

ANÁLISIS DE LA RELACIÓN PRECIPITACION - ESCORRENTIA EN LA CUENCA ALTA DEL RIO SAUCE CHICO. PROVINCIA DE BUENOS AIRES

de Antueno L.^a, Gaspari F. J.^a y Guzmán Guaraca A.^b

^a Cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas. CEIDE. FCyF. Universidad Nacional de La Plata. ARGENTINA

^b Becario Doctoral CICPBA - CEIDE. FCyF. Universidad Nacional de La Plata. ARGENTINA

e-mail: cuencas@agro.unlp.edu.ar

RESUMEN

El conocimiento y evaluación de la influencia que generan los diversos eventos pluviales sobre el uso del suelo es incipiente, especialmente cuando se analiza su integración al fenómeno precipitación-escorrentía. El objetivo es representar cartográficamente la interacción entre diversos eventos pluviales sobre los coeficientes de escorrentía e infiltración. Para ello se realizó un análisis pluvial con el fin de establecer una tormenta modal y otra extrema para aplicar, con sistemas de información geográfica, a la definición de la relación precipitación-escorrentía superficial en la actualidad, en la Cuenca Alta del Río Sauce Chico. Se desarrolló la metodología del Número de Curva para establecer ambos coeficientes. La modelización se realizó aplicando dos tormentas obtenidas de la lectura de fajas pluviográficas, una extrema (81,2 mm) (año 1986) del Servicio Meteorológico Nacional de Tornquist y una modal (26,5 mm) (año 1990) de la Cooperativa Rural, ambas con una duración de 480 minutos, tomada cada 0,5 horas, siendo esta última considerada como testigo de las condiciones climáticas normales. Los resultados alcanzados evidencian que para una precipitación modal los valores de coeficiente de infiltración (CF) $< 0,4$ se expresan en la zona de valles y cañadas de la parte alta de la cuenca; y los $> 0,4$ ocurren en la zona de lomadas a baja, con predominio de actividad agropecuaria. Para el evento extremo la situación se invierte, los valores máximos ocurren en gran parte de la cuenca alta y media. En cuanto al coeficiente de escorrentía (CE), durante eventos modales, los máximos CE ocurren en la proximidad de los valles y en la parte baja de cuenca, siendo el $CE < 0,25$. Si bien esta respuesta también se evidencia para eventos extremos, los valores de CE en todos los casos son $> 0,25$ y ascendiendo hacia las nacientes de la cuenca, con valores $> 0,6$.

Palabras Clave: Análisis de eventos, NC, Coeficiente de infiltración, Coeficiente de escorrentía

INTRODUCCIÓN

La variabilidad en la respuesta a la relación precipitación-escorrentía en una cuenca está dada por la interacción de distintos factores, entre los mismos se pueden mencionar las diferencias en la distribución espacial de las tormentas, la intensidad de las precipitaciones y la capacidad de retención hídrica del terreno. Otros factores son el tiempo transcurrido desde la última precipitación y la evapotranspiración durante ese

período que, junto a las propiedades edáficas, condicionan la humedad del suelo (Pilgrim & Cordery, 1993; Ponce & Hawkins, 1996).

En el área de las sierras bonaerenses argentinas, el aumento de las precipitaciones y de la superficie destinada a agricultura ha contribuido a la generación de excesos de escurrimiento de gran impacto en la región y a la erosión hídrica de las tierras. La relación lluvia-escurrimiento en esta región permitirá estimar los efectos de las crecidas. (Ares et al., 2012).

En este contexto, resulta fundamental el análisis de datos observados de lluvia y escurrimiento en series de largo plazo que abarquen un amplio rango de condiciones hidrológicas. Contar con esta información permite la estimación de distintos parámetros que describan la generación del escurrimiento en cuencas. Entre ellos, el coeficiente de escurrimiento (CE), que es la proporción de lluvia que se convierte en escurrimiento directo durante un evento, es una variable clave en hidrología que permite diagnosticar la respuesta de la cuenca bajo situaciones diversas (Merz y Blöschl, 2009).

El escurrimiento superficial es una de las variables hidrológicas más importante en el análisis de la dinámica hídrica y su modelización, considerado como el agua procedente de la lluvia que circula por la superficie y se concentra en los cauces. Su distribución temporal y espacial es función de las características topográficas, geológicas, climáticas y de vegetación de la cuenca y está íntimamente ligado a la relación entre aguas superficiales y subterráneas (Gaspari et al., 2009).

Por otra parte, el método del Número de Curva es utilizado para predecir el volumen potencial de escorrentía directa para un evento de lluvia en pequeñas cuencas agrícolas, forestales y urbanas (Mishra and Singh 2003; Soulis et al., 2009). Este modelo considera los principales factores que afectan la generación de escorrentía integrados en un solo parámetro: el CN (Soulis et al., 2009). Los valores de CN pueden ser obtenidos de las tablas publicadas en la Sección 4 del National Engineering Handbook (NEH-4). Sin embargo, es conveniente determinarlos a partir de datos locales de lluvias y escurrimiento (Hawkins, 1993; Tedela et al., 2012). Distintos factores condicionan la variabilidad temporal de estos parámetros como las características de las precipitaciones en cuanto a su magnitud, el estado de la cuenca previo a un evento (Merz and Blöschl, 2009) o el estado o el tipo de cobertura vegetal.

El objetivo es representar cartográficamente la interacción entre diversos eventos pluviales sobre los coeficientes de escorrentía e infiltración.

METODOLOGÍA

El área de estudio comprende al sector serrano de la Cuenca del río Sauce Chico (373,24 km²), ubicada en la región pampeana en el suroeste de la Provincia de Buenos Aires (ver Fig. 1). El curso principal nace en el cordón serrano Bravard-Ventania con pendientes entre el 2-18% (Gaspari, 2007; de Antueno et al, 2020).

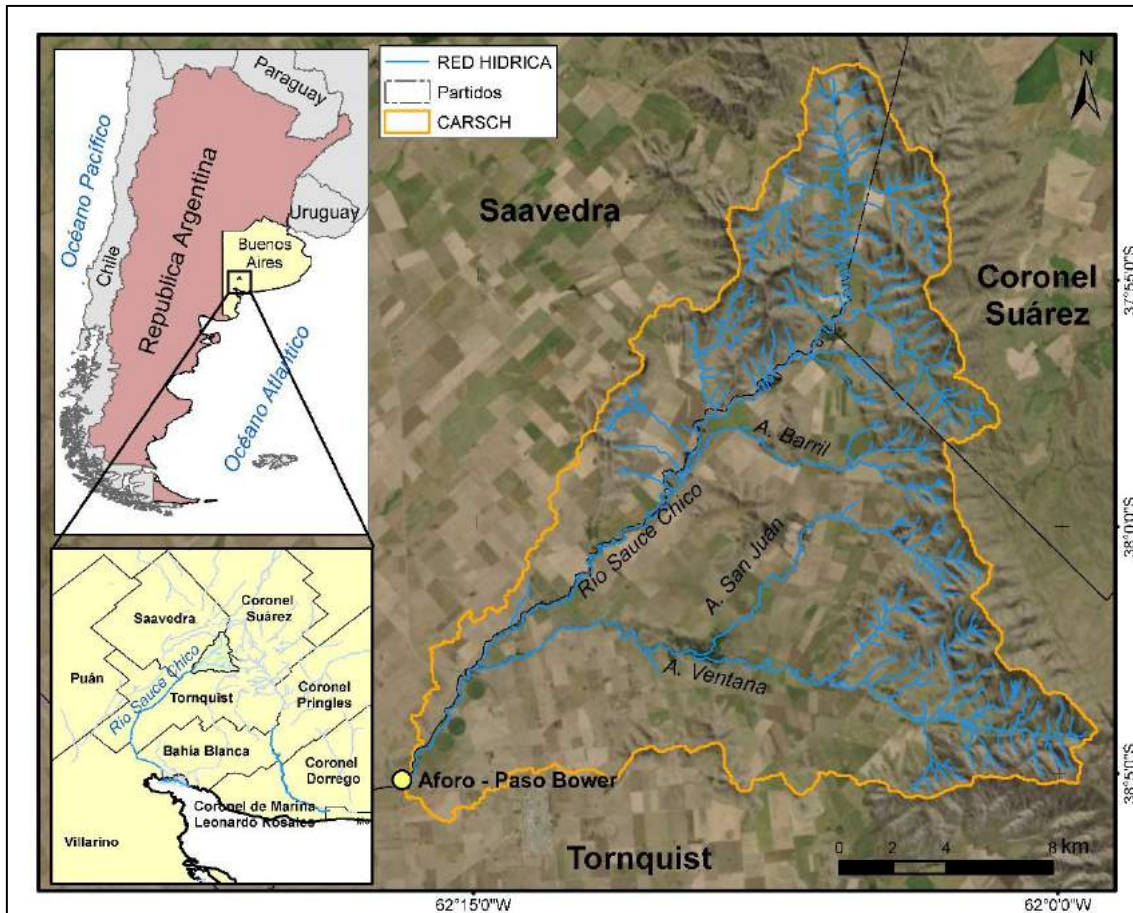


Figura 1. Ubicación de la Cuenca alta del río Sauce Chico. Argentina. Fuente: de Antueno et al, 2020.

Se trata de una zona con actividades agropecuarias que sustituyen la vegetación natural por especies forrajeras, en las partes altas, y cultivos agrícolas, en las zonas de piedemonte y planicie. Sus principales características físicas están representadas por la topografía, influyendo en su dinámica biofísica, social y económica. El clima es templado y subhúmedo seco caracterizado por inviernos húmedos, veranos secos (de Antueno et al, 2020). Los suelos presentes son del orden de los Molisoles, representados por asociaciones de: Argiudol típico en lomas, pendientes y planicies es muy profundo (140 cm); Haplustol típico, fino en el fondo del valle; Haplustoléntico y Haplustol lítico en los interfluvios, desarrollados sobre material loésico que cubre totalmente las laderas de las sierras, y este a su vez se ubica sobre una costra calcárea (tosca) que oscila los 100 cm de espesor, según los diferentes accidentes que presente su topografía (FUNS, 2011; Gaspari, 2007).

El modelo hidrológico más generalizado y fácil de adaptar a cualquier región geográfica es el método del número de curva (NC). Este método, desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS) de Estados Unidos (1972), se basa en la estimación directa del escurrimiento superficial de una lluvia aislada a partir de características del suelo, uso de este y de su cubierta vegetal (Gaspari et al., 2015). El método utiliza una ecuación para cuantificar el escurrimiento superficial que se expresa como el cociente entre $(P - I_a)^2$ y

$(P - I_a + S)$, donde P es la precipitación, I_a es la abstracción inicial, S es el máximo potencial de retención de la cuenca ante un evento de tormenta. El S se determina por el cociente entre $(25.400 - 254 \times NC)$ y NC es número de curva, representado por la combinación de valores entre el grupo hidrológico de suelo, las clases de coberturas y usos del suelo y la condición de humedad antecedente del suelo. El SCS desarrolló una relación empírica entre I_a y S , siendo $I_a = 0,2 \times S$ (Gaspari et al., 2015; de Antueno et al, 2020).

La aplicación del modelo requiere de cartografía en formato vectorial, codificadas de forma tal que, luego del rasterizado automático, procesamiento y asignación de valores particulares según el caso, se genera un mapa de distribución de número de curva (NC) a partir del cual se determina lámina de escurrimiento, aplicando la metodología del SCS. El modelo cuantifica el escurrimiento superficial en función del volumen y profundidad de la lámina (Wang et al., 2005) a partir de datos de precipitación (Rodríguez Vagaría y Gaspari, 2014).

Para establecer el escurrimiento directo (Q) (mm), se aplicó la Ec. 1 que depende de la Precipitación total acumulada (P) (mm) y de las Pérdidas iniciales (I_0).

$$Q = \frac{(P - I_0)^2}{P + 4 \cdot I_0} = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P + 0,8 \cdot S} \quad (1)$$

Conociendo que, el escurrimiento comienza una vez superado el umbral de escorrentía (I_0), se define que el coeficiente de escurrimiento (CE) es el cociente del caudal que discurre por dicha superficie (Q), en relación con el total precipitado (P) (Ec.2).

$$CE = Q \cdot P^{-1} \quad (2)$$

La infiltración (F), expresada en milímetros, que ocurrirá ante una determinada precipitación se determina con la Ec.3.

$$F = \frac{S(P - I_0)}{P - I_0 + S} \quad (31)$$

Asimismo, puede definirse que el coeficiente de infiltración (CF) de una superficie, como el cociente del caudal que se infiltra en esa superficie (F), en relación con el caudal total precipitado (P) (ver Ec.4).

$$CF = F \cdot P^{-1} \quad (4)$$

Entonces la suma de las láminas resultantes de la aplicación de los coeficientes, CE y CF , y de I_0 debe dar como resultado el total del agua precipitada.

En el estudio se aplicaron dos tormentas obtenidas de la lectura de fajas pluviográficas, representando una de condición extrema (81,2 mm) (año 1986) del Servicio Meteorológico Nacional de Tornquist y una modal (26,5 mm) (año 1990) de la

Cooperativa Rural, ambas con una duración de 480 minutos, tomada cada 0,5 horas, siendo esta última considerada como testigo de las condiciones climáticas normales (ver Fig 2).

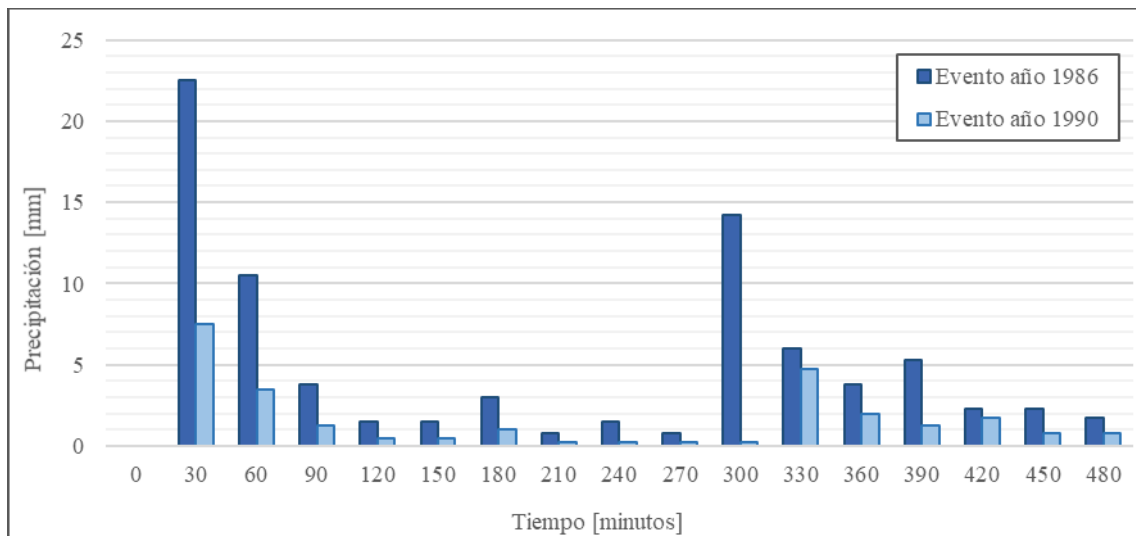


Figura 2. Eventos pluviales modelados. Fuente: de Antueno et al, 2020.

RESULTADOS

La zonificación de cobertura y uso del suelo conformó un porcentaje de área ocupada por uso agropecuario de 51,3%, de uso forestal con 1,8%, pastizal 13,8%, ribereño 2,8 %, pastizal con presencia de roca en superficie de 29,2% y urbano solo el 1,1% del total de la cuenca en estudio (ver Fig.3a). El uso agropecuario presenta medidas de conservación de suelos, el monte expresa mayor cobertura de suelo, pero no así extensión; y la urbanización es tipo residencial de baja densidad.

El análisis textural de los suelos permitió zonificar los GH según: el B que se presenta desde la cabecera hacia la zona periserrana ocupa el 67,13% de la cuenca, el C se extiende sobre el 32,43% y el D en una menor proporción en la cuenca, solo el 0,45% (ver Fig.3b).

El procesamiento de estos mapas de uso del suelo y GH permitió la zonificación del NC según la Figura 3c, donde predomina el valor entre 60 y 80. La interacción entre el uso agropecuario y el GH C es mayoritario en la cuenca baja. En la cuenca alta se expresa el pastizal serrano con GH B. Particularmente en las zonas ribereñas se expresa el GH C.

En la modelización del evento extremo, los valores máximos de Q ocurren en gran parte de la cuenca alta y media. En cuanto al coeficiente de escorrentía (CE), durante eventos modales, los máximos suceden en la proximidad de los valles y en la parte baja de cuenca, siendo el $CE < 0,25$. Si bien esta respuesta también se evidencia para eventos extremos, los valores de CE en todos los casos son $> 0,25$ y ascendiendo hacia las nacientes de la cuenca, con valores $> 0,6$ (ver Fig. 4 a y b)

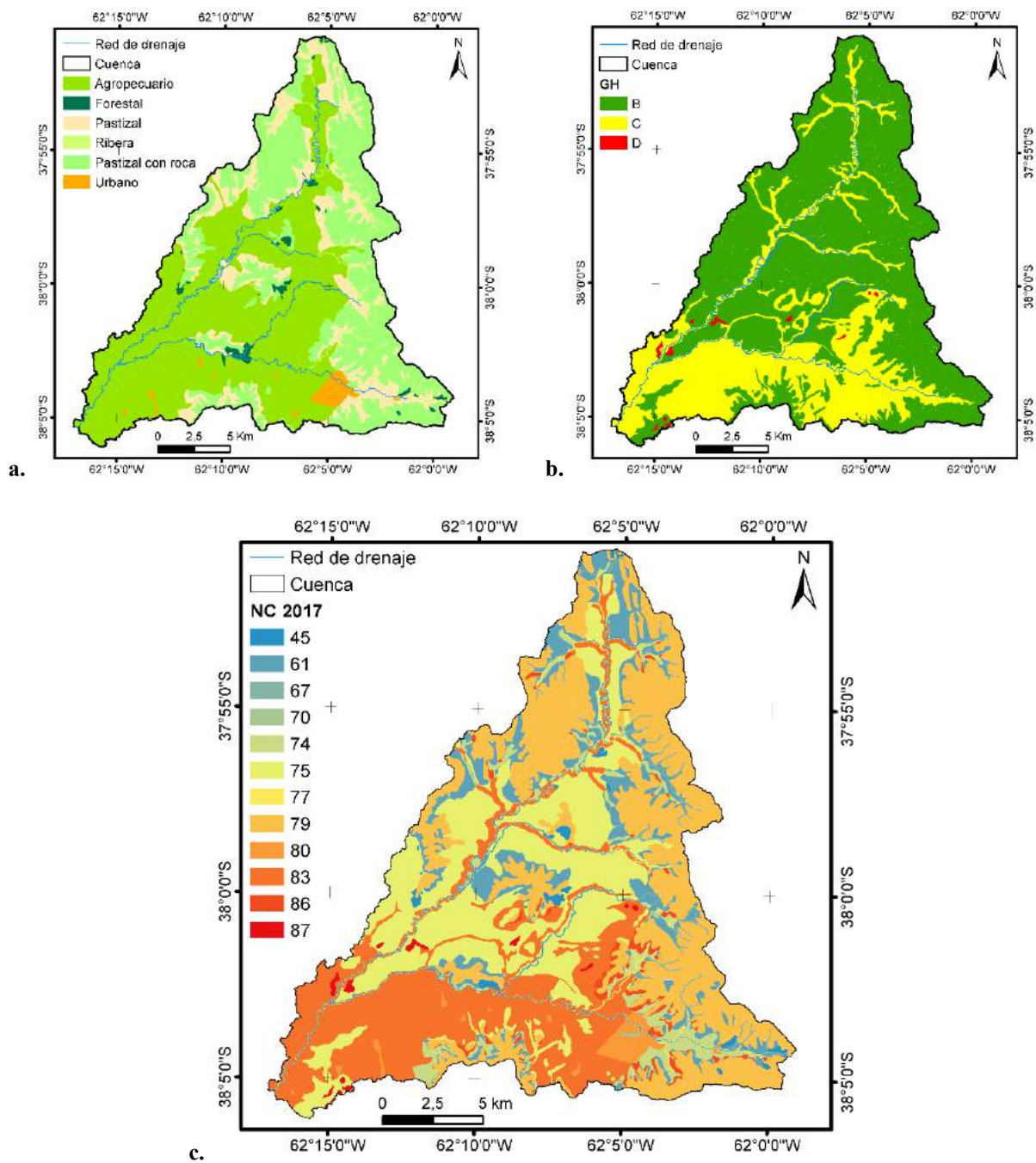


Figura 3. a. Zonificación de la cobertura vegetal y uso del suelo, b. GH, c. NC.

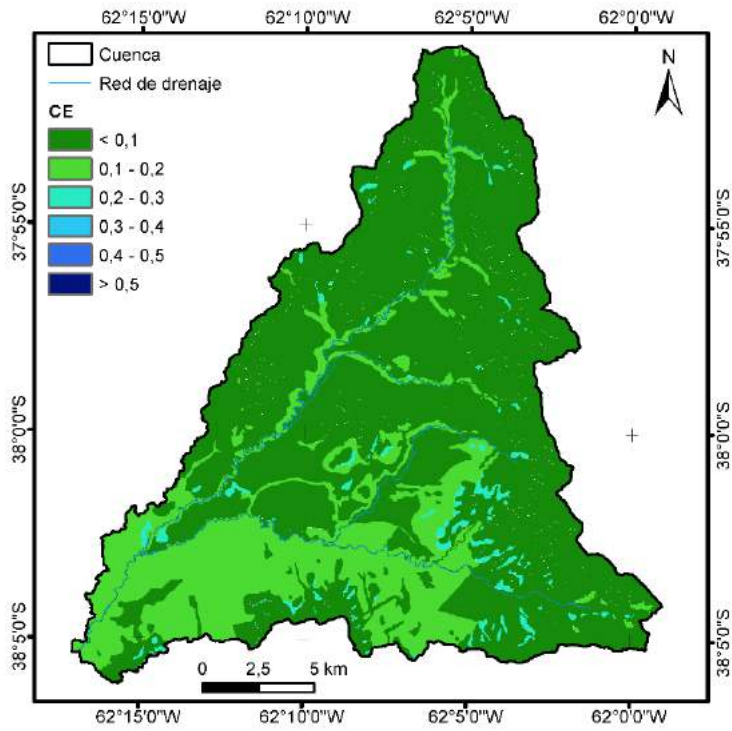


Figura 4.a. CE evento modal.

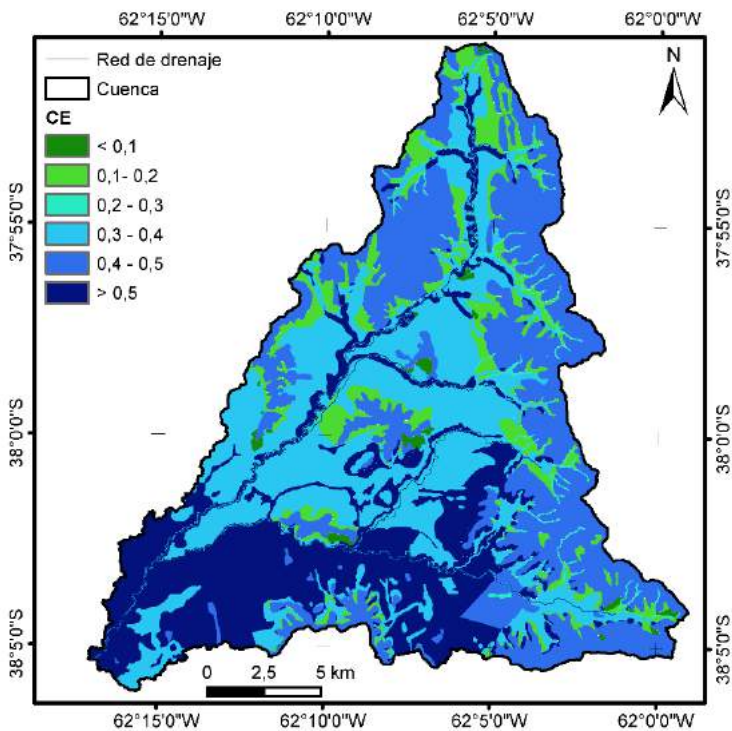


Figura 4.b. CE evento extremo.

Los resultados alcanzados para F evidencian que para una precipitación modal los valores de coeficiente de infiltración (CF) son $< 0,2$ y se expresan en la zona de valles y cañadas de la parte alta de la cuenca, en coincidencia con el GH C. El rango entre 2,0 y 0,4

predomina en la zona media de la cuenca. Los $CF > 0,4$ ocurren en la zona de lomadas a baja, con predominio de actividad agropecuaria y pastizal con roca (ver Fig. 5 a y b).

En el caso del evento extremo, el CF se comporta con valores $< 0,4$ en cañadas y zona agropecuaria baja, en coincidencia con el GH C, y los valores $> 0,4$ se identifica en el resto de la cuenca estudiada.

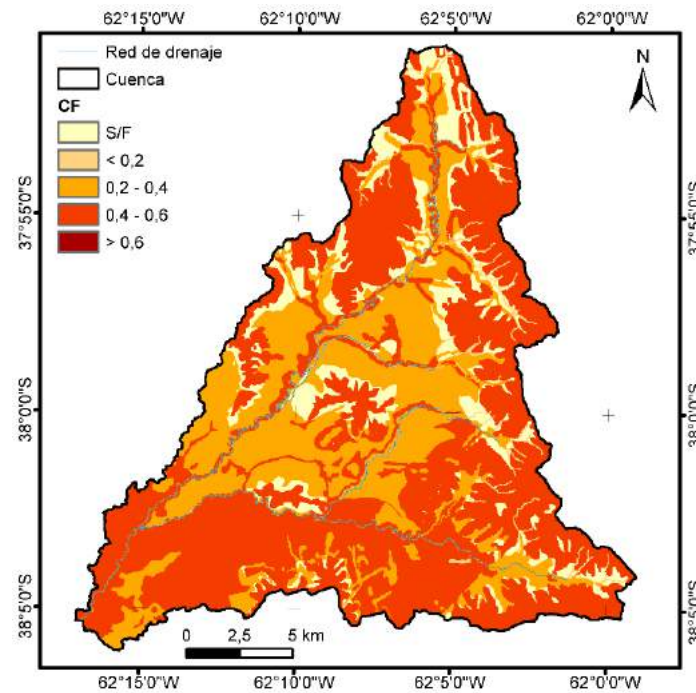


Figura 5.a. CF evento modal.

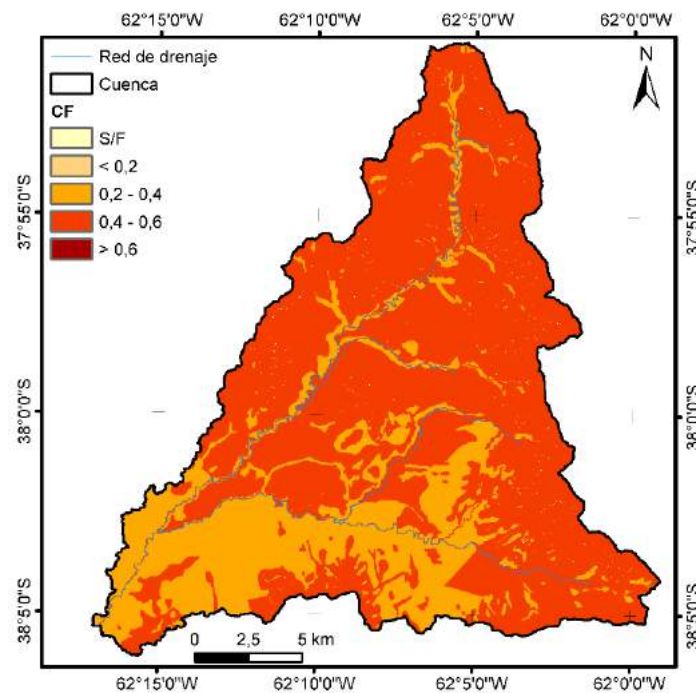


Figura 5. b. CF evento extremo.

En la Fig. 6 se representa el porcentaje de ocupación del CE en comparación para ambos eventos evaluados, expresando que ante la ocurrencia de una tormenta modal en el 97 % de la cuenca el CE es menor a 0,2, indicando mayores abstracciones e infiltración.

En el caso de producirse un evento torrencial el escurrimiento se presenta en forma inversa, es decir, solo el 10% de la superficie de la cuenca escurre menos de 0,2 y el resto de la cuenca indica valores superiores, hasta alcanzar más del 0,6 en la zona agropecuaria.

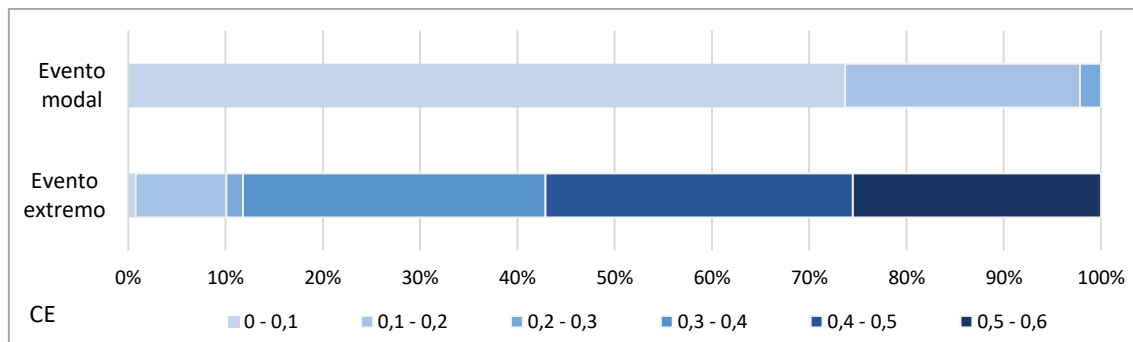


Figura 6. Comparación de la superficie de ocupación de CE.

En cuanto a la superficie de ocupación del CF en la cuenca, en el caso del evento extremo el 74% de la infiltración es mayor a 0,4, la cual disminuye ante un evento modal a 57%. En este último caso las abstracciones representan un 12%.

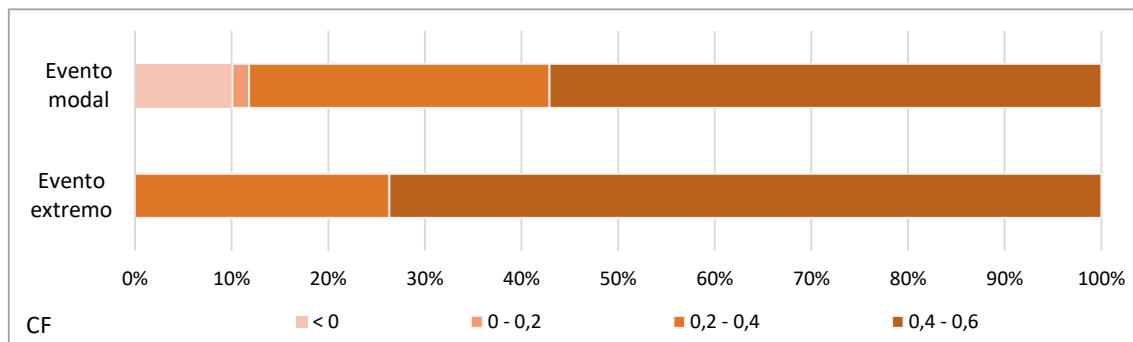


Figura 7. Comparación de la superficie de ocupación de CF.

En comparación de la respuesta de la cuenca ante ambas tormentas, en el evento modal predomina el escurrimiento bajo, porque prevalecen las abstracciones, limitando el agua que ingresa al suelo. Para el caso del evento extremo, el aumento del escurrimiento es acompañado por mayores infiltraciones, siendo menores las abstracciones, debido a la intensidad del aguacero y la arquitectura de la cobertura y uso del suelo.

CONCLUSIONES

A través de los procedimientos presentados se representó cartográficamente la interacción del complejo suelo-vegetación en relación con dos eventos pluviales, uno modal y otro extremo, y su expresión como coeficientes de escurrimiento e infiltración.

El análisis realizado presentó diferentes respuestas de la cuenca en función del tipo de evento de precipitación modelado. En eventos de lluvia extrema, el coeficiente de escurrimiento presentó alta variabilidad, con máximos en la zona de lomadas a llana, con predominio de actividad agropecuaria y la de pastizal con roca. Mientras que, el coeficiente de infiltración presentó valores equiparables en toda la cuenca, sin evidenciar abstracciones, cuyos valores máximos se dieron en la zona media y alta de cuenca, exceptuando zonas de ribera. Los máximos valores de CE para eventos extremos ocurren, en coincidencia con los menores valores de CF.

Por otro lado, ante eventos de lluvia modal, el CE es homogéneo en toda la cuenca, sin evidenciar gran afectación asociada a la diversidad de factores que intervienen en la respuesta al escurrimiento. Mientras que, el CF, presentó alta variabilidad espacial y se evidenciaron las abstracciones. Los máximos para de CF y CE se observaron en la zona de lomadas a baja.

AGRADECIMIENTOS

La financiación de este trabajo fue desarrollada por el Proyecto denominado “Estudio de los servicios hidrológico-ambientales para aportar a la sustentabilidad de la Región Serrana Bonaerense”, del Programa de Incentivos a los Docentes - Investigadores - Secretaría de Política Universitaria – Ministerio de Educación de la Nación. Proyecto I+D 2016. Director: Dra. Fernanda Gaspari. Acreditado. Proy. N° 11/A286. 2016-2019.

REFERENCIAS

- Ares M. G., Chagas C. and Verni M. Predicción de la escurrimiento y estimación de la humedad antecedente en una cuenca aforada. *Ciencia del suelo* 30(2):151-160. (2012).
- De Antueno, L., Gaspari F. and Guzmán Guaraca A. Análisis del efecto del cambio en el uso del suelo sobre el escurrimiento en la cuenca alta del río Sauce Chico, Argentina. *Revista estudios ambientales*. 8:20-42. (2020).
- Fundación de la Universidad Nacional del Sur FUNS. Prefactibilidad e sistematización y aprovechamiento de la cuenca del Río Sauce Chico. FUNS. Disponible en: <http://biblioteca.cfi.org.ar/documento/prefactibilidad-de-sistematizacion-y-aprovechamiento-de-la-cuenca-del-rio-sauce-chico-provincia-de-buenos-aires/> (2011).
- Gaspari, F. J. Ordenamiento territorial en cuencas serranas aplicación de sistemas de información geográfica (SIG), Ediciones Cooperativas. 1a edición. Buenos Aires. Argentina. 10,116 pp. (2007).
- Gaspari, F., Delgado, M., and Senisterra G. Simulación espacio-temporal de la erosión hídrica superficial en una cuenca serrana bonaerense. *GeoFocus* 9:67-82. (2009).

- Gaspari, F. J., Senisterra, G. E. and Díaz Gómez, A. R. Modelización hidrológica con L-THIA en la Cuenca Alta del Arroyo Napaleofú, Buenos Aires, Argentina. XXV Congreso Nacional del Agua. Paraná. Argentina. 8 p. (2015).
- Hawkins, R.. Asymptotic determination of runoff curve numbers from data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering (ASCE)*, 119(2): 334-345. (1993).
- Merz, R. and Blöschl, G. A regional analysis of event runoff coefficients with respect to climate and catchment characteristics in Austria. *Water Resources Research*, 45: W01405, doi: 10.1029/2008WR007163. (2009).
- Mishra, S.K. and Singh, V. Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) methodology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 513 pp. (2003).
- Picardi, M. & Giaccherio, A. Productividad de la tierra agrícola en el sudoeste bonaerense. *Estudios Económicos*, 32. Disponible en: http://bibliotecadigital.uns.edu.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S252512952015002200004&lng=en&nrm=iso Pilgrim, D.H. and Cordery, I., 1993. Flood runoff. In: *Handbook of Hydrology*. Maidment, D.R: Ed. McGraw–Hill Inc. New York, USA pp: 9.1-9.42. (2015).
- Ponce, V.M. and Hawkins, R. Runoff Curve Number: has it reached maturity? *Journal of Hydrologic Engineering ASCE*, 1(1):11-19. (1996).
- Rodríguez Vagaría, A.M. and Gaspari, F. J. Modelización espacial del escurrimiento medio anual en la cuenca serrana bonaerense. Séptimo Congreso de la Ciencia Cartográfica “Logros y desafíos de la Cartografía”. Buenos Aires. Argentina. (2014).
- Soulis, K.X., Valiantzas, J.D., Dercas, N. and Londra, P.A. Analysis of the runoff generation mechanism for the investigation of the SCS-CN method applicability to a partial area experimental watershed. *Hydrology and Earth System Sciences*, 6: 373-400. (2009).
- Tedela, N.H.; McCutcheon, S.C., Rasmussen, T.C., Hawkins, R.H., Swank, W.T., Campbell, J.L., Adams, M.B., Jackson, C.R. and Tollner, E.W. Runoff Curve Number for 10 small forested watersheds in the mountains of the eastern United States. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17:1188-1198. (2012).
- Torrero, M. Río Sauce Chico: Estudio hidrográfico para un desarrollo sustentable. Tesis Doctoral en Geografía. U.N.S. 9 pp. (2009).
- Wang, Y., Choi, W. & Deal, B. M. Long-term impacts of land-use change on nonpoint source pollutant loads for the St. Louis metropolitan area, USA. *Environmental Management*, 35(2), 194-205. (2005).