

MORFOMETRÍA DE CUENCAS COMO BASE EN LA EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD/PELIGROSIDAD POR ALUVIONES, CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO DEL AGUA, SAN JUAN, ARGENTINA

Maria Yanina ESPER ANGILLIERI, Karen ESPEJO, Gabriela LARA, Laura PERUCCA y Moira ROTHIS

CONICET, CIGEOBIO, Gabinete de Neotectónica y Geomorfología, INGENIO, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan, San Juan. E-mail: yaninaesper@gmail.com

RESUMEN

La cuenca del río del Agua nace en el extremo sur de la sierra del Tontal, departamento Sarmiento en la provincia de San Juan. En el presente trabajo se analizan diversas características morfométricas de la cuenca y se calculan algunos parámetros básicos (área, perímetro, longitud, altitud y pendiente del cauce principal, entre otros), en términos de su incidencia en el comportamiento y respuesta hidrológica del sistema. Los resultados indican que el comportamiento de la cuenca está determinado principalmente por las fuertes pendientes del sector montañoso, el orden 7 de la red de drenaje, una relación de bifurcación media de 5,14 y una alta torrencialidad, que ante la presencia de lluvias excepcionales, la convierte en una zona potencialmente peligrosa con posibilidades de altos niveles de destrucción. Estos estudios resultan muy útiles para el manejo de cuencas, principalmente en áreas donde no existe adecuada información climática de base.

Palabras clave: *Río del Agua, morfometría, aluviones, San Juan, Argentina*

ABSTRACT

Basin morphometry as basis in assessing flash flood susceptibility/hazard, case study: del Agua river Basin, San Juan, Argentina

The del Agua river basin is located on the southern portion of the sierra del Tontal, in Sarmiento department of San Juan province. In the present research, several morphometric characteristics of the basin are analyzed and some basic parameters (area, perimeter, length, altitude and slope of the main channel, etc.) are calculated. The results suggest that the hydrological response of the basin are determined by steep slopes and steep channels in the mountain area, a 7 order drainage network, mean bifurcation relationship of 5,14 and high torrentiality that in case of exceptional rainfalls, makes it a potentially dangerous area with high levels of destruction. These studies are very useful for watershed management in areas where there are no weather stations.

Keywords: *del Agua river, morphometry, flash flood, San Juan, Argentina*

INTRODUCCIÓN

El análisis morfométrico de una cuenca es de gran importancia para comprender e interpretar su comportamiento morfo-dinámico e hidrológico, así como para inferir indirectamente la velocidad con la que van a circular las aguas sobre la superficie y, por lo tanto, la rapidez de respuesta de la cuenca ante las precipitaciones. El comportamiento de la cuenca ante la presencia de lluvias excepcionales, puede verse condicionado por sus características morfométricas, como son el tamaño, la forma y la pendiente, que resultan muy importantes en la respuesta del

caudal recibido y que pueden operar tanto para atenuar como para intensificar las avenidas.

De acuerdo a NWS/NOAA (2013), una avenida (*flash flood*) es un flujo extremadamente veloz, repentino que en la mayoría de los casos, es consecuencia de precipitaciones extraordinarias y crecen en magnitud cuando el índice de infiltración del terreno es reducido por lluvias previas.

En los últimos 20 años, en el sector vinculado a la cuenca estudiada (Fig. 1), se registraron numerosos aluviones de gran magnitud, que ocasionaron numerosos daños a las viviendas, red de riego, calles, cultivos y distribución de agua po-

table. En la localidad de Pedernal, en el verano de 1996 un aluvión (*flash flood*) destruyó el cementerio municipal y el camping que está en la entrada del pueblo. En los veranos de 2005 y 2008, las lluvias provocaron daños en la ruta Nacional 149 (Fig. 2a-b), mientras que en febrero de 2009, 120 familias de la margen norte del río principal quedaron sin servicio de agua potable y aisladas durante varios días porque el flujo les impidió el paso. Además por erosión de las terrazas del río, se produjeron derrumbes de viviendas y corte de caminos (Fig. 2c). Este evento se repitió con similar intensidad el 6 de marzo de 2011, cuando el agua su-

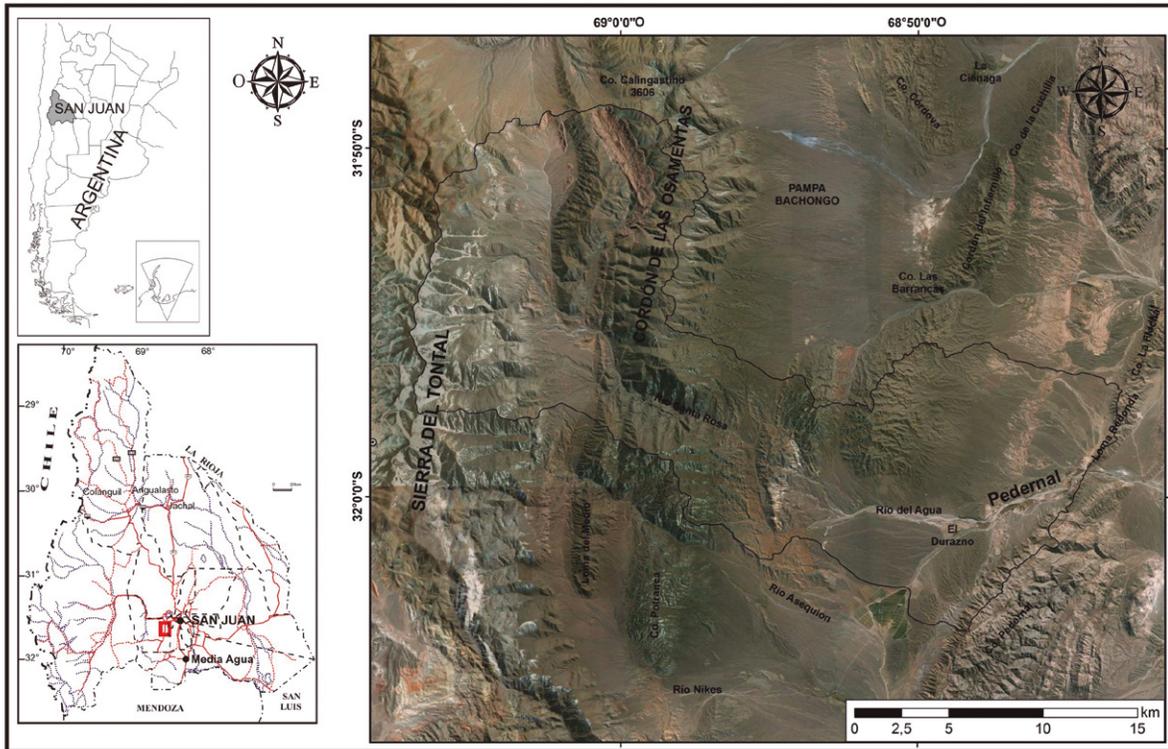


Figura 1: Ubicación área de estudio y cuenca del río del Agua.

peró el embalse ubicado aguas abajo de Pedernal (Fig. 2d). Según fuentes oficiales, el 23 de febrero de 2012, Sarmiento fue el departamento más afectado por la lluvia, en la provincia de San Juan. Como consecuencia, varios accesos quedaron intransitables y un camión fue arrastrado por la creciente en la localidad de Los Berros. Las precipitaciones del 31 de enero de 2013 provocaron una gran avenida en el departamento Sarmiento, que quedó registrada como la más intensa en la historia sanjuanina. Según los datos que dieron a conocer desde el Departamento de Hidráulica, el pico de intensidad que alcanzó aquella precipitación fue de 84 mm/hora. Considerando que toda la estructura de defensas y colectores pluviales en la provincia está preparada para soportar, en el peor de los casos, una intensidad máxima de 60 mm/hora, esta cifra es contundente. Los daños fueron cuantiosos, quedando inhabilitada la ruta Nacional 149 que une las localidades de Media Agua, Los Berros y Pedernal. La actividad minera quedó paralizada y se produjo el colapso de viviendas en Media Agua y Pedernal (Fuente: Diario de Cuyo).

En numerosos artículos, el análisis morfométrico es utilizado para la caracterización de cuencas tal como los de Topaloglu (2002), Moussa (2003), Sreedevi *et al.* (2004, 2013), Srinivasa Vittala *et al.* (2004), Mesa (2006), Perucca y Esper Angillieri (2011), Esper Angillieri (2008, 2012) y Esper Angillieri y Perucca (2014a y b).

En el presente trabajo, la morfometría y las características hidrográficas de la cuenca del río del Agua son estudiadas a través de la topografía e imágenes satelitales, a fin de contribuir y aportar elementos básicos para la evaluación de la susceptibilidad y/o peligrosidad por inundaciones y avenidas torrenciales.

ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del río del Agua posee una superficie cercana a los 445 km² y está ubicada en el departamento Sarmiento, en la porción sur de la provincia de San Juan. Este departamento posee una superficie de 2.782 km² y una población de 22.182 habitantes (Censo 2010). Su localidad cabecera es Media Agua, principal centro urbano y hacia el oeste se ubican las loca-

lidades de Los Berros y Pedernal (Fig. 1). La principal actividad industrial de la región es la minería y la vitivinicultura. La superficie cultivada también ha crecido considerablemente en los últimos años, con más de 20.000 ha, principalmente cultivos de vid, hortalizas, olivos, frutales, forrajes y cereales. La localidad de Pedernal (Fig. 1), con una población de 422 habitantes, es atravesada por el río del Agua, que la divide en los sectores norte y sur y se localiza exactamente en el kilómetro 38 de la ruta nacional 153, distante 107 km de la ciudad de San Juan. Económicamente se destaca por su importante actividad relacionada a importantes plantaciones de vid ya que sus características climáticas son propias y diferentes a otras zonas para la producción de vinos de excelente calidad.

Según datos disponibles de la estación hidrométrica "Pedernal", que funcionara en la quebrada homónima entre los años 1925 y 1949, el río del Agua aportó caudales anuales medio, máximo y mínimo de 0,44 m³/s, 1,40 m³/s. y 0,11 m³/s respectivamente. Los datos disponibles indican que el río posee régimen pluvio-métrico, con un año hidrológico que se



Figura 2: Daños producidos en el departamento Sarmiento: a) Corte en la ruta Nacional 149, recién inaugurada, en el acceso a Pedernal; b-c) Cortes en la ruta Nacional 149, en los veranos de 2008 y 2009; d) Durante las lluvias de verano de 2011, el agua superó la cota del embalse ubicado en Pedernal (Fotografía Diario de Cuyo).

extiende desde el 1 de septiembre de un año al 31 de agosto del siguiente, con un período de estiaje en los meses de agosto, septiembre y octubre y sus mayores caudales en febrero.

Clima

La provincia de San Juan posee un clima árido y semiárido, la precipitación media anual es de 93,3 mm. En invierno las temperaturas oscilan entre 1°C y 18°C, los veranos son muy secos y calurosos con temperaturas entre 19°C y 35°C. En la localidad de Pedernal el clima es semiárido con precipitaciones medias anuales de 150 mm, registrándose veranos templados con temperaturas mínimas de 10°C y máximas de 30°C; en tanto el invierno es muy frío con heladas diarias durante los meses de junio y julio. La precipitación media anual calculada para la cuenca es de 275 mm; con un escurrimiento de 38,5 mm/año (Victoria *et al.* 2009). En esta región entre los meses de enero y febrero las precipitaciones son corta dura-

ción, pero de carácter torrencial, siendo las responsables de la generación de importantes y veloces flujos con gran capacidad de carga.

Geología

Del análisis de las hojas geológicas 3169IV (Ramos y Vujovich 2000) y 3369II (Sepúlveda 2001) se obtiene que en las zonas elevadas pertenecientes a Precordillera Oriental y Central, tal como en el cerro Pedernal y la sierra del Tontal, aflora una sucesión carbonática completa de plataforma que consta de calizas, margas, cuarcitas y dolomías cuyas edades van desde el Cámbrico Temprano hasta el Ordovícico Medio. La secuencia continúa con una potente secuencia del Devónico constituida por areniscas, wackes y pelitas de ambiente marino. Por encima afloran rocas carboníferas principalmente representadas por arcosas, areniscas cuarzosas y pelitas. El Paleógeno – Neógeno está representado principalmente por areniscas, sabulitas, conglomerados

y limolitas. Coronan la secuencia depósitos fluviales, aluviales y coluviales cuaternarios de litología muy variada, textural y composicionalmente.

Estructuralmente, la Precordillera Central es una faja plegada y corrida epidérmica con vergencia al este, en tanto la Precordillera Oriental es una faja plegada y corrida de piel gruesa con vergencia hacia el oeste, ambas constituidas por corrimientos principales con su nivel de despegue en la secuencia cambro-ordovícica (Allmendinger *et al.* 1990).

Geomorfológicamente, la zona de estudio constituye una depresión tectónica intermontana limitada al oeste por los cordones montañosos de Precordillera Central y por el este por los pertenecientes a Precordillera Oriental (Fig. 1). La unidad montañosa occidental corresponde a los relieves elevados muy prominentes elevados por fallas en sus flancos orientales, que sobresalen por sobre las áreas circundantes y poseen en general una dirección N-S aunque con suaves

CUADRO 1: Índices morfométricos

Índice	Formula	Cita
Relación de elongación	$Re = (4A / \pi) / L$	(Schumm 1956)
Factor de forma	$Ff = A / L^2$	(Horton 1932)
Sinuosidad del cauce	$S = Lcp / L$	(Schumm 1977)
Ancho medio	$Wm = A / L$	
Desnivel de cuenca	$Hr = Lcp / L$	(Hadley y Schumm 1961)
Razón de relieve	$Rr = Hr / L$	(Schumm 1956)
Número de rugosidad de Melton	$MRN = Hr / A^{0.5}$	(Melton 1957)
Densidad de drenaje	$Dd = Ltc / A$	(Horton 1932)
Número de Rugosidad	$Rn = Hr * Dd$	(Ozdemir and Bird 2009)
Frecuencia de cursos de n orden	$F_n = \sum N_n / A$	(Horton 1932)
Textura de drenaje	$Td = \sum N_n / P$	(Horton 1945)
Relación de bifurcación	$Rb = N_{n-1} / N_n$	(Schumm 1956)
Relación de longitudes	$RHO = R / Rb$	(Horton 1945)
RHO coeficiente	$R = L_n / L_{n-1}$	(Horton 1945)

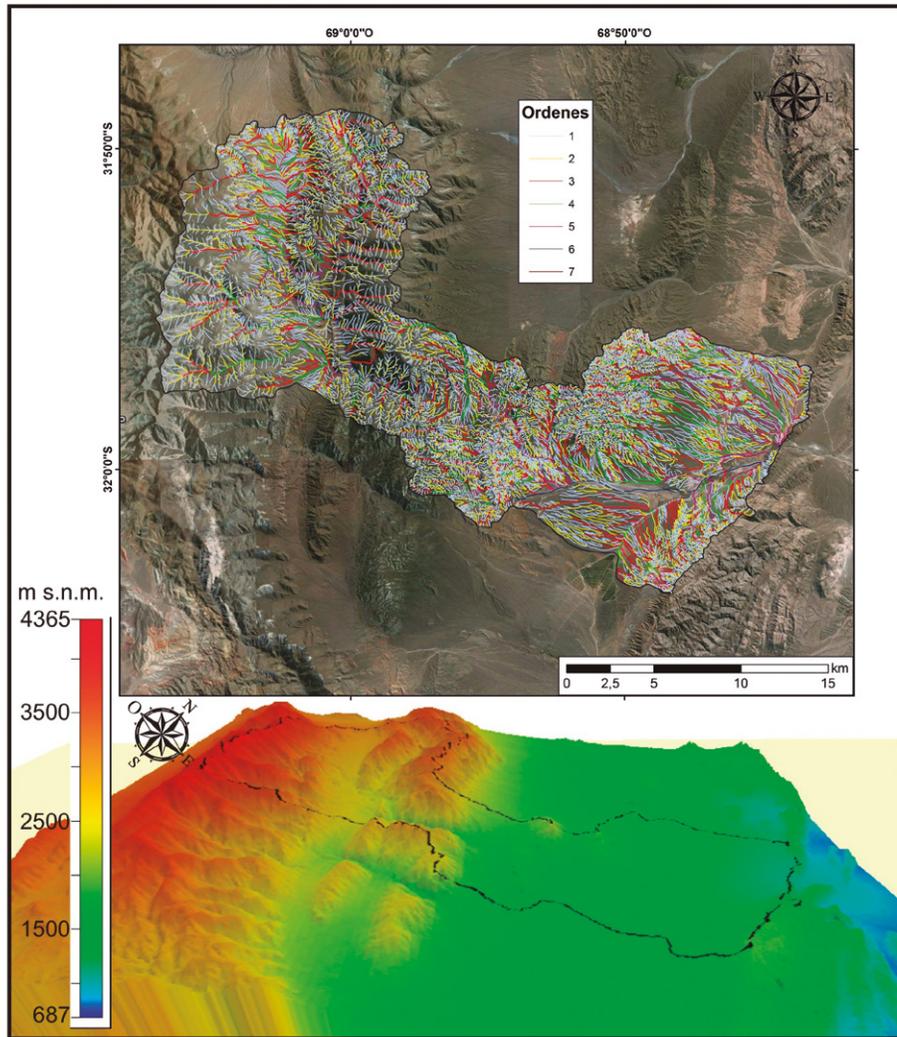


Figura 3: Cuenca del río del Agua, cursos según orden y vista 3D de relieve.

inflexiones. Está representada por el cordón de Las Osamentas, cerros Punta del

Cerro y Bachongo, entre otros. Los afloramientos calcáreos ubicados en

la porción oriental, principalmente la Loma Redonda y sierra de Pedernal también poseen fuertes pendientes por la presencia de fallas, aunque en sus flancos occidentales, dando como resultado un relieve de superficies abruptas con un perfil asimétrico. Las lomadas corresponden a los relieves positivos menos prominentes que los montañosos, también con rumbo general NNE. Se desarrollan principalmente en la porción central del área de estudio y suelen exhibir perfiles transversales asimétricos, siendo su flanco de mayor inclinación aquel ubicado en el sentido opuesto al del buzamiento de los estratos. Estos depósitos neógenos adquieren un aspecto típico de tierras malas o relieve de *badlands*, es decir laderas montañosas con disección densa y profunda, ya que constituyen rocas no consolidadas o con débil cementación.

El piedemonte se extiende desde los frentes montañosos serranos hasta alcanzar los niveles de base de erosión local, que son los ríos y el dique las Crucecitas. El piedemonte proveniente de Precordillera Central posee un ancho notable respecto del occidental de Precordillera Oriental. El depocentro de la depresión se encuentra desplazado hacia el este a una altura aproximada de 1.000 m s.n.m. En ambos piedemontes se reconocen abanicos aluviales, conos aluviales y conos coluviales, en algunos casos afectados por la tectónica cuaternaria (Perucca *et al.* 2013).

METODOLOGÍA

La delimitación de la cuenca del río del Agua se realizó a partir de la interpretación de imágenes satelitales de alta resolución, en ambiente SIG, adquiridas a partir de Google Earth™ (SPOT 5 con 2,5-m resolución espacial), con la ayuda de modelos digitales de elevación (ASTER GDEM V2) (NASA 2011), basada en el concepto de línea divisoria de aguas, la escala de trabajo general se adoptó en 30 m coincidente con la información de menor resolución. Las imágenes fueron georeferenciadas en coordenadas geográficas (WGS84) a través de tecnología SIG (ArcGIS 10.3). El total de los segmen-

tos de drenaje fueron digitalizados separadamente para cada orden según la metodología propuesta por Strahler (1964). La longitud del cauce principal (Lcp) y la longitud de la cuenca (L), fueron obtenidas de acuerdo con Schumm (1956).

Los parámetros morfométricos fueron divididos en parámetros básicos tales como área (A), perímetro (P), longitud (L), orden de la cuenca (On), orden de curso (O), altura máxima y mínima (H, h), longitud total de cauces (Ltc), longitud de cauce principal (Lcp), longitud total de cauces de un orden determinado (Ln), número de cauces de un orden determinado (Nn); y parámetros derivados (Cuadro 1).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cuenca del río del Agua (Fig. 3), sobre la base del orden de drenaje, es clasificada como de orden 7 y cubre una superficie (A) de 443,83 km² y un perímetro (P) de 135,51 km, posee una longitud total (L) de 37484,46 m y un ancho medio (Wm) de 11840,44 m. La longitud de su cauce principal (Lcp) es de 54,42 km, mientras que la longitud total de todos sus cauces (Ltc) es de 3688,41 km. La red de drenaje posee un diseño que va desde dendrítico a sub dendrítico en las zonas elevadas y paralelo a sub paralelo en las bajadas aluviales. La sinuosidad (S) que toma valores mayores a 1, revela un cauce principal no tan rectilíneo de tipo entrelazado en algunos tramos. La relación de elongación (Re) de 0,63 y un factor de forma (Ff) de 0,32, indican una cuenca ligeramente elongada con un gran desnivel (Hr) de 2297 m (Fig. 3), este último juega un rol fundamental en la distribución del drenaje ante la presencia de precipitaciones favoreciendo el escurrimiento. El número total de cursos en la cuenca es de 13979, de esos 11338 (81,1%) corresponden a cursos de orden 1 y 2111 (15,1%) corresponden a los de orden 2. Los altos valores de la relación de bifurcación (Rb) con media de 5,14 señalan un área tectónicamente activa (Bali *et al.* 2012). El logaritmo del número de cursos de un determinado orden (LogNn) vs el orden de curso mantienen una relación lineal,

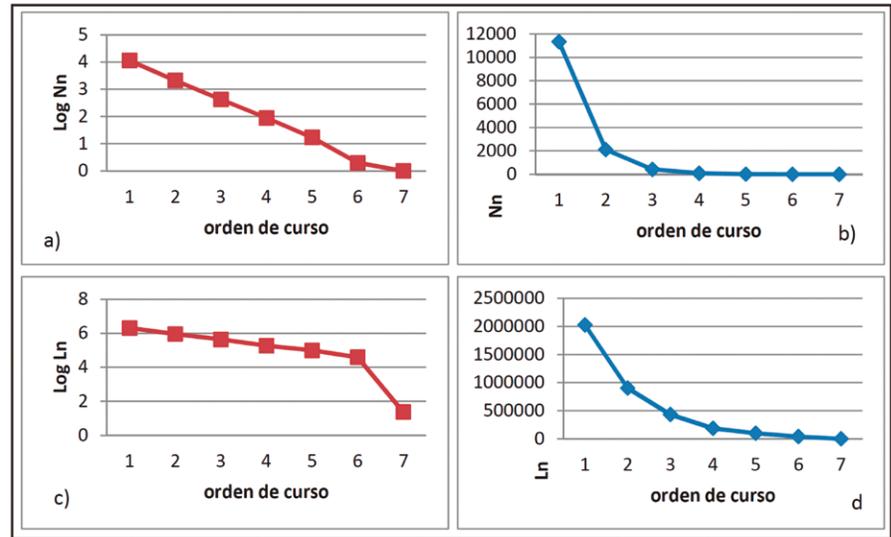


Figura 4: a) Regresión del logaritmo del número de cursos vs el orden de curso; b) Regresión entre el número de cursos de un determinado orden vs el orden de curso; c) Regresión entre el logaritmo de la longitud de cursos de un determinado orden vs el orden de curso; d) Regresión entre la longitud de cursos de un determinado orden vs el orden de curso.

CUADRO 2: Parámetros morfométricos de la Cuenca del río del Agua.

Cuenca del río del Agua								
A [km ²]	P [km]	L [m]	H [msnm]	h [msnm]	Ltc [m]	Lcp [m]		
443,832	135,514	37484,464	3371	1074	3688407,997	51425,826		
Re	Ff	S	Wm [m]	Hr [m]	Rr	MRN	Dd [km/km ²]	Rn
0,634	0,316	1,372	11840,439	2297	0,061	0,109	8,310	19,089
O	Nn	Ln [m]	Fn [n/km ²]	Td [n/km]	Rb	R	RHO	
1	11338	2028815,30	25,546	83,666	5,37	0,445	0,083	
2	2111	903387,63	4,756	15,578	5,00	0,479	0,096	
3	422	432514,74	0,951	3,114	4,80	0,429	0,090	
4	88	185678,62	0,198	0,649	5,18	0,532	0,103	
5	17	98856,65	0,038	0,125	8,50	0,396	0,047	
6	2	39131,64	0,005	0,015	2,00	0,001	0,0003	
7	1	23,42	0,002	0,007				

mientras que la relación entre el número de cursos de un determinado orden (Nn) vs el orden de curso y la relación entre la longitud de cursos de un determinado orden (Ln) vs el orden de curso se alejan notablemente de la relación lineal indicando un control estructural bien marcando en la cuenca (Fig. 4, Cuadro 2). El número de rugosidad (Rn) de la cuenca es muy elevado (19,09) lo que es un indicativo de la complejidad estructural del área de estudio y de una cuenca muy susceptible a una alta erosión. El valor medio del coeficiente RHO es muy bajo (0,07) lo cual señala una cuenca con poco almacenamiento temporal de agua du-

rante las tormentas y una consiguiente rápida descarga. El número de rugosidad de Melton (MRN) es de <0,3; lo que indicaría una cuenca más susceptible a la ocurrencia de flujos con bajo contenido de material, lo que se contrapone con las evidencias geológicas del área donde se observan importantes depósitos de flujos, con terrazas de acumulación en su tramo medio de hasta 10 m de espesor. Estos valores anómalos de MRN podrían deberse a que, este número, es un promedio calculado en zonas con alta variabilidad en donde los valles presentan valores cercanos a 0 y, además estaría influenciado por el tamaño relati-

vamente grande de la cuenca. Los altos valores de densidad de drenaje (Dd) señalan una cuenca bien drenada con gran desarrollo, mientras que la textura de drenaje (Td) revela la existencia de material más impermeable en las cabeceras y laderas de la cuenca que en su tramo inferior. Los parámetros morfométricos de esta cuenca se exponen en la Cuadro 1.

Los valores del factor de forma y la densidad de drenaje de la cuenca indican una cuenca ligeramente alargada con bajas probabilidades de experimentar frecuentes crecidas, debido a que su forma no permite exponer toda su superficie al radio de acción de una determinada tormenta. Sin embargo, estas afirmaciones son relativas, ya que ello depende del tamaño o extensión de la tormenta y de la duración e intensidad de la misma. No obstante, la probabilidad de que se presenten crecidas con picos de caudales pronunciados y de corta duración es alta como lo indican los antecedentes existentes en la zona (Figura 2). Resultados similares con aproximados valores de S, Re y Ff, Rr, Rb y MRN, se han obtenidos en trabajos anteriores (Esper Angillieri, 2012, Perucca y Esper Angillieri, 2011, Esper Angillieri y Perucca, 2014ayb) en cuencas con numerosos antecedentes de torrencialidad y aluviones frecuentes, indicando la buena aplicabilidad de algunos índices y la falta de representatividad de MRN.

CONCLUSIONES

Las características morfométricas de la Cuenca del río del Agua señalan una cuenca ligeramente elongada donde los cursos de menor orden son dominantes. Los valores de densidad de drenaje (Dd) revelan la existencia de material más impermeable en las cabeceras y laderas de la cuenca y una cuenca bien drenada, en la medida que los parámetros asociados al sistema de drenaje de la cuenca son de mayor magnitud, es de esperarse que el tiempo de concentración tienda a ser menor con la consiguiente mayor capacidad de producción de caudal superficial por parte de la Cuenca. El valor de rugo-

sidad de Melton (MRN) obtenido, señalaría que en el área de estudio este índice no debería ser considerado por sí mismo como un indicador del tipo de flujos a los que la cuenca es susceptible. Por ello, debe complementarse con datos aportados por otros índices morfométricos y con el relevamiento en terreno. La rápida evacuación de las aguas durante las tormentas se ve favorecida especialmente por el tamaño de la cuenca y los desniveles, más que por los índices de forma. De esta manera puede concluirse que las características morfométricas relacionadas principalmente a su forma, en general, no incrementan, sino que más bien atenúan los efectos y la vigorosidad de las crecidas, debido a que su forma no permite exponer toda su superficie al radio de acción de una determinada tormenta. Estas aseveraciones son relativas, ya que ello depende del tamaño o extensión de la tormenta y de la duración e intensidad de la misma; asimismo la existencia de lluvias previas reduce la infiltración y aumenta consiguientemente la impermeabilidad de la cuenca, favoreciendo una rápida descarga y volviéndola potencialmente peligrosa.

El logaritmo del número de cursos de un determinado orden y la longitud total de cursos de un determinado orden como función del número de orden se aleja de una relación lineal indicando una cuenca con importante control estructural y tectónicamente activa (alto Rb).

Estudios como el efectuado en esta contribución muestran la aplicabilidad del análisis morfométrico de cuencas mediante uso de tecnologías de Sistemas de Información Geográfica. Esto es debido a que ofrecen importante información de base para posteriores estudios de organización y explotación de recursos hídricos como también de análisis de susceptibilidad y/o peligrosidad a la ocurrencia de flujos destructivos.

La metodología aplicada resulta fácil de reproducir y puede ser aplicada en otras regiones montañosas de similares características, principalmente aquellas regiones donde la información hidrometeorológica y climática es escasa o nula y no es

posible efectuar otros cálculos.

Finalmente, se proyectan trabajos futuros orientados a la integración de cuencas con el objeto de zonificar la susceptibilidad a la ocurrencia de flujos destructivos en este sector de la provincia y que puedan servir de base, para los ingenieros y demás profesionales al diseñar obras y en la planificación del territorio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su sincero agradecimiento a los evaluadores Julián David Rojo Hernández, Pablo Weinzettel y a un tercero anónimo, por sus valiosas sugerencias que contribuyeron al mejoramiento de este trabajo. Se agradece al CIGEOBIO-CONICET por los fondos aportados para la adquisición de la licencia del software ArcGIS 10.3. Este trabajo de investigación ha sido financiado por el proyecto Jóvenes Investigadores PROJOVI.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Allmendinger, R., Figueroa, D., Snyder, D., Beer, J., Mpodozis C. y Isacks, B. 1990. Foreland shortening and crustal balancing in the Andes at 30°S latitude. *Tectonics* 9: 789-809.
- Bali, R., Agarwal, K., Nawaz Ali, S., Rastogi, S. y Krishna, K. 2012. Drainage morphometry of Himalayan Glacio-fluvial basin, India: hydrologic and neotectonic implications. *Environmental Earth Sciences* 66: 1163-1174.
- Diario de Cuyo 2011, 2012, 2013. On line: www.diariodecuyo.com.ar.
- Esper Angillieri, M.Y. 2008. Morphometric analysis of Colangüil river basin and *flash flood* hazard, San Juan, Argentina. *Environmental Geology* 55: 107-111.
- Esper Angillieri, M.Y. 2012. Morphometric characterization of the Carrizal basin applied to the evaluation of *flash floods* hazard, San Juan, Argentina. *Quaternary International* 253: 74-79.
- Esper Angillieri, M.Y. y Perucca, L.P. 2014a. Geomorphology and morphometry of the de La Flecha river basin, San Juan, Argentina, *Environmental Earth Sciences* 72: 3227-3237.
- Esper Angillieri, M.Y. y Perucca, L.P. 2014b. Ca-

- racterización morfométrica de la Cuenca del río Seco a propósito de las fuertes precipitaciones de enero de 2013, Departamento Sarmiento, San Juan, Argentina, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana 66: 235-245.
- Hadley, R.F. y Schumm, S.A. 1961. Sediment sources and drainage basin characteristics in upper Cheyenne River Basin. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1531-B, 198 p., CIUDAD.
- Horton, R.E. 1932. Drainage basin characteristics. American Geophysical Union Transactions 13: 350-361.
- Horton, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins. Hydrophysical approach to quantitative morphology. Geological Society of America Bulletin 56: 275-370.
- Melton, M.A. 1957. An analysis of the relation among elements of climate, surface properties and geomorphology. Office of Naval Research Project NR389-042. Department of Geology Columbia University, Technical Report 11, 102p., New York.
- Mesa, L.M. 2006. Morphometric analysis of a subtropical Andean basin (Tucumán, Argentina). Environmental Geology 50: 1235-1242.
- Moussa, R. 2003. On morphometric properties of basin, scale effects and hydrological response. Hydrological Processes 17: 33-58.
- NASA 2011. ASTER Global Digital Elevation Map V2. <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp>.
- National Oceanic and Atmospheric Administration's / National Weather Service (NWS/NOAA). 2013. Glossary. <http://www.weather.gov/glossary/>.
- Ozdemir, H. y Bird, D. 2009. Evaluation of morphometric parameters of drainage networks derived from topographic maps and DEM in point of floods. Environmental Geology 56: 1405-1415.
- Perucca, L.P. y Esper Angillieri, M.Y. 2011. Morphometric characterization of the Molle Basin applied to the evaluation of *flash floods* hazard, Iglesia Department, San Juan, Argentina. Quaternary International 233: 81-86.
- Perucca, L. P., Audemard M., F. A., Pantano, A., Avila, C. R., Onorato, M. R. y Vargas, H. N. 2013. Fallas cuaternarias con vergencias opuestas entre Precordillera Central y Oriental, Provincia de San Juan. Revista Asociación Geológica Argentina 70: 291-302.
- Ramos, V. A. y Vujovich, G. I. 2000. Hoja Geológica 3169-IV, San Juan, Provincia de San Juan. Boletín 243, Subsecretaría de Minería Nación. Servicio Geológico Minero Argentino, 82 p., Buenos Aires.
- Schumm, SA. 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Ambos, New Jersey. Geological Society of America Bulletin 67: 597-646.
- Schumm, S.A. 1977. The fluvial system. John Wiley & Sons, 338 p., New York.
- Sepúlveda, E. 2001. Hoja Geológica 3369-II, Mendoza, Provincias de Mendoza y San Juan. Boletín 252, Subsecretaría de Minería Nación, Servicio Geológico Minero Argentino, 60 p., Buenos Aires.
- Sreedevi, P.D., Subrahmanyam, K. y Ahmed, S. 2004. The significance of morphometric analysis for obtaining groundwater potential zones in a structurally controlled terrain. Environmental Geology 47: 412-420.
- Sreedevi, P.D., Sreekanth P.D., Khan H.H. y Ahmed, S. 2013. Drainage morphometry and its influence on hydrology in a semi arid region: using SRTM data and GIS". Environmental Earth Sciences 70: 839-848.
- Srinivasa Vittala, S., Govindaiah, S. y Honne Gowda, H. 2004. Morphometric analysis of sub-watersheds in the Pavagada area of Tumkur district, South India using remote sensing and gis techniques. Journal of the Indian Society of Remote Sensing 32: 351-362.
- Strahler, A.N. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basin and channel networks. En: Chow, V.T. (ed.), Handbook of applied hydrology. McGraw Hill, 4-76, New York.
- Topaloglu, F. 2002. Estimation of instantaneous peak flows in Seyhan river basin using regional regression procedures. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 26: 47-55.
- Victoria, J.A., Guimaraes, R.E. y Zambrano, J.J. 2009. Investigación Hidrogeológica del área Cerrillo Valdivia – Romblón. Departamento Sarmiento. Provincia De San Juan. INACRAS. Informe técnico 279, 79p., San Juan.

Recibido: 8 de julio, 2015

Aceptado: 13 de agosto, 2016