) introducen el concepto de formas elementales (segmentos, unidades) definidas por valores constantes de propiedades morfométricas fundamentales. Valeriano (2008) y Valeriano y Albuquerque (2010) realizaron un análisis exhaustivo de las implicancias de la curvatura vertical y horizontal y los procesos asociados de cada una de las formas.

En términos cualitativos, Dikau (1989) estudió el comportamiento espacial de la respuesta hidrológica debido al efecto de las geoformas en vertientes, por medio del análisis de nueve clases morfológicas derivadas del total de combinaciones posibles entre perfiles horizontales y verticales (rectilíneos, cóncavos y convexos). En la actualidad, los índices mencionados se calculan de manera automática a través de los Sistemas de Información Geográfica [SIG]. Estos métodos utilizan atributos derivados de los modelos digitales del terreno [MDT]. Se destacan en

la temática autores como Petsch et al., (2020); Pinheiro Silveira y Silveira (2020); de Amorim et al., (2021); Cardoso et al. (2022) y García Espino et al. (2022). Específicamente y en relación con la susceptibilidad a las inundaciones: Khosravi et al. (2018) y Cunha et al. (2017).

En Argentina, el estudio de vertientes y sus procesos asociados con la finalidad de contribuir al análisis del peligro de inundación, es escaso. En la provincia de Buenos Aires, se destaca el trabajo de Gil y Campo de Ferreras (2012). En la llanura pampeana particularmente al suroeste de la provincia de Buenos Aires, se erige el Sistema de Ventania. En el área existen distintas problemáticas, entre ellas procesos de erosión hídrica, anegamiento, sequías, fenómenos de remoción en masa, degradación de suelos y principalmente inundaciones (Gil, 2010), que varían de acuerdo con la cuenca hidrográfica que se analiza. El arroyo Sauce Corto es la principal red de drenaje que se origina en su vertiente norte. La cuenca presenta una respuesta diferencial ante la ocurrencia de eventos de origen hidrometeorológico en función de las subcuencas en la que estos se generan, incidiendo en la peligrosidad potencial para generar inundaciones (Gentili, 2012; Moretto et al., 2019). En el área del presente trabajo, Moretto et al. (2022) realizaron una caracterización preliminar de las vertientes de subcuencas de interés de la cuenca alta del arroyo Sauce Corto según su morfología longitudinal y transversal a fin de establecer relaciones con su peligrosidad para generar crecidas.

La cuenca alta del arroyo Sauce Corto al igual que el resto de los arroyos y ríos que provienen de las sierras posee una estructura de disipación bien integrada, característica de los Sistemas Hidrológicos Típicos [SHT] (Fertonani, 1978). La morfología de las vertientes posibilita describir y comprender la dinámica de los procesos de escorrentía, erosión y deposición (Valeriano, 2008) que ocurren aguas arriba. Estos tienen incidencia directa en los procesos desencadenados aguas abajo. Por lo expuesto, el objetivo del presente trabajo es analizar las formas del terreno y sus procesos asociados, en función de la morfología (longitudinal y transversal) de las vertientes de la cuenca alta del arroyo SC. El análisis de estas características y sus dimensiones asociadas es un aspecto esencial en la evaluación del peligro de inundación por su influencia en la dinámica de los procesos hidrológicos e hidrogeomorfológicos que lo generan.

2. Área de estudio

La cuenca alta del arroyo SC es una cuenca de alimentación exclusivamente pluvial que tiene sus nacientes en las Sierras de Bravard, de Curamalal, de la Ventana y de Las Tunas y cuyo punto de cierre es la confluencia de dicho arroyo con el arroyo 27 de Diciembre (Gentili, 2012) (Figura 1). Posee un área de 770 km², con una altura máxima de 975 m.s.n.m. y una altura mínima de 259 m.s.n.m. lo que determina un desnivel de 716 m.s.n.m. Presenta una orientación sur-suroeste-nor-noreste asociada a la pendiente regional que impone el Sistema de Ventania (Gentili, 2012). La cuenca alta posee 16 subcuencas de orden 3 o superior. Del total, siete confluyen por su margen derecha (El Perdido, El Campamento, Pantanoso, El Tanque, Lolén Chico, Lolén y Nacimiento Este) y 9 por su margen izquierda (Nacimiento Oeste, Cerro 832, Cerro 754, La

Providencia, Martirio, Zanjón del Gliptodonte, San Antonio, de las Cortaderas y 27 de Diciembre) (Figura 1).

El suroeste bonaerense se emplaza en la faja planetaria de climas templados (Campo de Ferreras et al., 2004). Las variaciones de las temperaturas guardan relación con la continentalidad, exposición a los flujos de aire dominantes, orientación de la costa y corrientes oceánicas (Campo de Ferreras et al., 2004). El sistema serrano actúa como divisoria de aguas y genera un cambio en el comportamiento y los montos de las lluvias (Gentili & Gil, 2013). Su presencia provoca una sobreexcitación orográfica en las precipitaciones zonales aumentando los montos de lluvias en laderas más expuestas a los vientos (Zapperi et al., 2007). El periodo de mayor precipitación se extiende de octubre a marzo y se presenta una estación relativamente seca de mayo a septiembre (Casado y Campo, 2019). Según datos del Servicio Meteorológico Nacional de la Estación Coronel Suárez (localizada en cuenca media del arroyo SC) la temperatura media anual para el periodo 1956-2020 es de 15,2 °C y la precipitación media es de 735 mm para dicha estación y de 803,5 mm en estancia El Pantanoso, ubicada en la cuenca alta. La ocurrencia de precipitaciones intensas -en oportunidades generadas por ondas frontales o ciclogénesis Gil (2010)- homogéneas en todos los cordones serranos del Sistema de Ventania, asociado a los tiempos de concentración cortos de las subcuencas que conforman las cuencas altas, posibilitan una rápida afluencia del agua hacia los cursos principales dando lugar a una mayor potencialidad de generar crecidas (donde suelen producirse los desbordes de mayor magnitud). Este comportamiento está asociado a la forma, configuración de la red de drenaje y gradientes de pendientes (Gentili, 2012; Gil et al., 2016; Moretto et al., 2019).

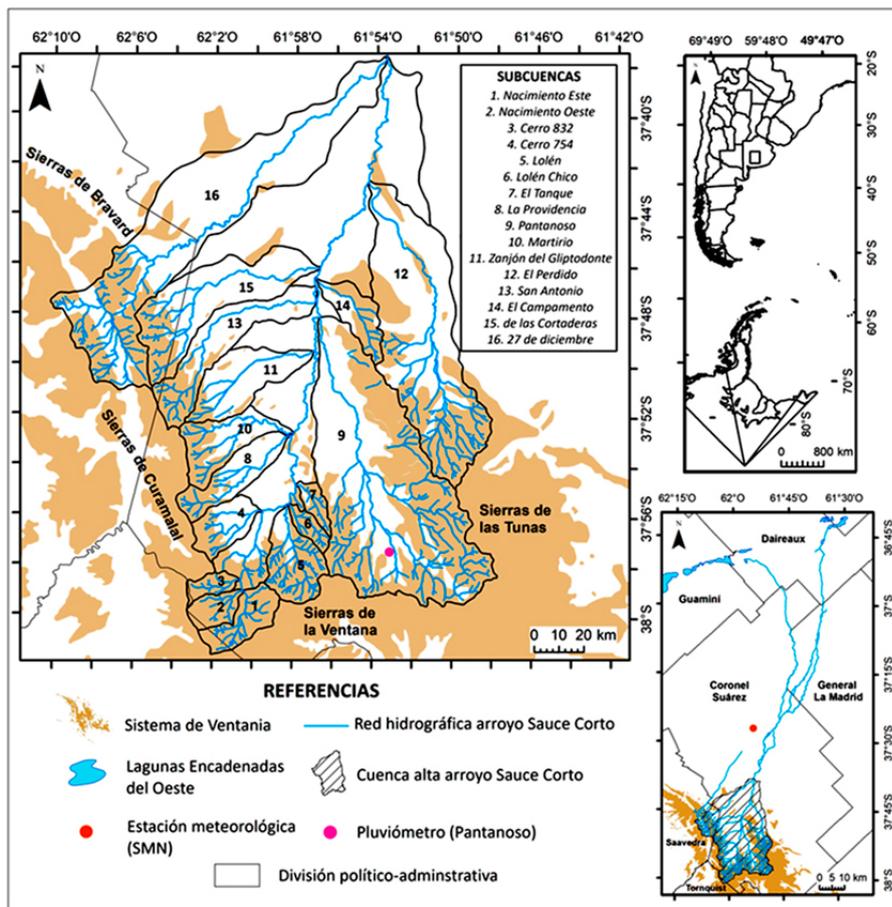


Figura 1.
Cuenca alta del arroyo Sauce Corto
 Fuente: Elaboración propia.

Desde el punto de vista geomorfológico, Von Gosen et al. (1990) consideran al Sistema de Ventania como una ‘faja plegada y corrida’ con relevantes fallas inversas subaflorentes paralelas al rumbo de las sierras. Litológicamente, la cuenca alta del arroyo Sauce Corto en la región serrana, se desarrolla mayormente sobre rocas cuarcíticas asignadas por Harrington (1947) a tres grandes grupos de series estratigráficas pertenecientes al Paleozoico inferior (series Curamalal y Ventana) y superior (serie Pillahuincó). En el área del presente trabajo, la mayor superficie de ellos (18%) se corresponde con la serie Ventana. Esta serie aflora en sentido sur-suroeste-nor-noreste, en casi la totalidad de las subcuencas a excepción de El Campamento y El Perdido. Le sigue en proporción la serie Pillahuincó (en el extremo sureste de la cuenca) sobre las unidades de Pantanos, El Campamento y El Perdido (Harrington, 1947). La serie Curamalal (grupo más antiguo) se presenta en el sector suroeste de la misma las Fm. Trocadero e Hinojo, conjunto de baja a media permeabilidad (Pereyra et al., 2001) sobre la subcuenca de 27 de Diciembre. En el sector del valle intermontano y en la llanura discurren sedimentos del Plioceno (Terciario) y Rodados del Pleistoceno (Cuaternario). 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; Sellés-Martínez, 2001).

La cuenca alta discurre sobre los partidos de Coronel Suárez; Saavedra y Tornquist. Es el partido de Coronel Suárez donde se localizan los núcleos mayormente poblados y que son afectados por lo que ocurre en la cuenca alta. La población rural es de relevancia con 3.414 habitantes para el año 2010 (Dirección Provincial de Estadística, 2016). El partido de Coronel Suárez posee una tradición económica de base agrícola ganadera, con una tendencia en los últimos veinte años a la intensificación de la producción de soja (Cimarosti, 2020).

3. Materiales y métodos

Se digitalizaron las curvas de nivel y los puntos acotados de las cartas topográficas del Instituto Geográfico Nacional [IGN] a escala 1:50000 de las cuales se generó el Modelo Digital del Terreno [MDT] de 12.5 m de resolución, mediante el interpolador Topo to Raster, provisto por ArcGIS 10°. En primera instancia, para el análisis de las formas del relieve y para comprender los procesos asociados se realizaron mapas de hipsometría, de gradientes de pendiente y de orientación de las laderas de la cuenca alta del arroyo SC. Los tres mapas resultantes derivaron del MDT a través de la herramienta Spatial Analyst Tools (ArcGIS 10°). Para el mapa de hipsometría se reclasificó el raster en 8 clases en función de la altura máxima y mínima de la cuenca. En cuanto al análisis de gradientes de pendiente, relevante en el conocimiento de la complejidad de las formas del relieve (Pedraza Gilsanz, 1996), se obtuvo el mapa a través de la herramienta Spatial Analyst Tools/Surface/Slope. Para definir los rangos de pendiente de las cuencas se utilizó la clasificación propuesta por Van Zuidam (1985) acotada a 6 clases de acuerdo a las características del sector de estudio. Por último, el mapa de orientaciones se estableció mediante la herramienta Spatial Analyst Tools/Surface/Aspect, donde los valores parten de 0° a 360° según la orientación respecto a los puntos cardinales.

La curvatura de una superficie es una medida que expresa la cantidad por la cual se desvía de ser un plano (Minar y Evans, 2008). Esta expresión se refleja en la forma que puede adquirir una vertiente. Para la identificación de curvaturas de la superficie terrestre se obtuvieron en primera instancia dos raster, a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT), mediante el software SAGA-GIS 7.8.2°. Se utilizó el módulo Spatial Analyst Tools/Surface/Curvatura para obtener los dos tipos de curvatura: del perfil (curvatura vertical) y del plano (curvatura horizontal) (Figura 2). Para su cálculo se seleccionó el algoritmo de Zevenbergen y Thorne (1987) que opera con ecuaciones polinomiales de 9 parámetros. El perfil de curvatura es la tasa de variación del gradiente (la curvatura de la superficie en la dirección de la pendiente) y está relacionado con la convexidad/concavidad y es determinante en la aceleración o desaceleración de la escorrentía. El plano de curvatura de la vertiente corresponde a la variación del gradiente del arco de la dirección ortogonal (curvatura de la superficie perpendicular a la dirección de la vertiente) y es relevante para caracterizar la divergencia/convergencia topográfica (Robaina y Trentin, 2020) y, por lo tanto, la propensión del agua a converger o divergir a medida que fluye a través de la superficie terrestre. La

curvatura siempre se informa y representa como un índice, es decir, como un valor único para cada celda cuadrada del modelo digital del terreno (MDT) (Evans, 1972; Zevenbergen y Thorne, 1987). El resultado final de este análisis deriva en un único raster de clasificación de curvatura que se origina en función de la herramienta Curvature Classification del software SAGA-GIS en base al método de clasificación propuesto por Dikau (1989) (Figura 2). Este autor define los elementos básicos del paisaje en función de la combinación de las tres curvaturas del perfil y las tres del plano, lo cual conlleva al establecimiento de nueve posibilidades de unidades de vertientes (perfiles rectilíneo-planar; rectilíneo-divergente; rectilíneos-convergente; perfiles cóncavo-planar; cóncavo-divergente; cóncavo-convergente; perfiles convexos-planar; convexo-divergente y convexo-convergente) (Figura 2).

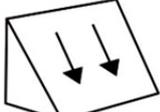
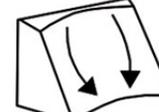
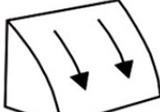
| | | CURVATURA DEL PLANO | | |
|----------------------|------------|--|--|---|
| | | Rectilíneo | Convexo | Cóncavo |
| CURVATURA DEL PERFIL | Rectilíneo |  Rectilíneo - planar |  Rectilíneo - divergente |  Rectilíneo - convergente |
| | Convexo |  Convexo - planar |  Convexo - divergente |  Convexo - convergente |
| | Cóncavo |  Cóncavo - planar |  Cóncavo - divergente |  Cóncavo - convergente |

Figura 2.

Esquema representativo de clases de morfología de vertientes

Fuente: Elaboración propia adaptado de Dikau (1989).

Valeriano (2008) expresa que la curvatura vertical es una variable que posibilita identificar unidades homogéneas del relieve, debido a que se refiere a la forma convexa/cóncava del terreno. Valeriano y Albuquerque (2010) consideraron que el valor (clase) de la curvatura vertical se define por la diferencia del ángulo de la pendiente en relación con la respectiva distancia horizontal, por lo que si no hay diferencia en este ángulo, el resultado es nulo, por lo tanto, con curvatura vertical recta. Los perfiles de pendiente convexos presentan valores positivos y los perfiles cóncavos presentan valores negativos. La concavidad y la convexidad del plano del terreno se utilizan en este caso para identificar entornos topográficos (Bonetto et al., 2017; Hengl & Evans, 2009). La curvatura del perfil muestra las áreas convexas alrededor de las cimas (valores negativos) y el área cóncava en los fondos de los valles (valores positivos). La curvatura vertical convexa es indicativa de la aceleración del flujo y la cóncava de desaceleración (Hartemink y McBratney, 2008). Según Valeriano y Albuquerque (2010) la medida de la

curvatura horizontal se basa en el cambio de orientación de las pendientes en relación con la distancia horizontal, a lo largo de las curvas de nivel.

Por último, se combinaron e identificaron distintas clases para asociar las formas y su incidencia en la escorrentía superficial. Dichos resultados se complementaron con el análisis de gradientes de pendiente y de las unidades geomórficas planteadas por Pereyra y Ferrer (1995) y Pereyra et al. (2001).

4. Resultados y Discusión

4.1. Cuenca alta del arroyo SC: topografía y sus dimensiones derivadas

La cuenca alta del arroyo SC presenta una una pendiente media de 5,7 °. Los gradientes de pendiente de mayor frecuencia se encuentran entre los rangos de 0° – 2 ° y 2 ° - 4 °. La Figura 3 presenta la hipsometría, gradientes de pendiente y la orientación de las laderas, dimensiones de la topografía de relevancia para comprender los procesos asociados en este trabajo.

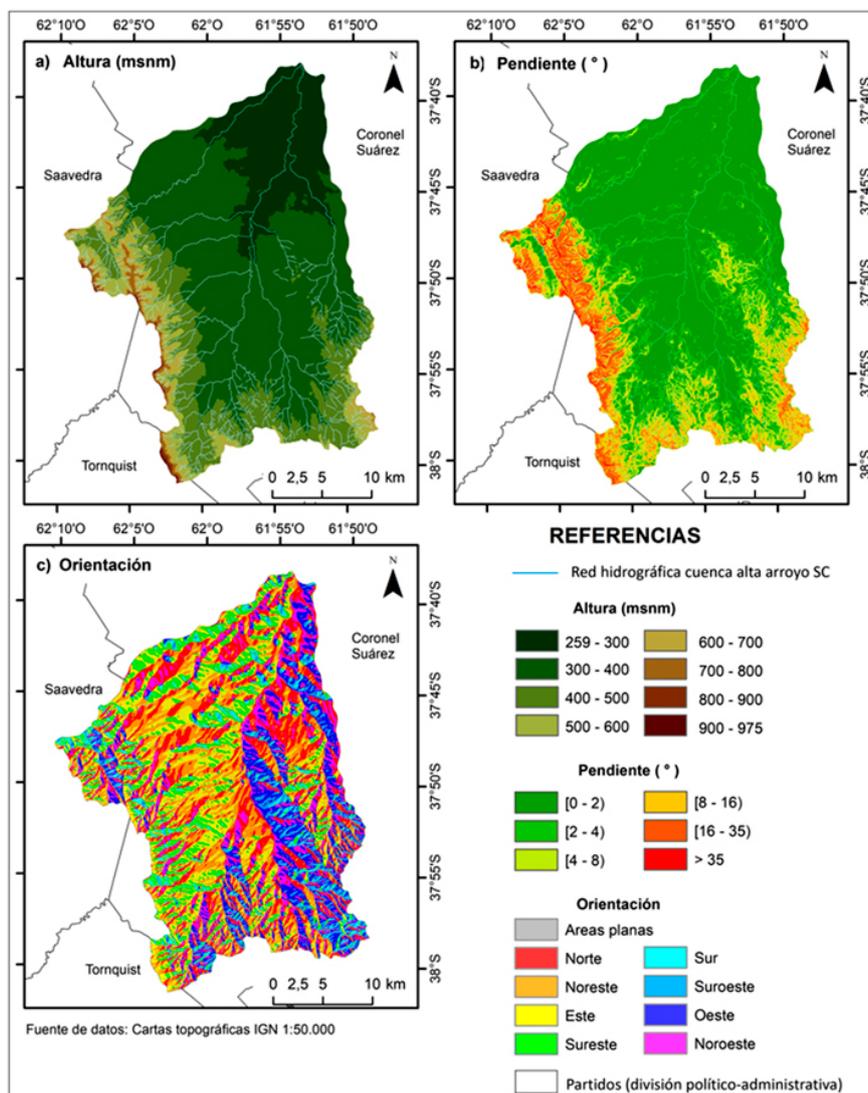


Figura 3.

Hipsometría, gradientes de pendiente y orientación de vertientes de la cuenca alta del arroyo SC

Fuente: Elaboración propia.

El perfil longitudinal (Figura 4) presenta en líneas generales una forma cóncava con tendencia hacia la horizontalidad producto de los bajos gradientes de pendiente en el área (Figura 3b). El tramo A – B en su inicio posee una alternancia de tramos cóncavos y convexos, con pendientes pronunciadas (entre los 16 ° - 35 ° y los 8 ° - 16 °) hasta aproximadamente los 400 m.s.n.m, coincidente con las nacientes del curso principal del arroyo Sauce Corto. El perfil longitudinal del tramo A - B evidencia las heterogeneidades en la rugosidad del terreno a lo largo de la cuenca alta, que se visualizan con mayor detalle en los perfiles longitudinales de los tramos C - D (representativo de la cuenca Nacimiento Oeste) y E - F (representativo de la cuenca 27 de Diciembre). A partir de los 350 m.s.n.m. predominan los gradientes de pendiente entre 0 ° – 2 °, el perfil comienza a comportarse como una línea ligeramente recta hasta su finalización. Esta área recibe aportes considerables de escurrimiento superficial de toda la cuenca alta, por lo que se infiere un fuerte impacto de las crecidas con incidencia en la cuenca media-baja producto del cambio de pendiente. Como sucede en otras áreas de la

llanura pampeana (Gentili, 2012; Kruse y Ainchil, 2011; Kruse y Zimmermann, 2018; Quiroz Londoño et al., 2013), la predominancia de bajos gradientes de pendiente contribuye a disminuir la velocidad de escurrimiento superficial, los procesos de acumulación se vuelven relevantes y se incrementa la posibilidad de ocurrencia de procesos de infiltración y evapotranspiración. Asimismo, en estas áreas la intervención antropogénica, mediante la realización y ejecución de diferentes medidas estructurales entre ellas las canalizaciones y redes viales distorsionan fuertemente las condiciones naturales de drenaje superficial (Kruse y Ainchil, 2011).

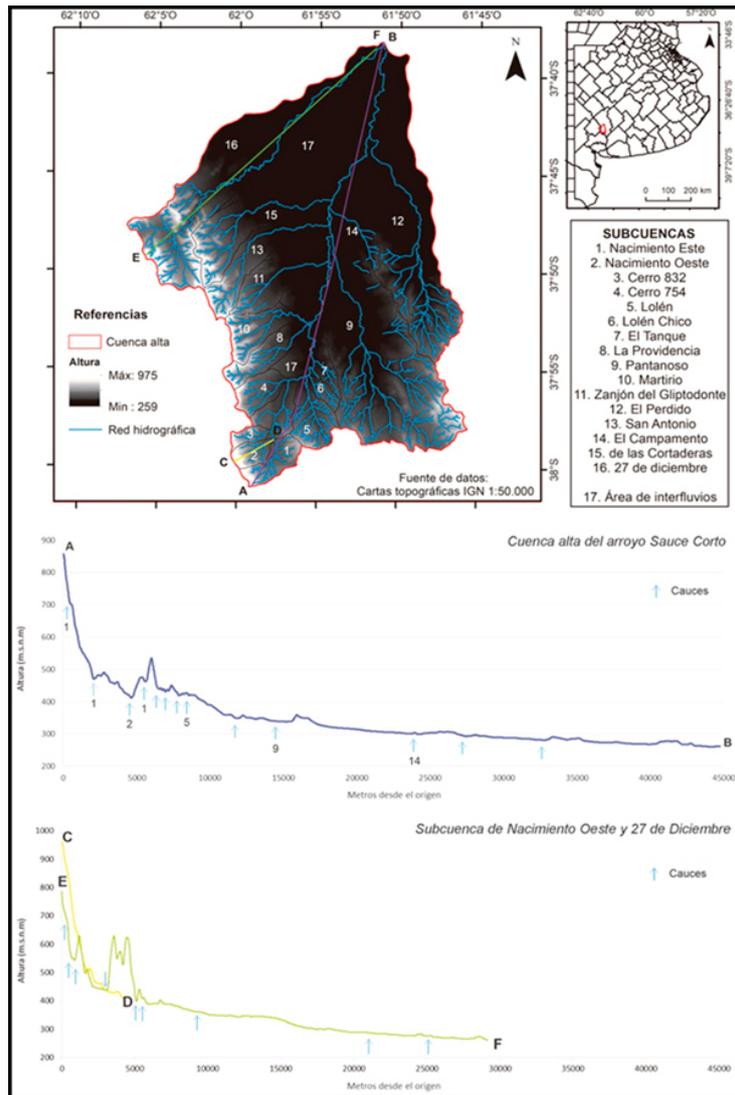


Figura 4.
Perfiles longitudinales de la cuenca y de la cuenca alta del arroyo Sauce Corto
Fuente: Elaboración propia.

4.2. Morfología de vertientes y sus procesos asociados

El perfil (curvatura vertical) y la forma (curvatura horizontal) de la topografía están relacionados entre sí, pero es posible describirlos a niveles categóricos diferentes (Zinck, 2012). En relación con la curvatura vertical, más de un 80

% presenta vertientes con forma rectilínea y un 5 % y 7 % curvaturas cóncavas y convexas respectivamente. Mediante la concavidad y la convexidad del plano del terreno es posible identificar entornos topográficos (Bonetto et al., 2017; Hengl y Evans, 2009). En cuanto a la curvatura horizontal, un 55 % de la cuenca alta presenta curvatura plana. De forma general, puede inferirse que es posible diferenciar los valles en zonas de cabecera de cuencas y los sectores llanos bajos, simplemente si los gradientes de pendiente son mayor o inferiores a 2°. De la superficie restante, un 24 % y 21 % presenta vertientes con carácter de divergencia y convergencia del flujo, lo cual muestra las ubicaciones de las crestas y los valles respectivamente. El análisis de los tipos de curvaturas horizontal de pendientes es importante desde el punto de vista morfológico, pedogenético e hidrológico (Freires et al., 2019). La curvatura divergente se refiere al ensanchamiento de las líneas de flujos, que pueden indicar una topografía más suave o valles abiertos, mientras que el carácter convergente sugiere un estrechamiento del flujo asociado a valles más cerrados.

En la Figura 5 se presenta un esquema representativo de un corte topográfico transversal realizado en Nacimiento Oeste. Esta cuenca presenta la cota máxima (975 m.s.n.m) de las 16 subcuencas que forman la cuenca alta, con un desnivel de 568 m.s.n.m. Conforman el área de la naciente del arroyo Sauce Corto y discurre sobre antiguas formaciones geológicas del Grupo Ventana, con pendientes abruptas en el rango mayoritariamente de los 16° - 35°. Del análisis de la Figura 5 y la Figura 6 se desprende que Nacimiento Oeste posee un gran porcentaje de laderas cóncavas y convexas. La caracterización de este rasgo es particularmente importante en áreas de pendiente. Las áreas cóncavas coinciden con las redes de drenaje de dicha cuenca y las convexas con las cimas de vertientes de las Sierras de Curamalal. Asimismo, los porcentajes de superficie donde el flujo de escorrentía diverge y converge son similares y se asocian a las ubicaciones de las crestas y los valles respectivamente.

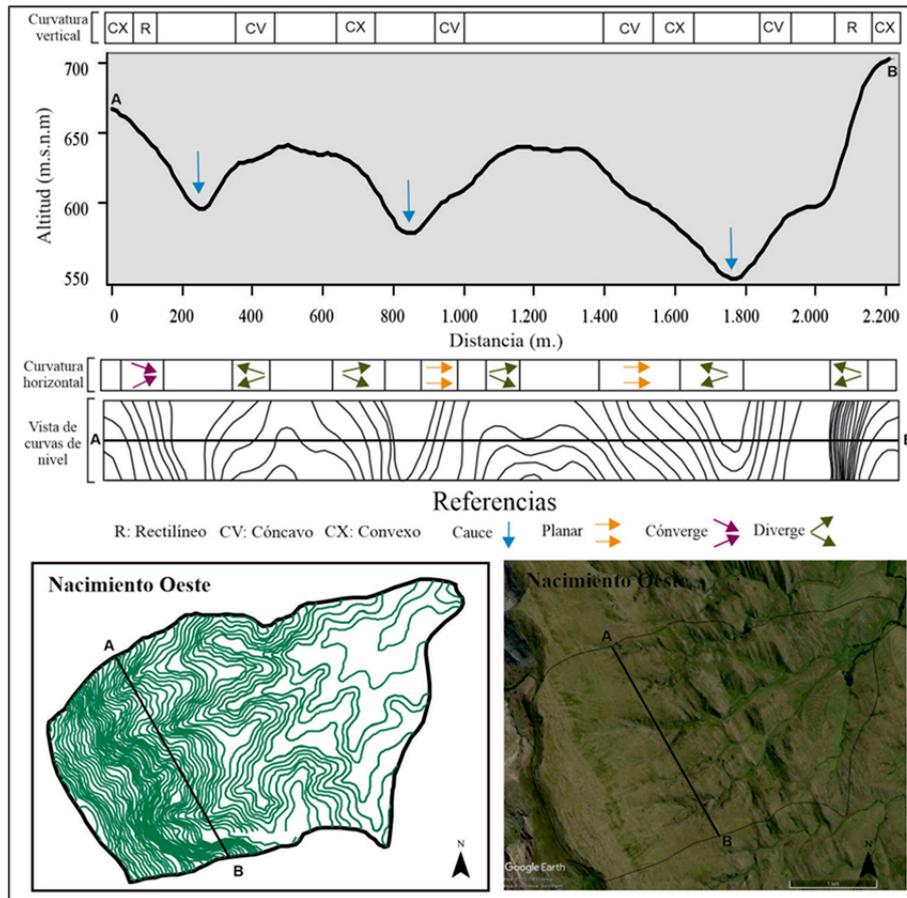


Figura 5.

Esquema representativo de un corte topográfico transversal en la cuenca Nacimiento Oeste

Fuente: Elaboración propia.

Los tipos de las formas del terreno (Dikau, 1989) para el área de estudio y las superficies ocupadas por cada una ellas se representan en la Figura 6. Un 57 % del área corresponde a zonas con valores cercanos a cero, lo que indica que las formas del terreno tienden a ser lineales y planas. Esto se condice con que un 53 % de la cuenca alta se desarrolla en los menores gradientes de pendiente, es decir en el rango entre $0^\circ - 2^\circ$. La inclinación de la pendiente es un impulsor influyente de procesos de conformación de la superficie y una propiedad fundamental de la topografía resultante (Iwahashi y Pike, 2007). Estas áreas con formas del terreno rectilíneas-planares pueden asociarse a flujos laminares (Pedraza Gilsanz, 1996) por desarrollarse en áreas de bajas pendientes. Susena (2020) expone que estas formas son más frecuentes en el piedemonte (Figura 6), indicando su suavizamiento producto de la deposición de la cubierta eólica periserrana. Asimismo, y como se visualiza en la Figura 6, esta característica se observa también en los tramos de las laderas próximos a las cimas o a afloramientos topográficamente más bajos. Le siguen en orden de importancia las formas convexo-convergente (10 %) y la cóncavo-divergente (9,7 %).

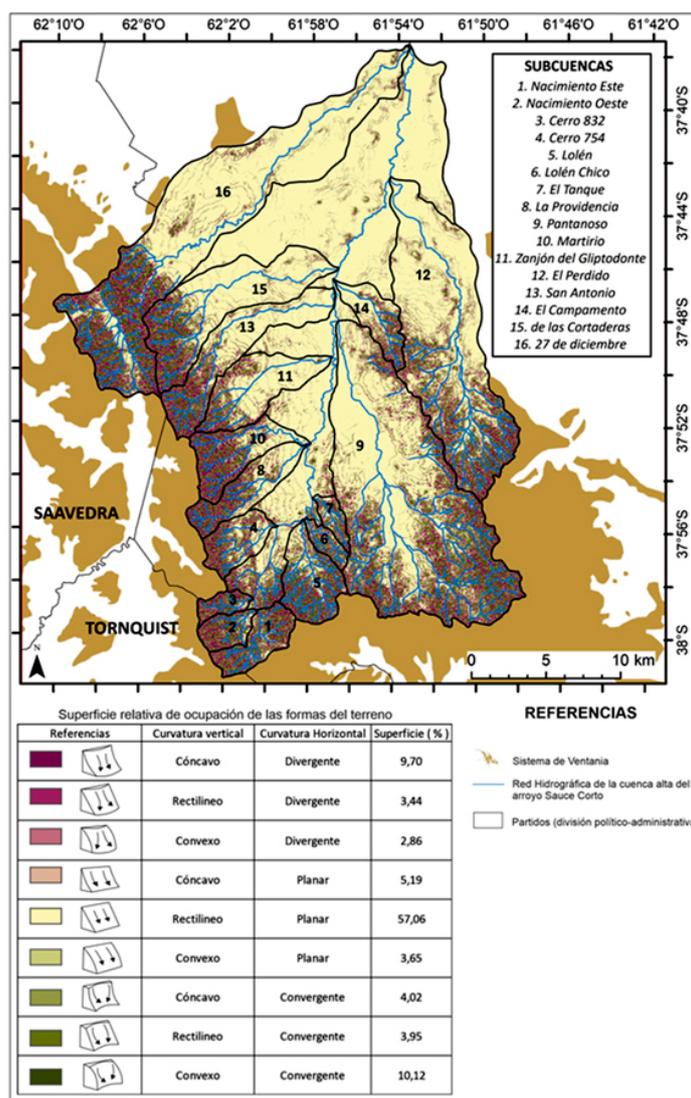


Figura 6.

Formas del terreno en la cuenca alta del arroyo Sauce corto y superficie de ocupación

Fuente: elaboración propia en base a Dikau (1989).

El análisis particular de subcuencas permite observar distribuciones y proporciones diferenciales de formas del terreno. En la Figura 7 se representan las formas de vertientes de subcuencas de interés. El estudio morfométrico y morfológico realizado también, en otros trabajos del área (Gentili, 2012; Moretto et al., 2019), posibilitó observar dos grupos de subcuencas con comportamientos similares. Un primer grupo sería el compuesto por las cuencas ubicadas en las nacientes del curso principal del arroyo Sauce Corto: Nacimiento Oeste, Nacimiento Este y Cerro 832 con gradientes de pendientes elevados respecto de la cuenca alta en su conjunto (entre los rangos $8^\circ - 16^\circ$ y $16^\circ - 3^\circ$) (Figura 7). En esas cuencas la mayor proporción de su superficie se corresponde con vertientes convexas-divergente y cóncavo-divergentes en segundo lugar. Las clases convexas de curvatura del terreno, con mayores altitudes y relieve ondulado propician el aumento de la energía del flujo (Valeriano, 2008) lo cual puede influir en picos de crecidas recurrentes en el cauce principal del arroyo Sauce Corto, asociado también a la forma redondeada de cada unidad de diagnóstico (Gentili, 2012;

Moretto et al., 2019). Asimismo, las formas cóncavo-divergentes se corresponden con superficies de laderas más suaves. En ellas, puede esperarse que la escorrentía superficial tenga una baja capacidad de transporte y por lo tanto de remoción de partículas de suelo. Por otro lado, un segundo grupo compuesto por las cuencas Pantanoso y 27 de diciembre, de mayor superficie del conjunto, con gradientes de pendientes entre 0° - 2° (Figura 7), presentan mayor proporción de formas del terreno rectilíneas y planares, donde es posible inferir los procesos de circulación de agua no concentrada y un posible estancamiento del escurrimiento superficial, principalmente en sus sectores medio y bajo.

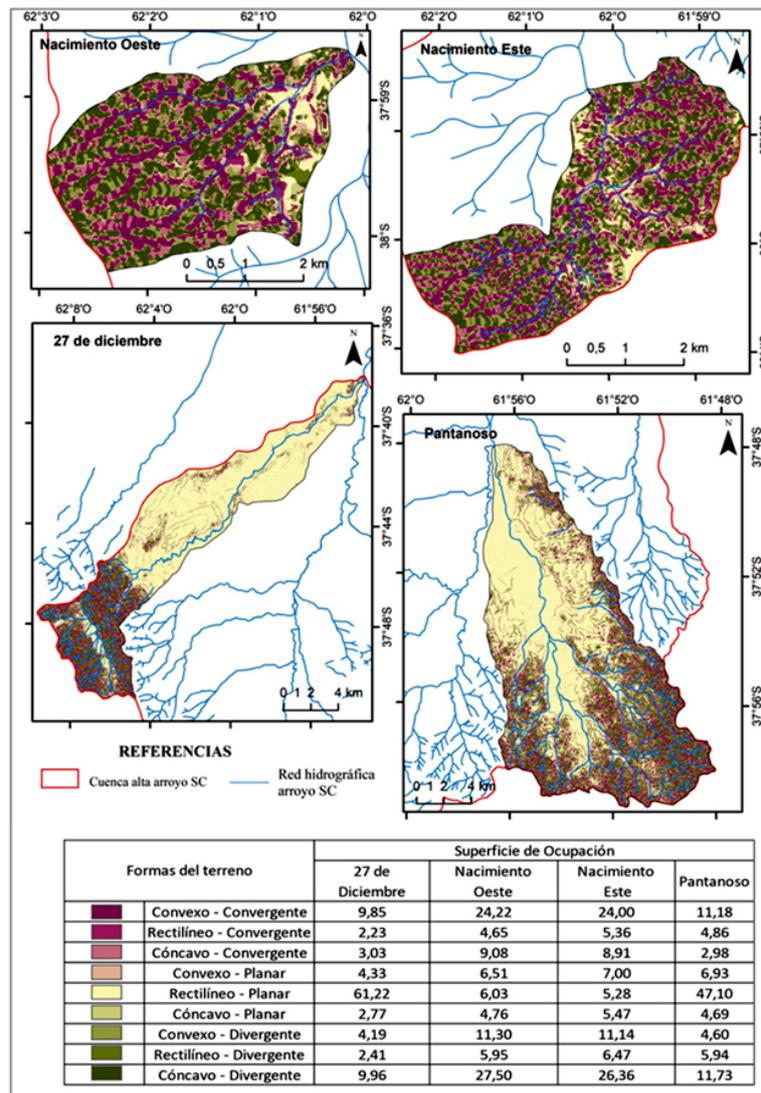


Figura 7.

Formas del terreno en subcuencas de interés de la cuenca alta del arroyo Sauce corto y su superficie de ocupación

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la clasificación propuesta por Dikau (1989), de los gradientes de pendiente, de la orientación y de las unidades geomórficas identificadas por Pereyra y Ferrer (1995) y Pereyra et al. (2001) para cada una de las subcuencas, se vincularon las principales formas del terreno con los procesos asociados a una vertiente. En la Figura 8 se representa la dispersión de subcuencas según valores de las tres principales formas de las vertientes de la cuenca alta. En la Figura 9 a)

y 9 b) se describe este análisis en función de la predominancia de cada uno de los componentes.

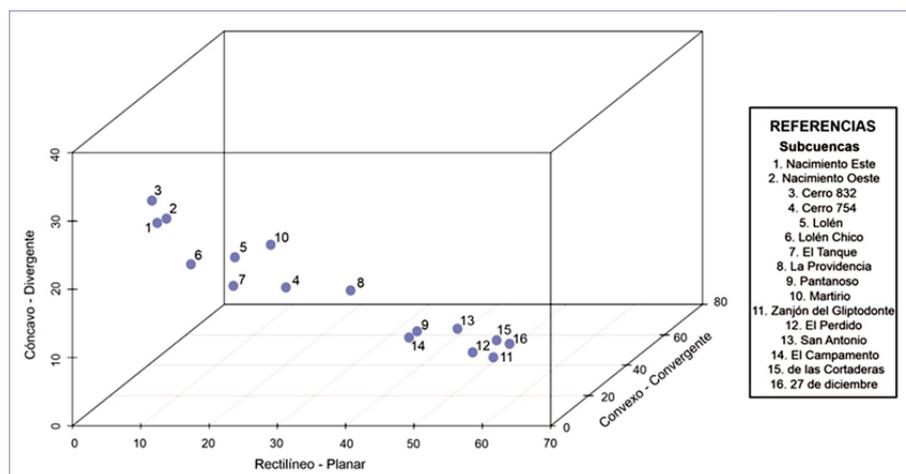


Figura 8.

Dispersión de subcuencas en función de las tres principales (%) formas de vertientes

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 8 permite observar tres grupos de cuencas bien diferenciados, uno de ellos con mayor dispersión entre las subcuencas que lo conforman. El primero está compuesto por Nacimiento Este, Nacimiento Oeste y Cerro 832 (se corresponden con las nacientes del arroyo Sauce Corto). Todas se localizan mayormente en las unidades geomórficas del ambiente Serrano (Superficie de planación regional disectada) y el nivel de agradación pedemontano antiguo identificados por Pereyra y Ferrer (1995) y evoluciona sobre litologías del grupo Ventana. Estas subcuencas se desarrollan sobre altos gradientes de pendiente $8^\circ - 16^\circ$ (21,03 %) y $16^\circ - 35^\circ$ (44,26 %), las geometrías predominantes son convexo-convergente y cóncavo-divergente. Según Pedraza Gilsanz (1996) estas combinaciones de curvaturas suelen dar lugar a procesos de deslizamientos y erosión lineal, asociados a una mayor energía del flujo con menor infiltración, que dependiendo de si el plano es divergente o convergente, la dispersión del flujo será mayor o menor respectivamente (da Silva Knierin y Trentin, 2015). Cabe destacar que en formas convexas-convergentes el proceso que va a predominar, en estas áreas, es la arroyada concentrada (Derruau, 1970).

Un segundo conjunto de subcuencas está compuesto por Pantanososo, El Campamento, San Antonio, El Perdido, de las Cortaderas y 27 de diciembre. En el marco de la clasificación de Pereyra y Ferrer (1995) y Pereyra et al. (2001), todas se desarrollan mayormente sobre el ambiente serrano. Asimismo, todas ellas se desarrollan sobre el nivel de agradación pedemontano antiguo y moderno (de mayor representación dentro de cada una). Los gradientes son mayormente de las clases de $0^\circ - 2^\circ$ con formas del terreno predominantemente rectilíneo-planares. Por tanto, pueden coexistir procesos de remoción en masa, procesos de erosión lineal (Gentili, 2007), de circulación de agua no concentrada y en algunas áreas incisión vertical producto de las bajas pendientes. A su vez, de Sa Pereira et al. (2018) identificaron en distintos sectores de estas subcuencas procesos de compactación subsuperficial que reducen los procesos de infiltración y por tanto contribuye a la erosión hídrica. Esta descripción representa un ambiente

de transición como presentan Pereyra et al. (2001) que se corresponde con la zona donde tuvo lugar la principal acumulación de sedimentos provenientes de las sierras.

Por último, un tercer grupo, con mayor dispersión en el que La Providencia (subcuenca 8 en Figura 8) presenta como más representativas las curvaturas rectilíneo-planares y convexo-convergente aunque mantiene características de altitud y pendiente similares al grupo descrito en el párrafo precedente. Asimismo, cuencas como Lolén (5), Lolén Chico (6), El Tanque (7) con geometrías predominantes convexo-convergente y cóncavo-divergente se desarrollan mayormente sobre las clases de $0^\circ - 2^\circ$ y $4^\circ - 8^\circ$. Los procesos característicos son la circulación de agua no concentrada y arroyada en surco. Martirio y Cerro 754, cuencas contiguas, se desarrollan ambas sobre la superficie de planación regional disectada y el nivel de agradación pedemontano antiguo y moderno propuestos por Pereyra y Ferrer (1995) y Pereyra et al. (2001). La primera también comprende superficie del valle intermontano donde predominan gradientes de pendientes del 16° al 35° .

a)

| Subcuenca | Unidades Geomórficas dominantes -según propuesta de Pereyra y Ferrer (1995) y Pereyra et al. (2001)- | Frecuencia principal | | |
|------------------|---|--|---|---|
| | | Formas del terreno / vertientes | Rangos de pendiente | Dinámica y procesos asociados -según clasificación Pedraza Gilsanz (1996)- |
| Nacimiento Oeste | Ambiente Serrano (Superficie de planación regional disectada) Nivel de agradación pedemontano antiguo | Convexo-Convergente/ Cóncavo-Divergente | $8^\circ - 16^\circ$ (21,03 %) $16^\circ - 35^\circ$ (44,26 %) | Deslizamientos Arroyada Erosión lineal |
| Lolén | Ambiente Serrano (Superficie de planación regional poco disectada) Valle Intermontano Nivel de agradación pedemontano antiguo y moderno | Convexo-Convergente/ Cóncavo-Divergente | $0^\circ - 2^\circ$ (36,12 %) $4^\circ - 8^\circ$ (23,96 %) | Arroyada en manto y en surco |
| La Providencia | Ambiente Serrano (Superficie de planación regional disectada) Valle Intermontano Nivel de agradación pedemontano antiguo y moderno | Rectilíneo-Planar | $0^\circ - 2^\circ$ (34,92 %) | Ligero lavado, arroyada en manto |
| Pantanosos | Ambiente Serrano (Superficie de planación regional poco disectada) Valle Intermontano Nivel de agradación pedemontano antiguo y moderno | Rectilíneo-Planar | $0^\circ - 2^\circ$ (50,31 %) | Remoción en masa Ligero lavado Procesos de erosión lineal Incisión vertical |
| | Planicies aluviales y terrazas fluviales | | | |
| 27 de diciembre | Ambiente Serrano (Superficie de planación regional disectada) | Rectilíneo-Planar | $0^\circ - 2^\circ$ (64,10 %) | Arroyada concentrada |
| | Nivel de agradación pedemontano antiguo y moderno Planicies aluviales y terrazas fluviales Bajos y vías de escurrimiento difuso | | | Ligero lavado, arroyada en manto. Procesos de erosión lineal Remoción en masa (reptación de suelos) Incisión vertical |

Figura 9

Para subcuencas de interés: 9 a) Relación entre morfología de vertientes y posibles procesos dominantes

Fuente: Elaboración propia.

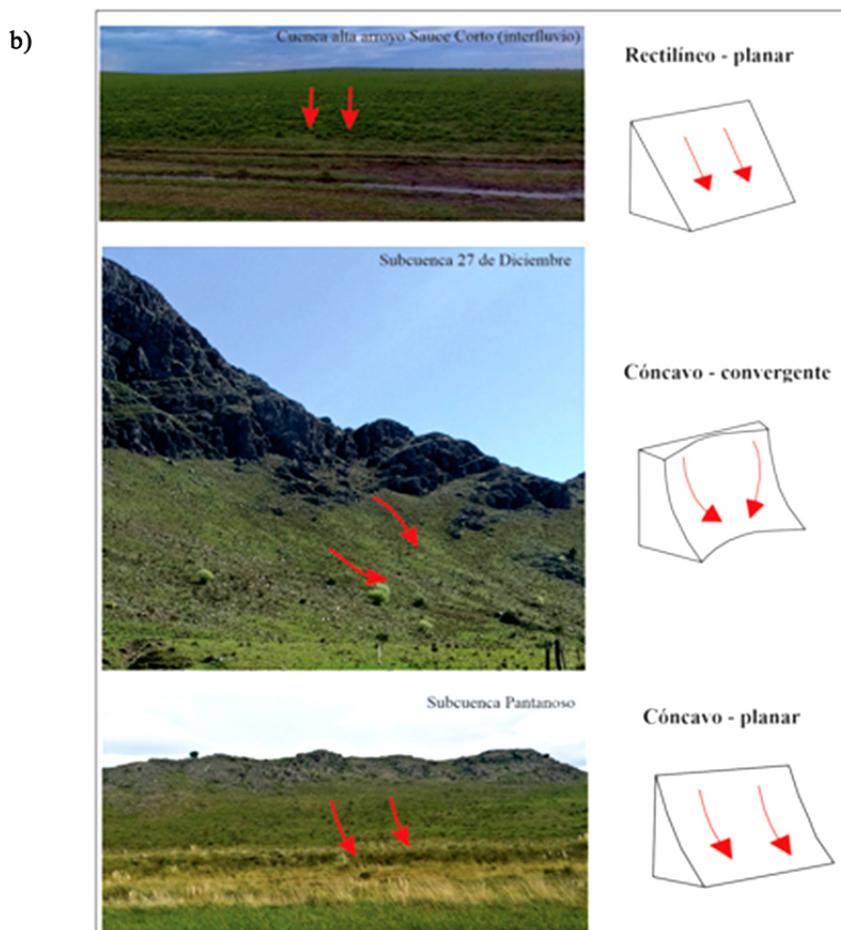


Figura 9

Para subcuencas de interés: 9 b) Formas de laderas

Fuente: Elaboración propia.

5. Conclusiones

La clasificación automática de la morfología de vertientes (longitudinal –del perfil- y transversal –del plano-) a partir de un MDT posibilitó la identificación y análisis de diferentes formas del terreno. Se obtuvieron un total de nueve clases de morfología de vertientes (combinaciones de curvaturas del perfil y el plano).

Para la comprensión y descripción de las formas de la cuenca alta del arroyo SC se tuvieron en cuenta la topografía y sus dimensiones derivadas. La cuenca posee mayor frecuencia de formas del terreno rectilíneas-planares (57 %), asociado a procesos de circulación de agua no concentrada (principalmente en áreas de baja altitud y gradientes de pendiente $0^\circ - 2^\circ$) e incluso de estancamiento de la escorrentía. Le siguen en orden de importancia las formas convexo-convergentes (10 %) y la cóncavo-divergente (9,7 %).

El análisis diferencial de las formas de vertientes de cada unidad de diagnóstico posibilitó el estudio más detallado a nivel de subcuenca, para conocer características particulares de la dinámica de las mismas. La escorrentía superficial posee implicancias relevantes en la dinámica hídrica y por tanto en la respuesta diferencial frente a la generación de crecidas de cada una de las subcuencas. Del análisis de cada una de ellas, se observa que las formas de vertientes de mayor

representación identificadas (curvatura rectilíneo-planar) y las características altitudinales y de pendiente, se asocian a llanuras de inundación y planicies aluviales. Las curvaturas convexa-convergente se presentan en cimas y crestas asociadas a pendientes moderadas y en las laderas de las sierras asociadas a pendientes moderadamente empinadas. Le siguen en orden de importancia, por un lado los fondos de valles (áreas con curvatura cóncava-divergente con pendientes débil a moderadamente inclinadas) y por otro lado, correspondiente con el nivel de agradación pedemontano antiguo y moderno y pendientes moderadamente inclinadas, los fondos de valles y las áreas inferiores de laderas más altas.

Este estudio resulta de relevancia en cuencas no aforadas, para comprender los factores naturales que intervienen en la génesis y dinámica de crecidas que pueden derivar en procesos de inundación, principal peligro del área de estudio. Contar con este tipo de información constituye un complemento de análisis para la construcción de cartografías de peligro de inundación, dada la relevancia de la formas del terreno en los procesos de escorrentía y erosión.

Referencias bibliográficas

- Bonetto, S., Facello, A. & Umili, G. (2017). A new application of CurvaTool semi-automatic approach to qualitatively detect geological lineaments. *Environmental & Engineering Geoscience*, 23(3), 179–190. <https://doi.org/10.2113/gsegeosci.23.3.179>
- Campode Ferreras, A. M., Capelli de Steffens, A. & Diez, P. (2004). *El clima del suroeste bonaerense*. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur.
- Cardoso, D. C. F., Oliveira, F. S. de, Souza, C. D., Schaefer, C., Siqueira, R. & Soares, I. A. S. (2022). As geoformas e a estrutura vertical das paisagens da Ilha da Trindade, Atlântico Sul. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 23(3), 1610–1633. <https://doi.org/10.20502/RBG.V23I3.2103>
- 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>
- Cimarosti, M. L. (2020). *Determinaciones de naturaleza subjetiva del ejercicio profesional. Tendencias, tensiones y contradicciones en Coronel Suárez* [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires]. <https://doi.org/10.52278/2412>
- Cunha, N. S., Magalhães, M. R., Domingos, T., Abreu, M. M. & Küpfer, C. (2017). The land morphology approach to flood risk mapping: An application to Portugal. *Journal of Environmental Management*, 193, 172–187. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.01.077>
- da Silva Knierin, I. & Trentin, R. (2015). Análise de Parâmetros Morfométricos da Bacia Hidrográfica do Arroio Lajeado Grande (RS). *Ciência E Natura*, 37(3), 405–421. <https://doi.org/10.5902/2179460X15906>
- de Amorim, L. de O., de Souza Robaina, L. E. & Trentin, R. (2021). Automated analysis of landforms of the Paraguaçu River Basin / Bahia. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 22(3), 641–655. <https://doi.org/10.20502/rbg.v22i3.1980>
- de Sa Pereira, E., Arroquy, G., Quiroga, A. R., Alvarez, C. y Fernandez, R. (2018). *Consideraciones sobre algunos cambios en propiedades físico-hídrica de suelos*

- pertenecientes a la Cuenca del Arroyo Sauce Corto. EEA Anguil, INTA. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/8989>
- Derruau, M. (1970). *Geomorfología*. Ediciones Ariel S.A.
- Dikau, R. (1989). The application of a digital relief model to landform analysis in geomorphology. En J. Raper (Ed.), *Three-dimensional applications in Geographical Information Systems* (pp. 51–77). Taylor & Francis.
- Dirección Provincial de Estadística. (2016). Estudios de población de la provincia de Buenos Aires. *Revista Estudios de población de la provincia de Buenos Aires, año 2(3)*. Ministerio de Economía de la provincia de Buenos Aires. http://www.estadistica.ec.gba.gov.ar/dpe/imagenes/Revista_3.pdf
- Dollar, E. S. J. (2000). Fluvial geomorphology. *Progress in Physical Geography, 24(3)*, 385–406. <https://doi.org/10.1177/030913330002400305>
- 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>
- Evans, S. (1972). General Geomorphometry, Derivatives of Altitude, and Descriptive Statistics. En R. J. Chorley (Ed.), *Spatial Analysis in Geomorphology* (pp. 17–90). Methuen & Co. Ltd.
- Fertonani, M. E. (1978). Lineamientos Básicos para el desarrollo de la investigación hidrológica en áreas de llanura: aspectos conceptuales y problemática [Conferencia]. *IX Congreso Nacional del Agua*, San Luis, Argentina.
- Freires, E. V., Silva Neto, C. Â., Silva, M. T., Duarte, C. R., Veríssimo, C. U. V. & Gomes, D. D. M. (2019). Analysis of the natural vulnerability of soil loss in the Uruburetama Massif/CE. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing, 9(3)*, 116. <https://doi.org/10.29150/jhrs.v9.3.p116-130>
- García Espino, J. C., Morales, G. M. & Manent, M. B. (2022). Identification of geofoms for the mapping of geosystems at the local level of the Zirahuén basin, Michoacán, Mexico, with the use of the TPI-BLC SAGA. *Revista Brasileira de Geomorfologia, 23(3)*, 1717–1734. <https://doi.org/10.20502/rbg.v23i3.2139>
- Gentili, J. O. (2007). *Problemáticas de erosión hídrica asociada a la red hidrográfica en la cuenca alta del arroyo Pantanoso, partido de Coronel Suárez* [Tesis de Licenciatura, Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca]. Inédita.
- 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>
- 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>
- 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 [Resumen y Poster]. *Tercer Encuentro de Investigaciones En Formación de Recursos Hídricos*, Ezeiza, Argentina. https://www.ina.gob.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, Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo]. http://bibliotecadigital.uns.edu.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652009001100009&lng=es&nrm=iso&tlng=es

- Gil, V. & Campo de Ferreras, A. M. (2012). Geomorfología y procesos de vertiente. Cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *Cuaternario y Geomorfología*, 26 (1-2), 133-150. <https://recyt.fecyt.es/index.php/CUGEO/article/view/18530>
- Gutiérrez Elorza, M. (2008). *Geomorfología*. Pearson
- 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.
- Hartemink, A. E. & McBratney, A. (2008). A soil science renaissance. *Geoderma*, 148(2), 123-129. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.10.006>
- Hengl, T. & Evans, I. S. (2009). Mathematical and Digital Models of the Land Surface. En T. Hengl & H. I. Reuter (Eds.), *Geomorphometry Concepts, Software, Applications* (VOL 33, pp. 31-63). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)00002-0](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)00002-0)
- Iwahashi, J. & Pike, R. J. (2007). Automated classifications of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature. *Geomorphology*, 86(3-4), 409-440. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.09.012>
- Khosravi, K., Pham, B. T., Chapi, K., Shirzadi, A., Shahabi, H., Revhaug, I., Prakash, I. & Tien Bui, D. (2018). A comparative assessment of decision trees algorithms for flash flood susceptibility modeling at Haraz watershed, northern Iran. *Science of The Total Environment*, 627, 744-755. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.266>
- Kruse, E. E. & Ainchil, J. E. (2011). El agua en la llanura bonaerense. *Revista de La Universidad*, (36), 109-119. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/68498>
- Kruse, E. & Zimmermann, E. D. (2018). *Hidrogeología de grandes llanuras. Particularidades en la Llanura Pampeana (Argentina)*. Consejo Hidrico Federal. <https://www.cohife.org/s644/03-as-ba-hidrogeologa-de-grandes-llanuras-particularidades-en-la-llanura-pampeana-kruse-eduardo-as-zimmermann-erik-das-ba>
- Minár, J. & Evans, I. S. (2008). Elementary forms for land surface segmentation: The theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping. *Geomorphology*, 95(3-4), 236-259. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.06.003>
- 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. (2022). Caracterización de morfología de vertientes (arroyo Sauce Corto): aporte a la cartografía de peligro de inundación [Poster]. *XIV Jornadas Nacionales de Geografía Física*, Corrientes, Argentina. <https://sites.google.com/view/jngf2021/actividades/libro-de-res%C3%BAmenes>
- 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 [Conferencia]. *IV Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses*, Junín, Argentina.
- Pereyra, F. X., Tchilinguirian, P., Copolecchia, M., Cavallaro, S. L., 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*. SegemAR. <http://repositorio.segemar.gov.ar/308849217/2099>

- Petsch, C., de Souza Robaina, L. E., Trentin, R., da Rosa, K. K., de Figueiredo, A. R. & Simões, J. C. (2020). Uso de métodos de mapeamento automático de relevo para análise de formas glaciais. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 21(2), 253–269. <https://doi.org/10.20502/RBG.V21I2.1771>
- Pinheiro Silveira, R. M. & Silveira, C. T. da. (2020). Método geomorfométrico para mapeamento de leques aluviais. *Geosul*, 35(76), 66–86. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2020v35n76p66>
- Quiroz Londoño, O. M., Grondona, S. I., Massone, H. E., Farenga, M., Martínez, G. & Martínez, D. E. (2013). 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*, 13(1), 76–98. <http://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/25139>
- Racca, J. M. G. (2010). Geomorfología de la cuenca del arroyo del Medio. *Boletín Del Instituto de Fisiografía y Geología*, 72-75, 13–42. https://www.fceia.unr.edu.ar/fisiografia/volumen72_75/BIFG72_75_Racca.pdf
- Reddy, G. P. O., Maji, A. K. & Gajbhiye, K. S. (2004). Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in a basaltic terrain, Central India – a remote sensing and GIS approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 6(1), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2004.06.003>
- Richter, H. (1962). Eine neue Methode der grossmassstäbigen Kartierung des Reliefs. *Petermanns Geographische Mitteilungen (Gotha)*, 106, 309–312.
- Robaina, L. E. D. S. & Trentin, R. (2020). Definição das unidades fisiográficas do município de São Francisco de Assis, com aplicações de SIG. *GEOUERJ*, (37), 1-16. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2020.33549>
- Ruhe, R. V. (1975). *Geomorphology. Geomorphic processes and surficial geology*. Houghton Mifflin.
- Sellés-Martínez, J. (2001). The geology of Ventania (Buenos Aires Province, Argentina). *Journal of Iberian Geology*, 27, 43–69.
- Susena, J. M. (2020). *Movimientos en masa en las sierras de Bravard y Curamalal, Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de La Plata - Universidad de Cantabria]. <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/21001>
- Valeriano, M. D. (2008). *Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais*. INPE.
- Valeriano, M. M. & Albuquerque, P. C. G. (2010). *Topodata: processamento dos dados SRTM*. INPE.
- Van Zuidam, R. (1985). *Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping*. Smits, The Hague.
- Vasconcelos, V., Couto Junior, A. F., de Carvalho Junior, O. A., de Souza Martins, E., Gomes, R. A. T. & Guimarães, R. F. (2012). Sistema de classificação geomorfométrica baseado em uma arquitetura sequencial em duas etapas: árvore de decisão e classificador espectral, no Parque Nacional Serra Da Canastra. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 13(2). <https://doi.org/10.20502/rbg.v13i2.248>
- 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>
- Young, A. (1972). *Slopes*. Oliver & Boyd.

- 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.
- Zevenbergen, L. W. & Thorne, C. R. (1987). Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12(1), 47–56. <https://doi.org/10.1002/esp.3290120107>
- Zinck, J. A. (2012). *Geopedología#: elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales*. ITC Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation Enschede,