# Evaluación del peligro potencial de crecidas en cuencas serranas. Sistema de Ventania, provincia de Buenos Aires.

*Gil, Verónica*[1,2] *– Gentili, Jorge*[1,2] *– Campo, Alicia M.* [1,2] *; Jelinski, Guillermo* [3,4] *y Crisafulli, Marta* [4]

[1] Departamento de Geografía y Turismo – Universidad Nacional del Sur (UNS), [2] Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), [3] Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de La Plata (UNLP), [4] Autoridad del Agua – Provincia de Buenos Aires (ADA)

E-mail: verogil@uns.edu.ar - jogentili@uns.edu.ar - amcampo@uns.edu.ar - jelinski@ing.unlp.edu.ar - crisafulli.m@ada.gba.gob.ar

RESUMEN: La variabilidad temporal y espacial de las precipitaciones en el suroeste de la provincia de Buenos Aires es elevada dando lugar a ciclos húmedos y secos que inciden en la sociedad. Durante los ciclos húmedos se producen inundaciones y en los ciclos secos la escasez de agua produce bajos o nulos rendimientos en las cosechas, dificultades de abastecimiento de agua potable y activación de los procesos de desertificación. Esta región es la parte más austral de la llanura Chaco-Pampeana y su escasa pendiente se encuentra interrumpida por el Sistema de Ventania. Las sierras generan un cambio en el comportamiento y los montos de las precipitaciones que se evidencia a lo largo de los valles interserranos (Campo *et al.*, 2012; Gentili y Gil, 2013). Asimismo, es la mayor divisoria de aguas de la provincia y da origen a cuencas exorreicas y endorreicas de régimen pluvial (Sauce Grande, Sauce Corto, Sauce Chico, Napostá Grande, Chasicó, Pigüé, etc.). En estas cuencas se producen inundaciones, cuando se generan precipitaciones torrenciales en el área serrana, que afectan tanto a sectores poblados como rurales dañando infraestructuras y produciendo pérdidas económicas y humanas. En el área los registros pluviométricos e hidrométricos presentan una escasa densidad espacial y diferencias notorias en la extensión temporal de las series. La gestión del riesgo de inundación es incipiente, lo cual agrava la vulnerabilidad de la sociedad involucrada. Por ello, el objetivo de este trabajo es evaluar el peligro potencial para generar crecidas de cuencas del Sistema de Ventania basado fundamentalmente en la caracterización hidro-geomorfológica de las cuencas a partir de índices morfométricos. La integración de características geomorfológicas, hidrográficas, climáticas y el análisis cuantitativo (mediante índices morfométricos) permitió definir subcuencas con mayor peligrosidad de generar crecidas que deriven en inundaciones para las cuencas altas de los arroyos Sauce Grande y Sauce Corto.

## INTRODUCCIÓN

La variabilidad temporal y espacial de las precipitaciones en el suroeste de la provincia de Buenos Aires es elevada dando lugar a ciclos húmedos y secos que inciden en la sociedad. Durante los ciclos húmedos se producen inundaciones por desbordes de ríos o anegamientos por crecimiento del sistema lagunar y en los

ciclos secos la escasez de agua produce bajos o nulos rendimientos en las cosechas, dificultades de abastecimiento de agua potable y activación de los procesos de desertificación. Desde hace más de una década en la región se analizan estas variaciones y se ha establecido su relación con fenómenos climáticos a escala zonal (Scian y Donnari, 1997; Scian, 2002; Zapperi *et al.*, 2006; Zapperi *et al.*, 2007; Gil *et al.*, 2008; Scian, 2009; Campo *et al.*, 2009; Gil, 2010; Bohn *et al.*, 2011; Gentili *et al.*, 2011; Gentili, 2012; Casado, 2013). Estas problemáticas recurrentes (escasez y abundancia de agua) afectan el desarrollo económico en general ya que la población en ocasiones tiene poca capacidad de recuperación ante este tipo de eventos.

Dentro de este contexto climático se desarrollan las cuencas que nacen en el Sistema de Ventania y particularmente la del río Sauce Grande y la del arroyo Sauce Corto (dos de las principales cuencas del suroeste de la provincia de Buenos Aires). El ambiente de las mismas está definido por la interrelación hombre-medio destacándose, el cordón serrano y los cursos de agua que allí se originan y las diferentes actividades económicas vinculadas a la ganadería, la agricultura, los centros urbanos y las actividades turísticas y de conservación. La combinación de los factores hidrometeorológicos y geomorfológicos es la principal causa generadora de la dinámica fluvial en estas cuencas (Gil, 2010).

Para poder realizar una gestión adecuada del recurso agua, contar con datos pluviométricos y de caudales es esencial. Sin embargo, en muchos lugares del país la escasez de este tipo de registros es frecuente, aún más cuando se tratan de cuencas medias o pequeñas como en este caso. Para el abordaje del estudio del peligro de crecidas o anegamiento en cuencas hidrográficas y el conocimiento de su dinámica fluvial es necesario el análisis conjunto de la geomorfología, climatología, hidrografía, edafología y biogeografía que las caracterizan. El presente trabajo proporciona los primeros resultados del análisis de la peligrosidad potencial de generar crecidas de las cuencas altas del río Sauce Grande (CASG) y del arroyo Sauce Corto (CASC). La metodología general para la determinación del peligro potencial de crecidas que guía el presente estudio se basa fundamentalmente en la caracterización hidro-geomorfológica a partir de índices morfométricos de cada sub-cuenca perteneciente a la CASG y CASC. El fin principal es generar cartografía que apoye a la toma de decisiones y sea una herramienta eficaz para mejorar la gestión de las crecidas en la región.

## AREA DE ESTUDIO

La región del suroeste bonaerense es la parte más austral de la llanura Chaco-Pampeana y su escasa pendiente se encuentra interrumpida por la presencia del Sistema de Ventania (o Sistema Austral). Este conjunto serrano, que se eleva entre 400 y 700 m sobre la llanura circundante, está compuesto por cordones sub-paralelos cuya diferencia altitudinal es marcada y debida al levantamiento diferencial de los distintos bloques. Estos cordones están separados por una depresión que forma los valles de la cuenca del río Sauce Grande hacia el sur y la cuenca del arroyo Sauce Corto hacia el norte. El sistema comienza al noroeste con las sierras de Pigüé, en la región media del arco se encuentra un valle que continúa y separa también las sierras de Curamalal (oeste) de las de Bravard (este), estas se inician a partir del abra de Pigüé. Estos dos cordones toman dirección norte – sur a partir del abra Agua Blanca hasta las proximidades del arroyo de la Ventana. Luego toma dirección sur – suroeste para retomar la dirección suroeste – sureste pasando el abra de

la Ventana. El sector oriental del orógeno está constituido por las sierras de las Tunas (norte) y las de Pillahuincó (sur), separada la primera de las sierras de Bravard por el valle de la cuenca del arroyo Sauce Corto que escurre hacia el norte. El sector occidental está constituido por las sierras de la Ventana que son continuación de las sierras de Bravard. Ambos cordones (Ventana y Pillahuincó) están separados por el valle de la cuenca del río Sauce Grande que escurre con dirección sur. En la parte central del Sistema de Ventania, los cordones Lolén, Mambaches y Esmeralda dan continuidad a los afloramientos al conectar el sector oriental y occidental de las sierras. Las mayores alturas oscilan entre 900 m y 1.247 m (Cerro Tres Picos) y se observan en los cordones de Bravard, Curamalal y Ventana mientras que en las Sierras de las Tunas y de Pillahuincó el área de cumbres expuestas varía entre 600 y 750 m s.n.m (Figura 1).

El conjunto serrano influye en el comportamiento y la cantidad de las lluvias (Zapperi *et al.*, 2007; Gil, 2010; 2011; Gentili *et al.*, 2011) del orden de los 110 mm (Casado *et al.*, 2007). Campo *et al.* (2012) y Gentili y Gil (2013) comprobaron la variabilidad espacio-temporal a lo largo de todo el valle interserrano. Las lluvias dominan como forma de precipitación. En algunos años se producen nevadas durante los meses de julio y agosto, principalmente en los niveles más altos de las sierras y solo en pocas ocasiones en los valles (Gil, 2011).

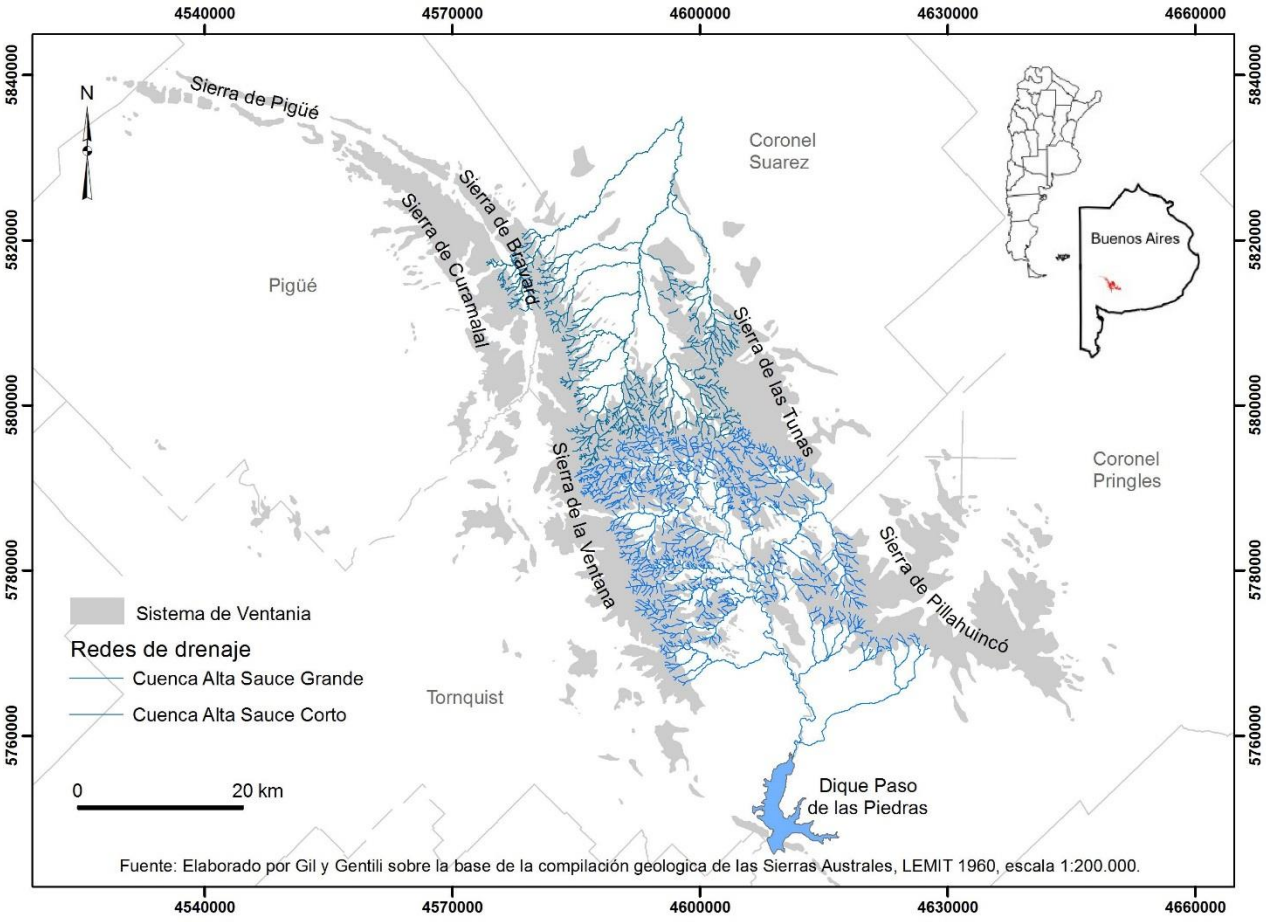


**Figura 1.-** Sistema de Ventania y red de drenaje de la cuenca alta del arroyo Sauce Corto y la cuenca alta del río Sauce Grande.

Asimismo, el Sistema de Ventania es la mayor divisoria de aguas de la provincia de Buenos Aires y da origen a varios cursos de agua que forman cuencas endorreicas y exorreicas. En líneas generales el drenaje de las sierras se encuentra constituido por nueve cuencas vertientes principales (Sauce Grande, Sauce Corto, Sauce Chico, Napostá Grande, Napostá Chico, Quequén Salado, Chasicó, Pigüe, Curamalal Grande) y cuencas menores. Estas se conforman a través de los cauces con desembocadura en la laguna Chasicó, laguna de Unamuno (ambas endorreicas), en el estuario de Bahía Blanca, en el mar Argentino y en las Encadenadas del Oeste (exorreicas). Todas poseen régimen pluvial es decir que su caudal está condicionado a las épocas de sequía o exceso de agua.

## MATERIALES Y METODOS

Se utilizó un Sistema de Información Geográfica (SIG) con el objeto de facilitar el manejo de información, agilizar los cálculos y elaborar cartografía temática. El software utilizado fue ArcGIS 10 y particularmente las extensiones Analyst Tools, 3D Analyst Tools y Spatial Analyst Tools (todas de propiedad del Departamento de Geografía y Turismo de la Universidad Nacional del Sur). Si bien la información cartográfica básica y temática posee diferentes escalas se eligió para la vectorización de las entidades espaciales las cartas topográficas 1:50.000. Una vez definida la escala de trabajo se realizaron las siguientes actividades para la incorporación de datos al SIG:

1) Se digitalizaron un total de 32 cartas topográficas a escala 1:50.000 del I.G.M actual Instituto Geográfico Nacional (I.G.N.) que cubren la totalidad del Sistema de Ventania para su incorporación como formato *raster* dentro del software SIG.
2) Se georeferenciaron las cartas topográficas mediante una función de transformación de 1$^{er}$ grado y remuestreo por el método del vecino más cercano.
3) Se realizó la vectorización de elementos de interés vinculados al peligro de inundación para las cuencas altas de todos los cursos de agua que se originan en el Sistema de Ventania, siendo las de mayor importancia las de los ríos Sauce Grande, Sauce Corto, Sauce Chico, Napostá Grande, Chasicó, Pigüé, Napostá Chico, Curamalal, Quequén Salado.
    - Elementos del medio físico que tienen incidencia en la propagación de las crecidas: red hidrográfica, curvas de nivel, puntos acotados y cuenca hidrográfica (cuencas altas y subcuencas por orden jerárquico).
    - Elementos antropogénicos que pueden verse afectados ante la ocurrencia de crecidas: rutas, caminos vecinales, puentes, alcantarillas y vados.

Con el objeto de facilitar el estudio morfométrico y de detalle de la dinámica fluvial se dividieron las cuencas altas en subcuencas. Para realizar la subdivisión se optó adoptar el criterio topológico propuesto por Romero Díaz (1989) que considera el número de orden de las subcuencas. Este criterio da una mayor objetividad en la división de las unidades. Por ello, serán objeto de estudio detallado las cuencas que posean un orden 3 o mayor. Se seleccionaron los parámetros e índices morfométricos más apropiados para evaluar la

potencialidad de generar crecidas de cada una de las cuencas (Senciales González, 1999; Díez-Herrero, 2004; Mesa, 2006; Lastra *et al.*, 2008; Díez-Herrero *et al.*, 2008; Gil, 2010; Gentili; 2012; Magesh *et al.*, 2013). Dado que la casi totalidad de las cuencas analizadas no cuentan con series continuas y fiables de datos de caudal, para la estimación del peligro se conjugan criterios geomorfológicos e hidrológicos mediante variables morfométricas. Entre los parámetros considerados se encuentran: el área, la altura máxima, la altura mínima y la longitud del cauce principal. En este último caso, se siguieron criterios topográficos y de longitud para su identificación (Tabla 1). Los índices morfométricos fueron agrupados en cuatro categorías (Romero Díaz, 1989): los vinculados: a la topología y longitud de los cauces, a la forma y tamaño de las cuencas, a las propiedades del relieve y a la intensidad del drenaje concentrado (Tabla 2).

**Tabla 1.-** Parámetros morfométricos.

| | Nombre | Símbolo | Unidad |
|---|---|---|---|
| Parámetros | Altura máxima | *Hmáx* | m |
| | Altura mínima | *Hmín* | m |
| | Área de la cuenca | $A$ | $km^2$ |
| | Longitud del cauce principal | $l$ | km |

**Tabla 2.-** Índices morfométricos.

| NOMBRE | SÍMBOLO | UNIDAD | FÓRMULA | AUTOR | DEFINICIÓN |
|---|---|---|---|---|---|
| **Variables de relieve** | | | | | |
| Pendiente media de la cuenca | *Pm* | % | | - | |
| Pendiente media del curso principal | *Pmcp* | % | $\frac{HMc - Hmc}{l}$ | - | $HMc$ = altitud máxima del curso<br>$Hmc$ = altitud mínima del curso<br>$l$ = longitud del curso principal |
| Razón de relieve | *Rr* | | $D/Lc$ | SCHUMM (1956) | $D$ = desnivel absoluto<br>$Lc$ = longitud de la cuenca |
| **Variables de topología y longitud de los cauces** | | | | | |
| Razón de bifurcación | *Rb* | | $Nu/Nu+1$ | HORTON (1945) | $Nu$ = Nº de cauces de orden u |
| Razón de longitud | *Rl* | | $L\bar{u}/L\bar{u}-1$ | HORTON (1945) | $L\bar{u}$ = longitud de los cauces de un orden dado |
| Razón de área | *Ra* | | | HORTON (1945) | |
| **Variables de forma y tamaño de las cuencas** | | | | | |
| Razón de elongación | Re | - | $1{,}129*(\sqrt{A}/l)$ | SCHUMM (1956) | |
| **Variables de intensidad del drenaje concentrado** | | | | | |
| Densidad de drenaje | *Dd* | $km/km^2$ | $Lt/A$ | HORTON (1932) | $Lt$ = Longitud total de los cursos<br>$A$ = Área de la cuenca |
| Índice de frecuencia | *If* | - | $N1/A$ | STRAHLER (1964) | $N1$ = Nº de cursos de orden 1<br>$A$ = Área de la cuenca |
| Coeficiente de torrencialidad | *Ct* | - | $Dd \times (N1/A)$ | - | $Dd$ = Densidad de drenaje<br>$N1$ = Nº de cursos de orden 1<br>$A$ = Área de la cuenca |

## RESULTADOS

El estudio morfométrico permite relacionar las dimensiones de la cuenca con los procesos fluviales que se producen en las mismas y proporciona información tanto geológica como hidrológica de relevancia que puede ser aplicada posteriormente al estudio de la dinámica (Strahler, 1974; Romero Díaz, 1989; Senciales González, 1999; Diez-Herrero, 2004). Para cada subcuenca perteneciente a la CASG y a la CASC se calcularon los parámetros e índices morfométricos que se indican en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Parámetros e índices morfométricos para cada subcuenca de las cuencas altas del río Sauce Grande y del arroyo Sauce Corto

| Parametros | | Hmax | Hmin | Area | LCP |
|---|---|---|---|---|---|
| Cuenca | Subcuencas | | | | |
| CASG | El Negro | 670 | 250 | 206,48 | 29,1 |
| | El Zorro | 500 | 180 | 99,67 | 22,5 |
| | San Bernardo | 1050 | 250 | 82,07 | 20,3 |
| | Rivera | 725 | 210 | 69,92 | 21,1 |
| | del Oro | 950 | 300 | 59,95 | 16,4 |
| | El Toro | 525 | 200 | 57,56 | 12,8 |
| | San Teófilo | 975 | 250 | 39,53 | 17,5 |
| | El Atravesado | 720 | 300 | 35,24 | 15 |
| | Rivero | 450 | 270 | 29,36 | 9,91 |
| | Abra Fea | 550 | 275 | 26,8 | 12,7 |
| | Las Mercedes | 450 | 190 | 25,62 | 6,4 |
| | Destierro Primero | 1050 | 400 | 17,93 | 8,38 |
| | del Abra | 530 | 325 | 16,82 | 7,92 |
| | Mambaches | 570 | 350 | 14,79 | 7,72 |
| | Horqueta del Sauce | 950 | 400 | 14,76 | 8,4 |
| | de Los Remansos | 1050 | 400 | 10,11 | 7,99 |
| | de Las Piedras | 550 | 300 | 8,81 | 5,43 |
| | Esmeralda | 575 | 325 | 5,37 | 3,83 |

| Parametros | | Hmax | Hmin | Area | LCP |
|---|---|---|---|---|---|
| Cuenca | Subcuencas | | | | |
| CASC | El Tanque | 445 | 345 | 4,57 | 4,27 |
| | Lolen Chico | 475 | 348 | 4,61 | 4,46 |
| | Cerro 832 | 832 | 401 | 4,89 | 3,92 |
| | Nacimiento Oeste | 966 | 406 | 7,59 | 3,78 |
| | El Campamento | 411 | 288 | 12,64 | 8,06 |
| | Cerro 754 | 878 | 365 | 13,01 | 5,96 |
| | Nacimiento Este | 950 | 406 | 13,32 | 5,51 |
| | La Providencia | 914 | 328 | 18,11 | 10,59 |
| | Lolen | 625 | 349 | 19,35 | 8,36 |
| | Martirio | 929 | 327 | 20,12 | 10,71 |
| | Zanjon del Gliptodonte | 815 | 303 | 25,34 | 11,04 |
| | San Antonio | 950 | 290 | 32,55 | 17,83 |
| | de las Cortaderas | 800 | 287 | 48,17 | 18,43 |
| | El Perdido | 616 | 276 | 100,43 | 25,98 |
| | 27 de Diciembre | 920 | 260 | 127,45 | 40,45 |
| | El Pantanoso | 751 | 295 | 149,73 | 30,64 |

| Indices | | Topologia y longitud de cauces | | | Forma y tamano de las cuencas | Relieve | | | Intensidad del drenaje concentrado | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cuenca | Subcuencas | Rb | Rl | Ra | Re | PMCP | PMC (en grados) | Rr | Dd | Ct | If |
| CASG | El Negro | 3.56 | 2.48 | 3.2 | 0.56 | 1.41 | 3.95 | 0.02 | 1.14 | 0.86 | 0.75 |
| | El Zorro | 2.37 | 2.75 | 6 | 0.45 | 1.36 | 2.12 | 0.02 | 0.47 | 0.06 | 0.13 |
| | San Bernardo | 3.64 | 2.18 | 2.8 | 0.50 | 4.68 | 8.47 | 0.03 | 1.93 | 3.65 | 1.89 |
| | Rivera | 3.27 | 2.86 | 7.4 | 0.54 | 2.7 | 4.63 | 0.04 | 0.78 | 0.46 | 0.59 |
| | del Oro | 4.26 | 2.07 | 3.3 | 0.53 | 4.27 | 7.17 | 0.05 | 1.58 | 1.2 | 0.76 |
| | El Toro | 3.89 | 2.62 | 3.5 | 0.66 | 3.38 | 4.58 | 0.03 | 1.13 | 0.47 | 0.42 |
| | San Teófilo | 3.63 | 2.56 | 3 | 0.41 | 4.15 | 6.16 | 0.05 | 2.37 | 2.63 | 1.11 |
| | El Atravesado | 4.42 | 3.17 | 5.4 | 0.44 | 2.86 | 7.89 | 0.03 | 2.34 | 4.52 | 1.93 |
| | Rivero | 2.56 | 1.57 | 2.2 | 0.62 | 2.27 | 3.48 | 0.01 | 1.57 | 2.2 | 1.4 |
| | Abra Fea | 6.33 | 6.12 | 15.3 | 0.49 | 2.74 | 6.34 | 0.03 | 1.41 | 1.73 | 1.23 |
| | Las Mercedes | 2.23 | 1.57 | 7.4 | 0.90 | 3.45 | 2.73 | 0.05 | 0.64 | 0.6 | 0.94 |
| | Destierro Primero | 3.88 | 2.66 | 5 | 0.57 | 7.76 | 8.75 | 0.11 | 2.61 | 8.3 | 3.18 |
| | del Abra | 3.58 | 1.95 | 2.5 | 0.65 | 3.08 | 5.77 | 0.03 | 2.57 | 6.86 | 2.67 |
| | Mambaches | 3.38 | 2.17 | 2.7 | 0.70 | 4.01 | 8.17 | 0.04 | 2.54 | 6.53 | 2.57 |
| | Horqueta del Sauce | 3.07 | 1.78 | 1.9 | 0.52 | 6.84 | 6.18 | 0.08 | 2.34 | 4.59 | 1.96 |
| | de Los Remansos | 3.31 | 3.1 | 1.5 | 0.45 | 8.13 | 8.42 | 0.09 | 2.68 | 8.23 | 3.07 |
| | de Las Piedras | 4.30 | 3.17 | 5.7 | 0.61 | 4.99 | 9.08 | 0.06 | 2.03 | 4.14 | 2.04 |
| | Esmeralda | 4.13 | 1.96 | 2.2 | 0.68 | 5.87 | 6.33 | 0.07 | 2.61 | 8.27 | 3.17 |
| CASC | El Tanque | 3.75 | 2.58 | 4.91 | 0.57 | 1.76 | 3.24 | 0.02 | 1.91 | 4.59 | 2.41 |
| | Lolen Chico | 3.75 | 1.94 | 5.70 | 0.54 | 1.84 | 3.90 | 0.03 | 2.28 | 5.44 | 2.39 |
| | Cerro 832 | 3.00 | 2.38 | 4.75 | 0.64 | 7.43 | 10.76 | 0.11 | 1.66 | 3.05 | 1.84 |
| | Nacimiento Oeste | 3.00 | 1.44 | 3.72 | 0.82 | 14.80 | 11.58 | 0.15 | 1.49 | 1.77 | 1.19 |
| | El Campamento | 3.25 | 3.29 | 6.34 | 0.50 | 1.23 | 2.56 | 0.02 | 1.13 | 0.80 | 0.71 |
| | Cerro 754 | 2.37 | 1.91 | 3.51 | 0.68 | 2.26 | 6.48 | 0.09 | 1.29 | 1.29 | 1.00 |
| | Nacimiento Este | 3.17 | 1.74 | 3.83 | 0.75 | 6.04 | 8.90 | 0.10 | 1.75 | 3.68 | 2.10 |
| | La Providencia | 4.25 | 6.62 | 18.23 | 0.45 | 3.63 | 7.36 | 0.06 | 1.28 | 1.06 | 0.83 |
| | Lolen | 3.86 | 2.38 | 5.25 | 0.59 | 2.54 | 5.80 | 0.03 | 2.31 | 6.46 | 2.79 |
| | Martirio | 2.70 | 2.51 | 4.51 | 0.47 | 2.55 | 9.79 | 0.06 | 1.46 | 1.31 | 0.89 |
| | Zanjon del Gliptodonte | 2.75 | 2.81 | 6.55 | 0.51 | 2.89 | 2.91 | 0.05 | 0.77 | 0.21 | 0.28 |
| | San Antonio | 3.88 | 10.00 | 13.95 | 0.36 | 2.02 | 5.12 | 0.04 | 0.96 | 0.44 | 0.46 |
| | de las Cortaderas | 3.10 | 3.45 | 11.29 | 0.43 | 2.24 | 5.61 | 0.03 | 0.92 | 0.56 | 0.60 |
| | El Perdido | 4.18 | 4.43 | 8.57 | 0.44 | 0.64 | 2.39 | 0.01 | 0.97 | 0.61 | 0.63 |
| | 27 de Diciembre | 3.02 | 8.19 | 4.80 | 0.32 | 0.85 | 5.15 | 0.02 | 0.87 | 0.51 | 0.59 |
| | El Pantanoso | 3.29 | 2.24 | 4.44 | 0.45 | 1.20 | 3.47 | 0.01 | 1.06 | 0.70 | 0.66 |

Estos índices pueden ser cartografiados para visualizar la variabilidad espacial de cada uno de ellos. Como ejemplo se espacializaron, para este trabajo, la Razón de bifurcación (Rb), la Razón de elongación (Re) y la Densidad de drenaje (Dd) de cada sub-cuenca para ambas cuencas de estudio. La **Rb** tiene relación con la forma y el comportamiento hidrológico de una cuenca. Según Senciales González (1999) los valores bajos implicarían crecidas de mayor magnitud tras un tiempo de concentración largo causado por déficit de canales de drenaje. Por el contrario, altas relaciones de bifurcación indicarían una rápida concentración de la escorrentía, pero con picos de crecida poco importantes (Strahler, 1974; Senciales González, 1999). La **Re** es otro índice potencialmente correlacionable con el hidrograma de crecida de una cuenca. Los valores de Re inferiores a 1 implican formas alargadas, o sea, cuando más alejado de 1 sea el valor mayor será la elongación. Estas cuencas presentan un retardo en la concentración de la escorrentía a causa de la gran longitud del cauce principal. Esto implica una permanecia mayor de aguas altas una vez que estas se concentran y picos de crecida atenuados. Sin embargo, puede darse que el retardo teórico no se presenta en áreas con fuertes pendientes (Jardí, 1985; Senciales González, 1999). La **Dd** es otra de las propiedades de mayor relevancia en una cuenca. La misma controla la eficiencia de drenaje y señala el estado erosivo (Senciales González, 1999; González de Matuco, 2004). Es un índice controlado por la litología presente, por la facilidad con la que se infiltra el agua de lluvia bajo la superficie del terreno hasta alcanzar el nivel freático y por la presencia o ausencia de cobertura vegetal, factores de control de la producción de agua y sedimentos en la cuenca (Strahler, 1974; López Bermúdez *et al.*, 1988).

En el caso de la Cuenca Alta del río Sauce Grande (CASG) está integrada por 18 subcuencas que drenan al curso principal de la cuenca alta de río Sauce Grande. De ellas 3 son de orden 5 (El Negro, San Bernardo y Rivero), 12 de orden 4 (Destierro Primero, Mambaches, del Abra, El Atravesado, El Toro, San Teófilo, Las Mercedes, El Zorro, Rivera, del Oro, Horqueta del Sauce, de los Remansos) y 3 de orden 3 (de las Piedras, Abra Fea, Esmeralda).

La mayor parte de las subcuencas presentan valores de **Rb** ubicados en el rango de 3 a 5 que corresponde a cuencas de montaña y sin demasiada dependencia estructural (Senciales González, 1999; Strahler, 1974) (Figura 2). Las cuencas cercanas a 2 que son Las Mercedes, El Zorro y Rivero se desarrollan sobre menores pendientes y sedimentos cuaternarios. Por otro lado, la cuenca del Abra Fea es la que presenta el mayor valor siendo de 6,33. El valor elevado puede corresponder a dos motivos: el primero es que la cuenca presenta orden 3, un bajo orden de jerarquía. El segundo motivo es que el curso principal drena paralelo a un contacto entre formaciones geológicas diferentes por lo que generaría un aumento de la relación de bifurcación entre los órdenes 2 y 3 que alterarían el valor medio. Los valores de **Re** menores a 1 indican formas alargadas, sin embargo, se pueden apreciar diferencias entre ellas, en especial si se comparan los valores más cercanos a 1 y los más alejados a él (Tabla 3). El mayor Re lo presenta la subcuenca del arroyo San Teófilo siguiéndole la subcuenca del arroyo de los Remansos, Atravesado y el Zorro. Por último, los valores de **Dd** obtenidos en las distintas cuencas de la CASG analizadas van desde 0,47 km/km$^2$ (cuenca El Zorro) a 2,68 km/km$^2$ (cuenca de Los Remansos). Las diferencias se observan en la tabla 3 y la figura 2, los mismos son considerados como baja densidad de drenaje y textura gruesa por Senciales González (1999). Para las cuencas de Rivera (0,78

km/km$^2$), Las Mercedes (0,64 km/km$^2$) y el Zorro (0,47 km/km$^2$) los valores bajos están relacionados con el escurrimiento de la cuenca sobre terrenos permeables y con alta infiltración.

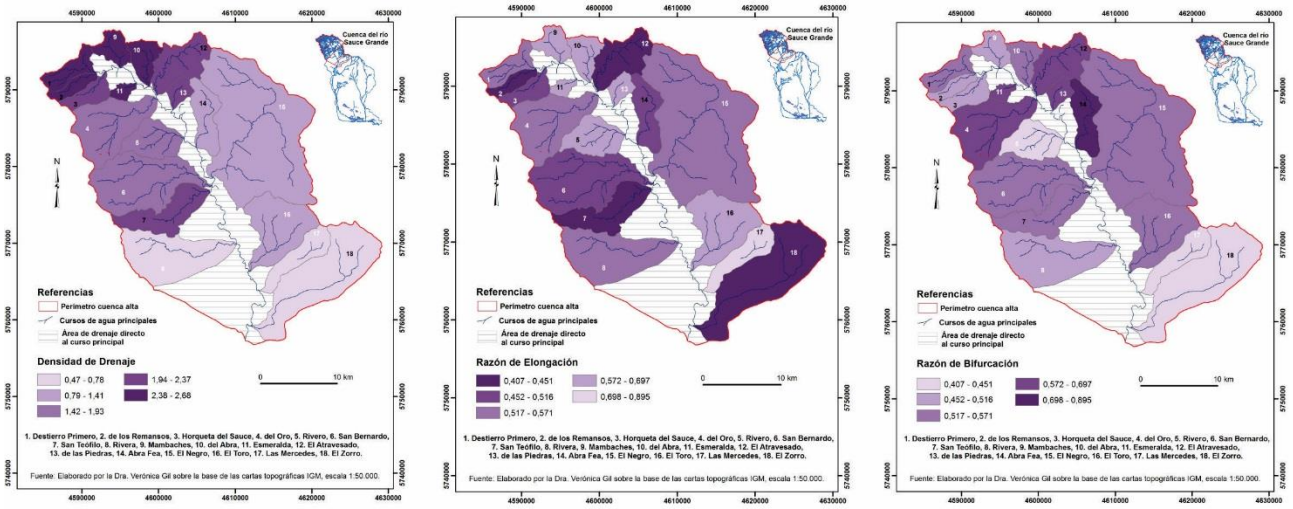


**Figura 2.-** Espacialización de índices morfométricos para la cuenca alta del río Sauce Grande (CASG).

En la Cuenca Alta del arroyo Sauce Corto (CASC) se delimitaron un total de 16 subcuencas todas de orden 3 o superior. Siete de ellas confluyen en el arroyo Sauce Corto por su margen derecha: El Perdido, El Campamento, Pantanoso, El Tanque, Lolen Chico, Lolen y Nacimiento Este. Por su margen izquierda le vierten sus aguas 9 subcuencas: Nacimiento Oeste, Cerro 832, Cerro 754, La Providencia, Martirio, Zanjón del Gliptodonte, San Antonio, de las Cortaderas y 27 de Diciembre.

La **Rb** para las subcuencas varía entre 2,37 y 4,25. La existencia de Rb no homogéneas entre órdenes sucesivos indica una deficiente jerarquización de la cuenca y marca la posible existencia de anomalías de drenaje. Para las subcuencas analizadas se verifican diferencias notables en las Rb de órdenes sucesivos. En cuanto a la **Re**, el rango de valores correspondientes a las cuencas analizadas inicia en 0,32 (27 de Diciembre) y finaliza en 0,82 (Nacimiento Oeste). Las cuencas Nacimiento Oeste (0,82), Nacimiento Este (0,75), Cerro 754 (0,68) y Cerro 832 (0,64) tienden a la circularidad y supone una incorporación más rápida de la escorrentía a los cursos de agua y por lo tanto un menor tiempo de concentración. Por último, en relación con la **Dd**, las variaciones observadas en este índice están asociadas a las diferencias en la litología subyacente. Lolen (2,31 km/km$^2$), Lolen Chico (2,28 km/km$^2$) y El Tanque (1,91 km/km$^2$), son subcuencas que presentan mayor densidad de drenaje y tienen la particularidad de discurrir en su totalidad por la formación Lolen del grupo Ventana (Gil *et al.*, 2009). No obstante en todos los casos los valores son considerados como baja densidad de drenaje y textura gruesa por Strahler (1964) y Senciales González (1999) (Figura 3).

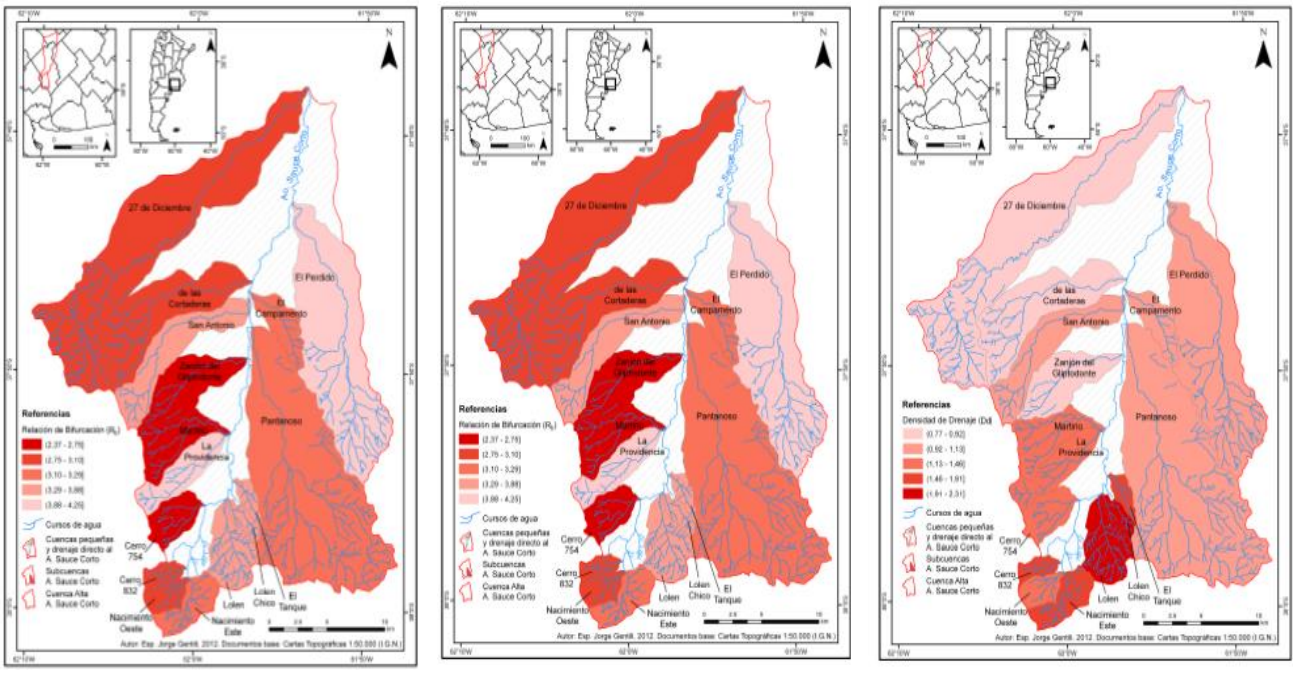


**Figura 3.-** Espacialización de índices morfométricos para la Cuenca Alta del río Sauce Corto (CASC).

En una primera fase de análisis visual donde los índices se muestran individualmente para cada cuenca se puede observar las subcuencas que presentan una mayor potencialidad de generar crecidas o anegamientos ante la ocurrencia de precipitaciones intensas. Por ejemplo, la CASG se puede apreciar que las subcuencas Destierro Primero, Horqueta del Sauce, El Atravesado, del Oro, San Bernardo y El Negro son las cuencas que presentan mayor peligrosidad ante eventos de precipitaciones extremas. Si las precipitaciones se producen en toda la cuenca con intensidad semejante, las mismas sumadas al resto de las subcuencas analizadas, actúan casi de manera conjunta y esto contribuye a la generación de crecidas en el río Sauce Grande. Para la CASC, las subcuencas Nacimiento Oeste, Nacimiento Este, Cerro 832 son las que presentan mayor potencialidad para la generación de crecidas, asociada a bajas relaciones de bifurcación y tendencia a la circularidad. Ante la ocurrencia de precipitaciones intensas homogéneas en las subcuencas de ambas márgenes del Sauce Corto se espera como respuesta hidrológica tiempos de concentración cortos y por lo tanto una rápida afluencia hacia el curso principal del arroyo Sauce Corto. Es importante remarcar que en esta primera fase los índices morfométricos fueron analizados y espacializados por separados. Cada uno, en teoría, puede correlacionarse con diferentes parámetros del hidrograma pero cuando el análisis se realiza en forma conjunta la complejidad de los resultados aumenta. Por ejemplo, la pendiente media del curso principal (pmcp) o la pendiente media de la cuenca (pmc) (Tabla 3), no espacializadas en este trabajo, generarán un efecto compensador en la respuesta hidrológica si se la analiza en conjunto con la Rb o la Re.

## CONSIDERACIONES FINALES

El estudio del comportamiento y dinámica hídrica de una cuenca ante eventos torrenciales se torna difícil cuando no se cuenta con información meteorológica e hidrométrica contemporánea que permita su correlación o cuando las mismas están desactualizadas o bien son inexistentes. Este es el caso de la mayoría de las cuencas objeto de análisis. Por ello, se subraya la importancia del exhaustivo análisis de los diferentes

parámetros e índices morfométricos que reflejan o destacan las interacciones entre los distintos factores que las componen. Se resalta, la importancia de la identificación de los parámetros e índices más relevantes para ser utilizados en estudios posteriores relacionados con características hidrológicas de la cuenca. La identificación preliminar de las sub-cuencas con mayor peligro potencial de crecidas o anegamientos permite dirigir y concentrar los recursos humanos y económicos que ayuden a mejorar el manejo y/o la gestión de las cuencas en esta región del suroeste bonaerense. Esta caracterización hidro-geomorfológica, a partir de variables morfométricas, presentada en este trabajo se continúa realizando para el resto de las cuencas altas que nacen en el Sistema de Ventania.

***Agradecimientos.*** *El presente trabajo se enmarca dentro del convenio realizado entre la Autoridad del Agua (Subsecretaría de Servicios Públicos, Ministerio de Obras y Servicios Públicos de la provincia de Buenos Aires) y el Departamento de Geografía y Turismo (Universidad Nacional del Sur).*

## REFERENCIAS

Bohn, V. Y., Piccolo, M. C. y Perillo, G. 2011. Análisis de los períodos secos y húmedos en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista Climatología.* Vol 11, pp. 31 - 43.

Campo, A., Ramos, B, Zapperi, P., 2009. Análisis de las variaciones anuales de las precipitaciones en el Suroeste bonaerense, Argentina. *Actas electrónicas del 12 congreso de geógrafos latinoamericanos.* Montevideo. Uruguay. 12 pp. ttp://egal2009.easyplanners.info/area07/7085_Campo_Alicia_M_.pdf

Campo, A.M., Gentili, J.O., Gil, V. 2012. Estudio de las precipitaciones en valles interserranos del Sistema de Ventania, Argentina. *XXXIII Congreso Nacional y XVIII Internacional de Geografía.* Universidad de Tarapacá. Arica, Chile. Resumen. pp 9.

Casado, A.L.; Gil, V.; Campo, A. M. 2007. Consecuencias de la variación de la disponibilidad hídrica en la cuenca del arroyo El Belisario. Buenos Aires, Argentina. *Revista Huellas N° 11.* Miño y Dávila Editores. ISSN 0329-0573. pp 9-2.

Casado, A. L. 2013. Human impacts and fluvial metamorphosis. The effects of flow regulation on the hydrology, morphology and water temperature of the Sauce Grande River, Argentina. Universidad Nacional del Sur - Universite Blaise Pascal Clermont-Ferrand, France. Tesis doctoral. Inédita.

Díez Herrero, A., 2004. *Geomorfología e Hidrología fluvial del río Albeche. Modelos SIG para la gestión de riberas.* Memoria de tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Madrid. 610 pp. http://eprints.ucm.es/tesis/geo/ucm-t25361.pdf

Díez-Herrero, A., Laín Huerta, L. y Llorente Isidro, M. 2008. *Mapa de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Guía metodológica para su elaboración.* España: Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 190 pp.

Gentili, J. O., Campo, A. M. y Gil, V. 2011. Distribución espacial y temporal de las precipitaciones en la cuenca alta del arroyo Sauce Corto, Sistema de Ventania. GAEA. Actas Científicas CNG 72° Semana de Geografía. Mar del Plata, GAEA, 2011, pp 115-126.

Gentili, J. O. 2012. Hidrografía del arroyo Sauce Corto aplicada al estudio de inundaciones y anegamientos. Universidad Nacional del Sur. Tesis doctoral. Inédita.

Gentili, J. y Gil, V. 2013. Variabilidad temporal de las precipitaciones en vertientes opuestas del Sistema de Ventania, Buenos Aires, Argentina. *Revista Universitaria de Geografía.* Volumen 22 (1-2). pp. 147-166.

Gil, V., Gentili, J. y Campo, A. 2009. Influencia de la litología en los parámetros morfométricas, Sistema de Ventania, Argentina. *Papeles de Geografía 49-50.* Universidad de Murcia. España. pp. 55-68

Gil, V. 2010. Hidrogemorfología de la cuenca alta del río Sauce Grande aplicada al peligro de crecidas. Universidad Nacional del Sur. Tesis doctoral. Inédita.

Gil, V. 2011. Variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones. Cuenca alta del río Sauce Grande, Sistema de Ventania. *Actas Congreso Nacional de geografía, 72° semana de Geografía.* Mar del Plata. pp. 127-141

Gil, V.; Zapperi, Campo, P.; A.M.; Iuorno, M. V. y Ramborger, A. 2008. Analisis de las precipitaciones de otoño y primavera en el Suroeste bonaerense. *Actas de las VII jornadas Nacionales de Geografía Física.* Jujuy. pp. 149 -158.

Jardí, M., 1985. Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía.* Volumen XIX. pp. 41-68.

Lastra J, Fernandez E, Diez-Herrero A, Marquinez, J. 2008. Flood hazard delineation combining geomorphological and hydrological methods: an example in the Northern Iberian Peninsula. *Nat Hazards* 45(2):277–293

López Bermúdez, F., Rubio Recio, J. M. y Cuadrat, J. M., 1992. *Geografía Física.* Ed. Cátedra S.A. 594 pp.

Magesh, N.S., Jitheshlal, K.V., Chandrasekar, N., Jini, K.V. 2013. Geographical information system based morphometric analysis of Bharathapuzma River Basin, Kerala, India. *Applied Water Science*, n°3 , issue 2, pp. 467-477.

Mesa L. M. 2006. Morphometric analysis of a subtropical Andean basin (Tucumán, Argentina). *Environmental Geology*, 50 (8), 1235-1242.

Romero Díaz, M.A. 1989. *Las cuencas de los ríos Castríl y Guardal (Cabecera del Guadalquivir).* Ed. Ayuntamiento de Huéscar, Granada, 285 pp

Scian, B. y M. Donnari, 1997. Retrospective analysis of the Palmer drought severity index in the semi-arid Pampas region, Argentina. *Inter. J. Climatology*, 17:313-322.

Scian, B. 2002. "Variabilidad de las condiciones hídricas en la región semiárida pampeana, Argentina." *Geoacta*. Vol 27, pp 30 - 52.

Scian, B. 2009. Clima - Bahía Blanca y Sudoeste Bonaerense. En: Paoloni, J.D. (comp.) 2009. *Ambiente y recursos naturales del partido de Bahía Blanca.* Bahía Blanca: EdiUNS, 240 pp.

Senciales González, J. M., 1999. *Redes Fluviales, Metodología de Análisis.* Universidad de Málaga, España. 337 pp.

Strahler, A. N., 1974. Geografía Física. Ediciones Omega S.A. Barcelona. 767 pp.

Zapperi, P., Casado, A.L., Gil, V. y Campo, A.M. 2006. Caracterización de las precipitaciones invernales en la región del Suroeste bonaerense. *Ambiente natural, campo y ciudad: Estrategias de uso y conservación en el Suroeste Bonaerense. Actas de las IV Jornadas Interdisciplinarias del Suroeste Bonaerense.* Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. ISBN 978-987-23429-1-3. Pp. 63-68.

Zapperi, P.; Ramos, M.; Gil, V. y Campo, A., 2007. Caracterización de las precipitaciones estivales en el Suroeste bonaerense. *Contribuciones Científicas, Sociedad Argentina de Estudios Geográficos 68 Semana de Geografía.* pp. 483 – 491.