

ANÁLISIS DEL CONTROL GEOLÓGICO EN LA TORRENCIALIDAD DEL ARROYO LAS LAJAS, CÓRDOBA, A TRAVÉS DE LA MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA

Nelso C. DOFFO ¹, Carlos F. ERIC ¹, Gustavo GONZÁLEZ BONORINO ².

¹ Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba.

² Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC), Ushuaia, Tierra del Fuego.

E-mails: ndoffo@exa.unrc.edu.ar, ceric@exa.unrc.edu.ar, bonorino@cadic.gov.ar

RESUMEN

Se analiza la incidencia de factores litológicos, estructurales y bióticos en la respuesta hidrológica (torrencialidad) de una cuenca hídrica serrana aplicando el modelo matemático ARHymo. La cuenca alta del arroyo Las Lajas se encuentra en las sierras de Comechingones, entre 1.200 y 750 m s.n.m., con una superficie de 41 km² y una red de drenaje de orden de Horton 6. La morfología de la cuenca está fuertemente controlada por la traza de la falla Las Lajas, una estructura de actividad reciente que separa un sustrato granítico de otro metamórfico. Para el modelado, la cuenca alta fue subdividida en 42 subcuencas. Para cada una de ellas se obtuvieron valores de curva número (CN). La torrencialidad de cada subcuenca fue estimada en base a los tiempos al pico (Tp) y a la distribución temporal de la onda de creciente reflejada en los hidrogramas. Se confrontaron las formas de los hidrogramas de subcuencas representativas y la distribución de las frecuencias de los tiempos al pico, con las características geológicas de la cuenca. Las subcuencas desarrolladas en metamorfitas con fuerte control estructural mostraron mayor torrencialidad que las ubicadas en el sustrato granítico.

Palabras clave: *Torrencialidad, caudal pico, Córdoba, modelado hidrológico.*

ABSTRACT: *Analysis of the geological control on the Arroyo Las Lajas, Cordoba, flashiness through an hydrological modeling.* The impact of lithological, structural and biotic factors in the hydrological response of a mountain drainage basin is analyzed using the mathematical model ARHymo. The upstream reach of the Las Lajas creek is located in the Comechingones Ranges, between 1,200 to 750 m a.s.l.; it has an area of 41 km² and a drainage network of Horton order 6. The morphology of the basin is strongly controlled by the Las Lajas fault, a recently active structure that separates granitic from metamorphic substrates. The basin was subdivided into 42 subbasins and curve numbers were computed for each subbasin. The flashiness of the flood wave was estimated from time-to-peak data and from the shapes of hydrographs. Comparison of the shapes of the hydrographs of representative subbasins and the distribution of time-to-peak frequencies, with the geological features of the basin, suggests that the subbasins developed on metamorphic substrate show greater flashiness than those located on granitic substrate.

Keywords: *Flood flashiness, peak flow, Córdoba, hydrological modeling.*

INTRODUCCIÓN

Las características geológicas del sustrato de una cuenca hídrica influyen sobre el escurrimiento superficial y, por ende, sobre la respuesta de la cuenca a un determinado evento de precipitación. En cuencas serranas, donde el espesor de material suelto cubriendo la roca suele ser delgado, comúnmente se manifiesta mejor el control estructural y litológico sobre el diseño del drenaje.

El presente trabajo analiza el control geológico sobre el comportamiento hidrológico de un arroyo serrano, el arroyo Las Lajas, provincia de Córdoba, con énfasis en ca-

racterizar la torrencialidad de la descarga. Hasta mediados del siglo XX la cuenca del arroyo Las Lajas presentaba una importante actividad minera-industrial con varias canteras de pequeñas dimensiones. Actualmente todas están inactivas. En las últimas décadas, se ha intensificado la degradación de la cubierta vegetal por efecto de talas, fuego y sobrepastoreo, lo que potencia los procesos de erosión hídrica y sus consecuencias (Krauss *et al.* 1999).

El análisis emplea la técnica de modelado matemático del escurrimiento superficial con datos relevados en forma directa en terreno. El modelado hidrológico combina los componentes geológicos, bióticos y cli-

máticos de una cuenca y permite analizar la incidencia que cada factor tiene en la respuesta hidrológica y, por ende, la sensibilidad hídrica de la cuenca. El análisis de sensibilidad hídrica, a su vez, permite pronosticar qué consecuencias hidrológicas y sedimentológicas traerán disturbios en la cubierta vegetal y cambios en el régimen de lluvias. Los modelos hidrológicos no toman en cuenta las variables geológicas de manera explícita, sino que las incorporan en parámetros como permeabilidad. Este trabajo relaciona los resultados hidrológicos y las condiciones geológicas para dar cuenta de la torrencialidad del arroyo Las Lajas.

MARCO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO

El arroyo Las Lajas nace en el faldeo oriental de las sierras de Comechingones, provincia geológica de Sierras Pampeanas, a unos 1.200 m s.n.m. Atraviesa el ambiente serrano descendiendo hacia el SSE y luego de recorrer 100 km confluye en el arroyo Santa Catalina, al sur de la ciudad de Río Cuarto, Córdoba (Fig. 1). Hasta la salida del ambiente serrano, a cotas de unos 750 m s.n.m., el cauce del arroyo Las Lajas sigue con bastante fidelidad la falla Las Lajas (Sagripanti, 1998, *com. pers.* 2002), una estructura de actividad reciente que separa un sustrato granítico al oeste y suroeste (Complejo Achiras; Paleozoico inferior-medio) y otro metamórfico al este y noreste (Fig. 2; Complejo Las Lajas; Precámbrico superior-Paleozoico inferior; Otamendi *et. al.* 1996). La cuenca recibe una precipitación media anual de 860 mm, con régimen torrencial en los meses de verano. La cuenca alta mide 41 km² y tiene una morfología alargada en sentido NNO-SSE, con una longitud de 14 km y un ancho que varía entre 5 km en las cabeceras y 2 km en el tramo inferior. El drenaje es de orden 6 según la clasificación de Horton (1945).

La falla Las Lajas, y la más corta, falla Monte Guazú, son fallas inversas de alto ángulo con rumbo NO a NNO, (Fig 2; Sagripanti 1998, *com. pers.* 2002, Doffo y González Bonorino 2005). Estas fallas definen bloques asimétricos con un frente occidental de mayor pendiente. Las escarpas adquieren una mayor expresión topográfica en los dos tercios inferiores de la cuenca, donde determinan un diseño rectangular, o en trellis, de los cursos de orden 3, afluentes del arroyo Las Lajas por la margen izquierda. En el tramo superior de la cuenca el control estructural está más atenuado, lo que permitió un desarrollo subdendrítico de la red de drenaje.

En terreno de granitoides la densidad de drenaje es baja y las nacientes muestran valles amplios y con relleno sedimentario. En contraste, en terreno metamórfico la densidad de drenaje es alta y los cauces están incididos en roca (Fig. 3). La incidencia de

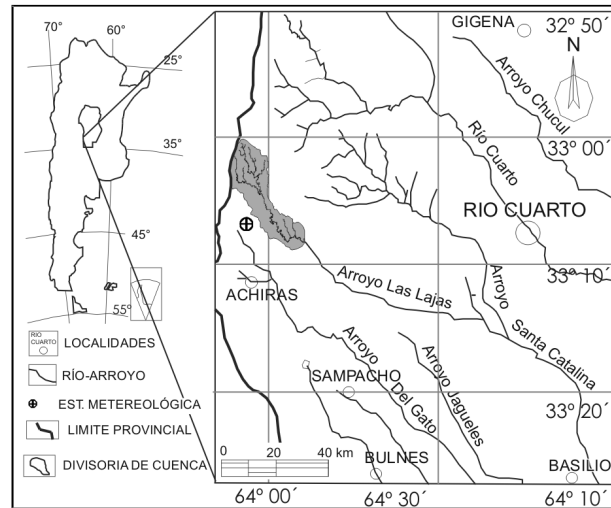


Figura 1: Ubicación de la cuenca alta del arroyo Las Lajas.

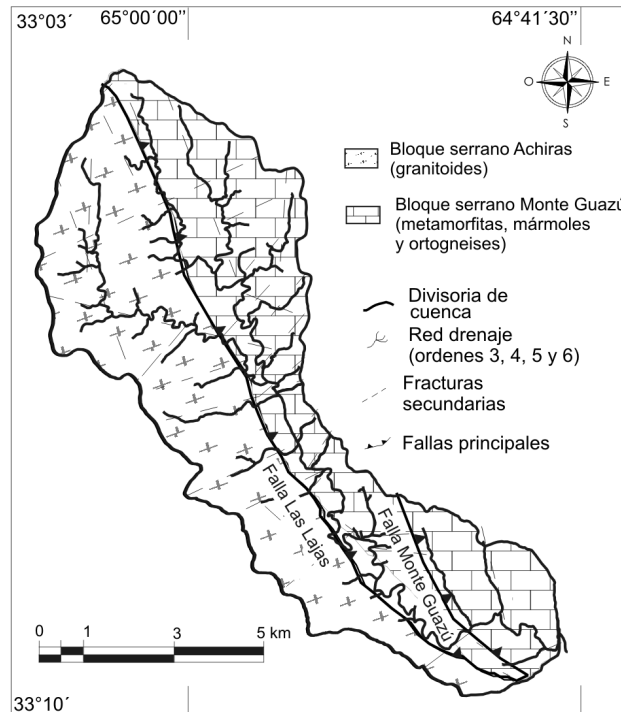


Figura 2: Geología de la cuenca alta del arroyo Las Lajas (modificado de Doffo y González Bonorino 2005).

la estructura y la litología en la morfometría de la cuenca alta del arroyo Las Lajas fue analizada por Doffo y González Bonorino (2005), quienes concluyeron que estos factores condicionaron la distribución de la densidad de drenaje en las cuencas de tercer orden.

MODELADO HIDROLÓGICO

Existe una diversidad de programas de

computación orientados al modelado hidrológico de cuencas hídricas (ver síntesis en Beven 2001). En una primera aproximación, los programas de modelado hidrológico difieren en si los valores de los parámetros de entrada son promedios para toda la cuenca ("modelos de parámetros concentrados"), o si varían con la posición ("modelos distribuidos"), y también en si los algoritmos son determinísticos, en cuyo caso los resultados son replicables con exactitud, o estocásticos, en cuyo caso los

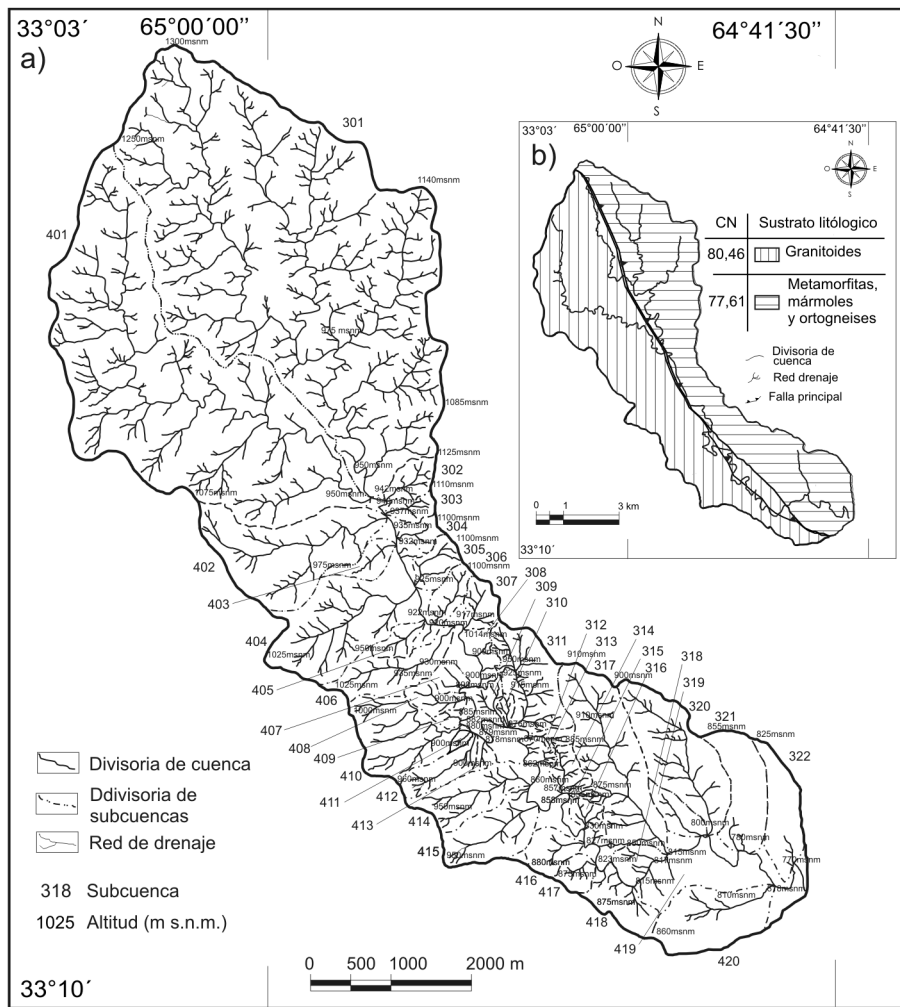


Figura 3: a) Hidrografía de la cuenca alta arroyo Las Lajas y demarcación de las subcuencas (Doffo 2007); b) Zonificación de la cuenca del arroyo Las Lajas según unidades de curva número (modificado de Doffo 2007).

resultados diferirán aún para parámetros de entrada idénticos. El principal desafío de todo modelo hidrológico es cómo traducir precipitación, o deshielo, en escorrentía y luego encauzar la escorrentía a lo largo de la cuenca (cf. Beven 2001). En este trabajo se emplea el modelo hidrológico ARHymo, elaborado por el Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología Hídricas (actualmente INA) y el Consejo Federal de Inversiones, sobre la base de modelos pre-existentes (Maza *et al.* 1993). Se trata de un modelo de parámetros concentrados, determinístico, y lineal, ya que la relación entre la lluvia y el caudal es directa. Por otra parte, como no permite variar la humedad entre eventos sucesivos de lluvia, se clasifica como de eventos aislados. También es

invariable en el tiempo respecto a los demás parámetros, ya que los mantiene constantes a lo largo de toda la simulación. A su vez, es del tipo "caja negra" o empírico, porque los resultados son presentados sin los cálculos intermedios que llevaron a esos valores. ARHymo tiene la ventaja de sencillez operativa y bajo requerimiento de parámetros de entrada, aspecto importante en zonas que no cuentan con adecuada información hidrológica.

RESULTADOS

Parámetros de entrada

La cuenca alta del arroyo Las Lajas fue dividida en 42 subcuencas que se agrupan en dos conjuntos, respectivamente situados

CUADRO 1: Distribución de cada grupo hidrológico (GH) según sustrato en las parcelas de control.

GH	Porcentaje promedio de área	
	Ambiente granítico	Ambiente metamórfico
C	21,29 %	70,44 %
D	78,13 %	29,37 %

sobre la margen izquierda (22 subcuencas, designadas 301 a 322) y la margen derecha (20 subcuencas, designadas 401 a 420) del arroyo Las Lajas (Fig. 3a). Dos subcuencas mayores (301 con una superficie de 13,07 km² y 401 con una superficie de 8,03 km²) ocupan las cabeceras y 40 subcuencas menores el resto de la cuenca. La mayor superficie es de 13,07 km² en la subcuenca 301 y la menor es de 0,036 km² en la subcuenca 315. Los mayores desniveles topográficos se dan en las subcuencas 301 (455 m) y 401 (305 m).

Los parámetros de entrada por subcuenca fueron los siguientes: a) Valores de curva número (CN), estimados según el método desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (USDA-SCS; Kent 1973), b) Alturas topográficas máxima y mínima, c) Máxima longitud de canal, y d) Área; estos tres últimos valores se midieron en un modelo digital de elevación de la cuenca. El método de la curva número es empírico y está mayormente apoyado por datos de cuencas en zonas áridas y semiáridas relativamente pequeñas. El método no adopta explícitamente ninguna de las usuales funciones de transferencia entre precipitación y escorrentía: exceso de infiltración, o hortoniano, y exceso de saturación. Sin embargo, se ha apuntado que los datos empleados en la calibración del método de la curva número supusieron un comportamiento hortoniano (Walter y Shaw 2005). Para la cuenca del arroyo Las Lajas, el régimen de tormentas convectivas, las pendientes moderadamente elevadas, y el espesor de suelo mayormente delgado, permiten suponer como válido un comportamiento hortoniano, lo cual da pie para adoptar el modelo ARHymo. El valor de la curva número varía con el tipo de cubierta vegetal y con la permea-

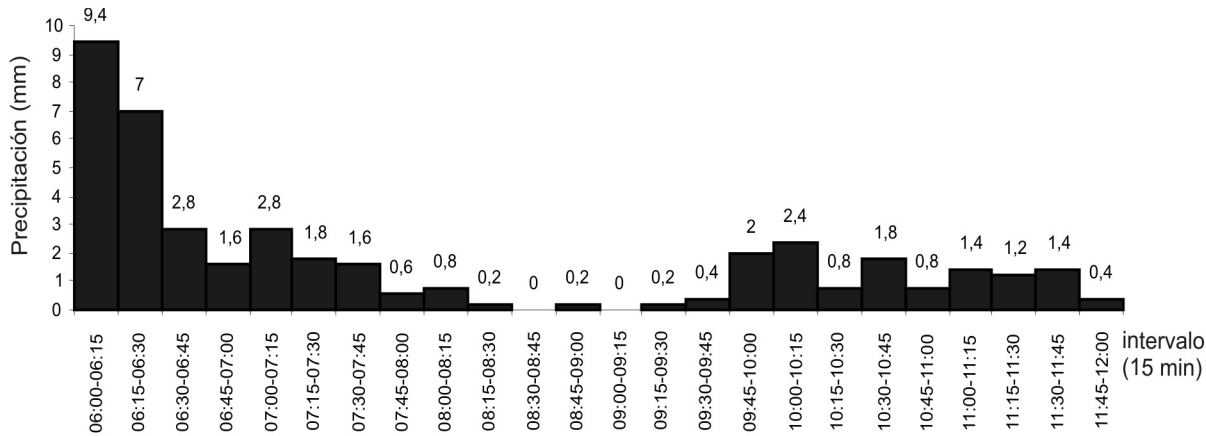


Figura 4: Histograma de la tormenta de modelo, discretizada en intervalos de 15 minutos (Doffo 2007).

bilidad del suelo. El sector occidental de la cuenca, con substrato granítico, está dominado por estepa herbácea por encima de los 900 m s.n.m. (80 % de la superficie), y por bosque serrano a alturas menores; en cambio, en el sector con substrato de rocas metamórficas, estepa herbácea y bosque serrano ocurren en similares proporciones (Suárez y Vischi 1997).

En cuanto al suelo, el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos ha definido cuatro grupos hidrológicos, designados A, B, C, y D, en orden de permeabilidad media decreciente (Kent 1973). En el área de estudio se distinguieron dos grandes tipos de suelo: (a) roca expuesta, asignado al grupo hidrológico D, y (b) delgados rellenos de cauces y mallines, asignado al grupo hidrológico C.

Para cada grupo hidrológico se definieron aleatoriamente cuatro parcelas de control rectangulares, dos por ambiente litológico, mediante la digitalización de fotografías aéreas de escala 1:20.000. El tamaño de cada parcela surgió de tomar el doble de la longitud de curso no encauzado, definido como $L_o = 1/(2Dd)$, donde Dd es la densidad de drenaje que en la cuenca alta del arroyo Las Lajas tiene el valor $Dd = 4,75 \text{ km}^{-1}$ (Doffo y González Bonorino 2005); por lo tanto, $2L_o = 0,42 \text{ km}$ es el lado de una parcela y $0,176 \text{ km}^2$ es la superficie. En cada parcela se midieron las áreas cubiertas por suelos de grupos hidrológicos C y D y se promediaron los valores para cada tipo litológico (Cuadro 1). Estos valores de área se suponen como representativos de

toda la superficie ocupada por cada ambiente litológico.

Para la determinación de las curvas número se empleó la tabla del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Kent 1973), que requiere de dos parámetros de entrada: el grupo hidrológico y la cubierta vegetal dominante. Esta última fue clasificada como estepa herbácea dispersa en el ambiente granítico, y como bosque bajo disperso en el ambiente metamórfico. Puesto que cada ambiente litológico comprende dos grupos hidrológicos, se obtuvieron dos pares de valores de curva número: granitos 77 y 82, y metamorfitas 76 y 82, correspondientes a los grupos hidrológicos C y D, respectivamente. Finalmente los porcentajes de áreas determinados en las parcelas de control, son los factores de ponderación para calcular el valor de curva número (CN), para cada ambiente litológico según las ecuaciones:

$$\text{Ambiente granítico: } CNG = (77 \times 21,29 + 82 \times 78,13)/100 = 80,46$$

$$\text{Ambiente Metamórfico: } CNM = (76 \times 70,44 + 82 \times 29,37)/100 = 77,61$$

Estos valores de curva número fueron asignados a toda la cuenca alta como se muestra en la figura 3b.

Los valores de precipitación se obtuvieron de un pluviógrafo situado a 6 km al SO, en el sector serrano de la cuenca vecina del arroyo Achiras (Fig. 1). El registro -discretizado en intervalos de 15 minutos- corresponde a una tormenta ocurrida el 8 de enero del 2000, entre las 6:00 am y 12:00 am, con una precipitación total de 43,8 mm (Fig. 4). El

histograma es bimodal, con un pico en el primer intervalo de la tormenta (9,4 mm /15 min) y un segundo pico de menor intensidad (2,4 mm/ 15 min) en el intervalo 17.

Modelado hidrológico

La conectividad de las subcuencas está indicada en la figura 5. Los sitios de confluencia de los caudales de las subcuencas con el colector principal están indicados con cuadrados y enumerados de 101 a 115; este último corresponde a la salida de la cuenca alta del arroyo Las Lajas. Los valores de lluvia efectiva (P_e) son 11,1 mm y 12,2 mm para las subcuencas 300 y 400 respectivamente. Para el caso de los hidrogramas suma, este parámetro fue de 11,6 mm.

Parámetros de salida: En el cuadro 2, se muestran los tres parámetros de salida que entrega el programa: el caudal pico Q_p , en m^3/s , el tiempo al pico, en horas, que representa el tiempo transcurrido entre el comienzo del evento de crecida y el máximo valor de caudal alcanzado por la cuenca, y el volumen total y erogado de agua por la cuenca, expresado en hm^3 .

Análisis de los hidrogramas: Para el análisis, los hidrogramas generados por el modelo fueron divididos en tres grupos. Dos grupos quedaron conformados por las subcuencas situadas, respectivamente, al oeste y al este de la falla Las Lajas. El tercer grupo reúne a los hidrogramas suma (Fig. 5). Los hidrogramas de las subcuencas 301 y 401 (Figs. 6a y b), al poseer mayor

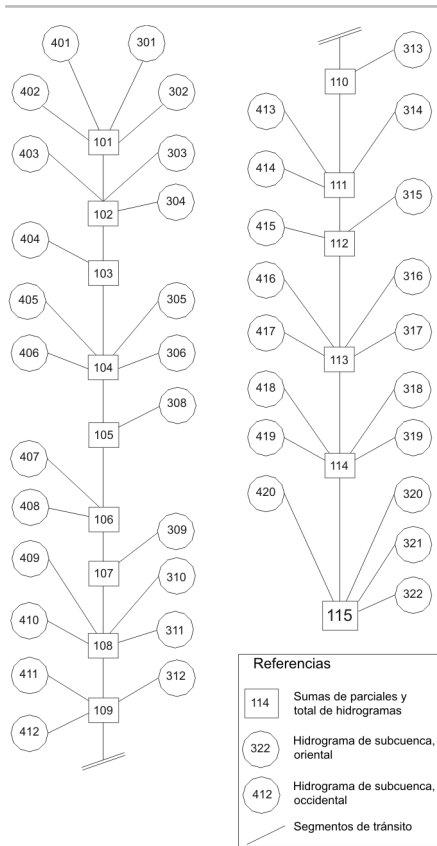


Figura 5: Diagrama de flujo para el ingreso de hidrogramas de subcuencas parciales y totales.

superficie, muestran tiempos de respuesta más largos, tanto en el primero como en el segundo aguacero de la tormenta considerada (Fig. 4), también es marcado el suavizado de la curva del hidrograma en la subcuenca ubicada sobre materiales metamórficos (301). Las subcuencas más pequeñas, cuyos ejemplos más claros son la 306 y la 406 (Figs. 6c y d), muestran tiempos de respuesta mucho más cortos, con tiempos al pico del orden de 10 a 20 minutos para el primer aguacero de la tormenta, y entre 3,5 a 4 horas para la segunda moda del hidrograma. En las cuencas de menor superficie, los hidrogramas reflejan la forma del hidrograma, mientras que en las subcuencas mayores (301 y 401), las características morfológicas ejercen un efecto de suavizado en los picos menores del hidrograma, enmascarando las fluctuaciones en intensidad de precipitación.

Las cuencas situadas sobre ambas vertientes muestran hidrogramas con tiempos de respuesta similares, las ubicadas en ambien-

CUADRO 2: Parámetros hidrológicos de salida de las subcuencas y de hidrogramas totales.

Subcuencas en sustrato metamórfico				Subcuencas en sustrato granítico				Hidrogramas suma			
Nº	Qp (m³/s)	Tiempo al pico (h)	Vol. total (hm³)	Nº	Qp (m³/s)	Tiempo al pico (h)	Vol. total (hm³)	Nº	Qp (m³/s)	Tiempo al pico (h)	Vol. total (hm³)
301	9,5	1,62	0,196	401	6,7	1,70	0,132	101	18,0	1,62	0,360
302	0,3	0,30	0,003	402	1,7	1,30	0,029	102	18,3	1,61	0,366
303	0,2	0,28	0,002	403	0,3	0,32	0,003	103	19,8	1,54	0,393
304	0,2	0,25	0,001	404	0,7	1,21	0,027	104	20,9	1,52	0,414
305	0,3	0,30	0,004	405	0,2	0,35	0,003	105	21,2	1,52	0,419
306	0,3	0,31	0,003	406	0,7	0,49	0,010	106	21,5	1,52	0,424
307	0,2	0,33	0,002	407	0,2	0,31	0,002	107	21,7	1,52	0,428
308	0,4	0,37	0,005	408	0,3	0,33	0,003	108	23,4	1,51	0,458
309	0,3	0,38	0,004	409	0,1	0,29	0,001	109	23,8	1,51	0,465
310	0,1	0,31	0,001	410	1,0	0,58	0,015	110	24,0	1,50	0,470
311	0,8	0,80	0,013	411	0,1	0,27	0,001	111	24,9	1,50	0,485
312	0,1	0,33	0,001	412	0,4	0,44	0,005	112	25,5	1,49	0,496
313	0,4	0,39	0,004	413	0,1	0,29	0,001	113	27,5	1,45	0,532
314	0,2	0,40	0,003	414	0,8	0,56	0,011	114	29,0	1,45	0,558
315	0,1	0,26	0,00	415	0,7	0,51	0,011	115	32,2	1,43	0,613
316	0,2	0,30	0,002	416	0,5	0,43	0,006				
317	1,5	1,29	0,25	417	0,3	0,31	0,003				
318	0,3	0,32	0,003	418	0,6	0,36	0,007				
319	0,3	0,37	0,004	419	0,7	1,44	0,012				
320	1,2	1,20	0,019	420	1,0	0,58	0,016				
321	0,7	0,54	0,011								
322	0,6	0,57	0,009								

te granítico presentan picos más agudos que las desarrolladas sobre metamorfitas (Figs. 6a, b y c, d). El grupo de los hidrogramas suma representa la suma algebraica de aquellos eventos ocurridos aguas arriba del canal principal. Sin embargo, las formas de las curvas no son sólo atribuibles a la respuesta aluvial de las subcuencas aportantes, sino también al efecto de laminación que sobre el pico del hidrograma ejerce el tránsito de la crecida por el largo canal principal, configurando un hidrograma final que muestra más similitud con una cuenca de llanura que a una serrana, ya que la pendiente de las ramas de ascenso (tiempos al pico) y de agotamiento son muy suaves.

Análisis de la torrencialidad: La torrencialidad, representada por el tiempo al pico (Tp), es una medida de la sensibilidad de la cuenca a las tormentas de lluvia. A continuación se analiza la incidencia que la litología, la estructura y el relieve tienen en la generación de los tiempo al pico. El cuadro 3 muestra la distribución de frecuencias, en intervalos de clase con un

CUADRO 3: Distribución de frecuencias de tiempo al pico (Tp) de las cuencas de ambos sectores del canal principal.

Subcuencas en metamorfitas		Subcuencas en granitos	
Intervalo de clases (h)	Frecuencia	Intervalo de clases (h)	Frecuencia
0:30	6	0:30	3
1	13	1	13
1:30	2	1:30	2
		2	2

ancho de 0,5 horas. Surge que las subcuencas de orden 400, desarrolladas sobre sustrato granítico en valles amplios con relleno sedimentario, se encuentran distribuidas en los cuatro intervalos de clase (0:30; 1:00; 1:30 y 2:00 h), mientras que las subcuencas de orden 300, emplazadas sobre metamorfitas y asociadas a la escarpa de falla de las Lajas con valles incididos y escaso relleno, muestran tiempos al pico concentrados en la primera hora y media, ocupando tres intervalos de clase (0:30; 1:00 y 1:30 h). Es decir, la torrencialidad es mayor para las subcuencas 300.

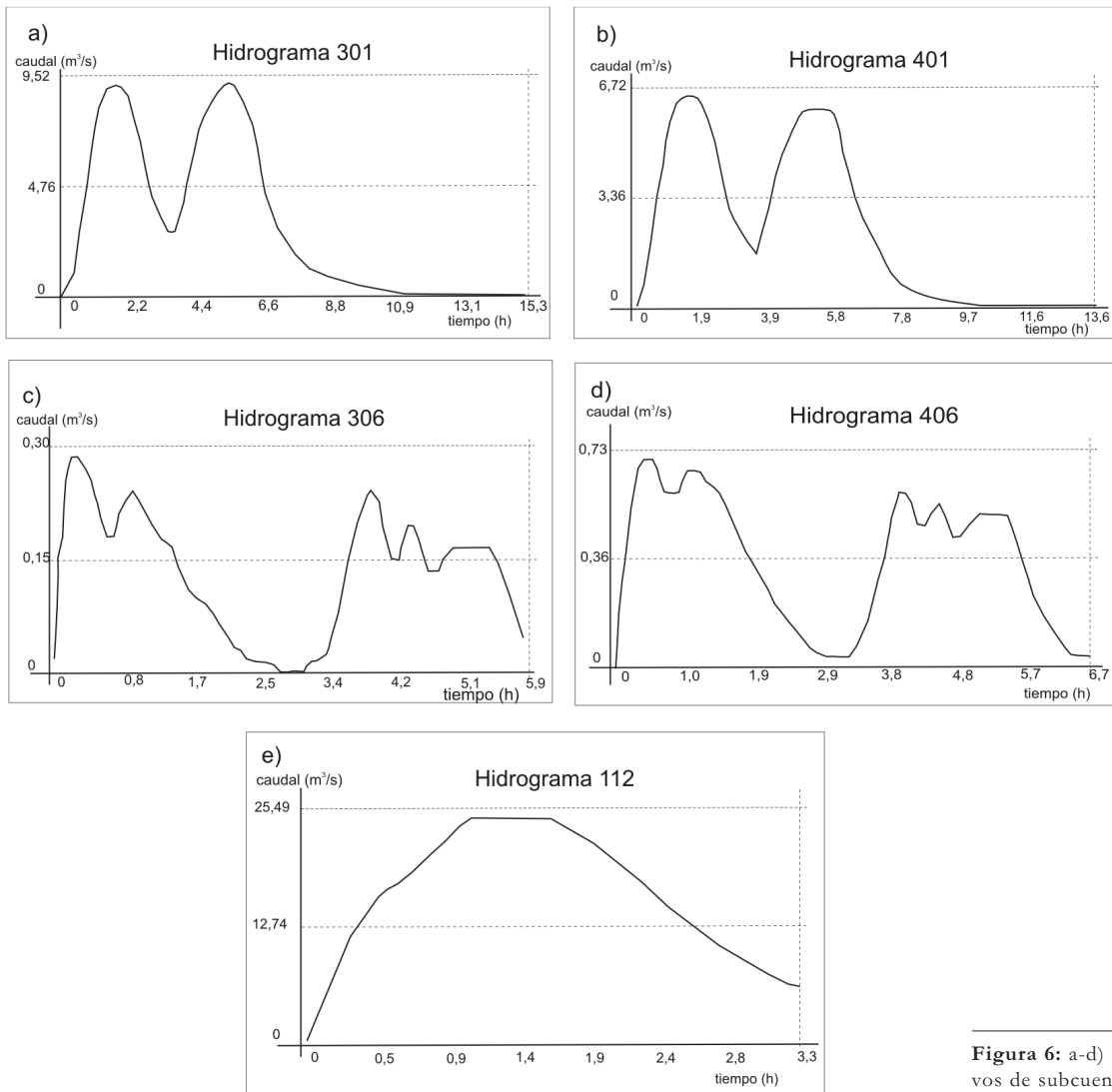


Figura 6: a-d) Hidrogramas representativos de subcuencas; e) Hidrograma suma.

CONCLUSIONES

Las cuencas situadas sobre ambiente granítico generaron picos más agudos en los hidrogramas, que las desarrolladas sobre metamorfitas. En estas últimas el carácter amesetado de las crestas indica una mayor duración del caudal pico. Aunque los tiempos de respuesta de los hidrogramas son proporcionales al tamaño de las cuencas, éstos muestran una notable sensibilidad a las características de la tormenta, reflejando la forma del hidrograma. Por otro lado, si bien las cuencas mayores presentan una atenuación de los picos menores, continúan reflejando los dos eventos principales de la tormenta. El carácter contrapuesto entre las zonas con

mayor curva número y menor torrencialidad (menor tiempo al pico) y viceversa, resultan de la combinación que realiza el modelo hidrológico entre los valores de curva número y los parámetros morfo-métricos de las subcuencas. No obstante, esto revela la preeminencia que tienen las características morfoestructurales (cuencas emplazadas en sector de escarpa de falla), sobre el curva número (mayor relación infiltración/escorrimento en sector granítico), en la determinación del grado de torrencialidad. El análisis de las frecuencias de los tiempos al pico, reveló que las subcuencas situadas en el sector oriental (ambiente metamórfico con relieve de escarpas de falla), exhiben una mayor torrencialidad que las del sector occidental

(ambiente granítico).

Estudios similares en otras cuencas serranas serán necesarios para definir adecuadamente la relación entre geología y torrencialidad, un parámetro de sumo interés en el ordenamiento territorial.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer el apoyo material del Departamento de Geología de la Universidad Nacional de Río Cuarto y financiero del PPI-SeCyT UNRC, RR.222/07, que hicieron posible la realización del presente trabajo, el cual es un resumen parcial de la tesis doctoral del autor principal. Un arbitraje anónimo contribuyó a mejorar el manuscrito.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Beven, K.L. 2001. Rainfall-runoff modelling, The primer. John Wiley & Sons, Ltd., 356 p., New York.
- Doffo, N. 2007. Alteraciones en el régimen hidrológico de la cuenca del arroyo Las Lajas, provincia de Córdoba: causas naturales y antrópicas, umbrales de resistencia al cambio. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas Físico-Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto, (inédito), 341 p., Río Cuarto.
- Doffo, N. y González Bonorino, G. 2005. Caracterización morfométrica de la cuenca alta del arroyo Las Lajas, Córdoba, un análisis estadístico. Revista de la Asociación Geológica Argentina 60(1): 16-22.
- Horton, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins. Hydro-physical approach to quantitative morphology. Bulletin of the Geological Society of America 56: 275-370.
- Kent, K.M. 1973. A method for estimating volume and rate of runoff in small watersheds. United States Department of Agriculture (USDA)-Soil Conservation Service (SCS), 149 p.
- Krauss, T., Bianco, C. y Núñez, C. 1999. Los ambientes naturales del sur de la provincia de Córdoba. Fundación Universidad Nacional de Río Cuarto, 116 p., Río Cuarto.
- Maza, J., Fornero, L., Litwin, C. y Fernández, P. 1993. Modelo hidrológico ARHymo. Manual del usuario. INCYTH-Centro Regional Andino, 92 p., Mendoza.
- Otamendi, J.E., Nullo, F.E., Fagiano, M.R. y Aragón, E. 1996. Dos terrenos metamórficos y estructurales en el extremo sur de la Sierra de Comechingones, Córdoba-San Luis: algunas implicancias tectónicas. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 2: 249-266, Buenos Aires.
- Sagripanti, G., Origlia, D. y Campanella, O. 1998. Sismicidad en una región de intraplaca. Departamento Río Cuarto. Prov. de Córdoba. Argentina. Conferencia Internacional "Sistemas modernos de Preparación y Respuesta ante Riesgos Sísmicos, Volcánicos y Tsunamis", Actas: 281-293, Santiago.
- Suárez, S. y Vischi, N. 1997. Caracterización fisonómico-estructural de vegetación serrana (Alpa Corral-Córdoba-Argentina). Multequina 6: 21-33.
- Walter, M.T. y Shaw, S.B. 2005. Discussion "Curve Number Hydrology in Water Quality Modeling: Uses, Abuses, and Future Directions". Journal of the American Water Resources Association 41(6): 1491-1492.

Recibido: 24 de julio, 2009
 Aceptado: 12 de mayo, 2010