

# ANÁLISIS DEL RIESGO DE EROSIÓN HÍDRICA SUPERFICIAL SEGÚN LA CONDICIÓN DE HUMEDAD ANTECEDENTE DEL SUELO EN UNA CUENCA SERRANA BONAERENSE

Guzmán Guaraca A<sup>a</sup>, Gaspari F. J. <sup>b</sup> y de Antueno L. <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Becario Doctoral CICPBA - CEIDE. FCyF. Universidad Nacional de La Plata.  
ARGENTINA

<sup>b</sup> Cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas. CEIDE. FCyF. Universidad Nacional de La Plata. ARGENTINA

e-mail: [cuencas@agro.unlp.edu.ar](mailto:cuencas@agro.unlp.edu.ar)

## RESUMEN

*El sistema serrano de Ventania es considerado la principal fuente de recarga del sistema hidrológico del Sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Sin embargo, la problemática es el avance de la agricultura y ganadería sobre zonas con pendiente escarpada, provocando la pérdida de la vegetación natural principalmente pastizales nativos. Ello supondría un importante riesgo de erosión hídrica, que su zonificación es el objetivo del presente trabajo. Se analizaron los registros de precipitación diaria en los últimos 10 años, para definir los escenarios en la cuenca de estudio e identificar la ocurrencia de las 3 condiciones de humedad antecedente del suelo. Se zonificó el riesgo de erosión hídrica superficial en la Cuenca Alta del Río Sauce Chico para el año 2018, mediante el cruzamiento del número de curva (NC) y pendiente en porcentaje (%), a través del software QGIS ©. Existe una prevalencia de la condición I de un 50,8 %, pero al mismo tiempo existen tormentas mayores a 38,1mm que se producen bajo condición I (<12,7 mm), de ahí que la clase de riesgo de erosión muy baja represente el 49.25% de la superficie. En la condición de humedad III (>38,1mm) el 42,66% de la superficie presenta un nivel de riesgo medio. Se concluye en la cuenca serrana en estudio, de clima semiárido, la condición de humedad antecedente genera más riesgo de erosión que la pendiente.*

*Palabras Clave: Cuenca hidrográfica, Riesgo de erosión hídrica, NC, Condición de humedad antecedente.*

## INTRODUCCIÓN

Al inicio de un evento de precipitación, una parte es retenida por la vegetación que la intercepta, otra infiltra dependiendo de la capacidad de saturación del suelo y finalmente, si el volumen o intensidad de la precipitación sobrepasa estos límites, empieza la generación de escurrimiento. El flujo de agua de lluvia que conforma el escurrimiento circula de forma laminar en movimientos cuasi horizontales, ya sea sobre la superficie del suelo o a nivel de subsuelo, ayudando a mantener los ríos y lagos por largos periodos de tiempo (Gaspari, Rodríguez, Senisterra, Delgado, & Besteiro, 2013).

Cuando el flujo de escurrimiento es sobre la superficie del suelo se conoce como escurrimiento superficial y tiende a ser el principal responsable de cambiar los contornos y formas del relieve a través de la activación de procesos de erosión.

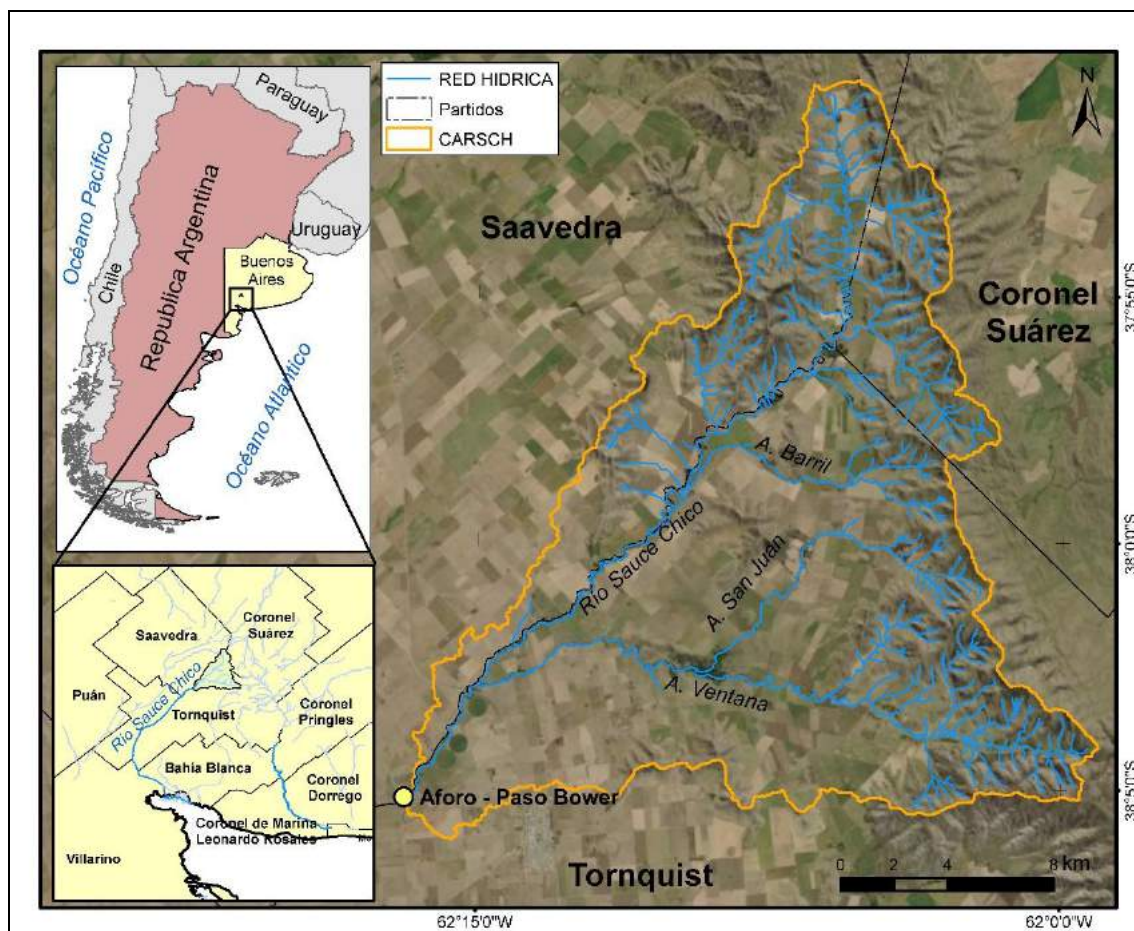
Una forma de cuantificar el escurrimiento superficial es mediante el método del Número de Curva (NC), establecido en 1954 por el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (USDA) (Ponce & Hawkins, 1997). Este método permite calcular las abstracciones de la precipitación, que por diferencia permite determinar la escorrentía directa en pequeñas cuencas agrícolas (Ares, Chagas, & Varni, 2012). El NC debe ser establecido para cada complejo suelo-vegetación, a partir de características particulares de vegetación, textura y condiciones de humedad antecedente (AMC). Este último parámetro ajusta los valores de NC, dependiendo si la condición de humedad es seca (AMC I), normal (AMC II) o húmeda (AMC III) (Ponce & Hawkins, 1997).

La cuenca serrana del Río Sauces Chico es muy importante como zona de recarga principal, debido a altos volúmenes de escurrimiento que se generan al presentar abundante roca aflorante en zonas de pendiente escarpada. A esta condición natural se suma el avance de la agricultura y ganadería sobre zonas de vegetación natural principalmente en zonas inter-serranas. Ello supondría un importante riesgo de erosión hídrica potenciado por lluvias de corta duración, generan escorrentías que pueden formar grandes avenidas. Algunos de estos eventos producen inundaciones de corta duración, pero de gran intensidad, provocando daños a la propiedad pública y privada (Torrero, 2009; FUNS, 2011; TBB, 27/02/13; LNP, 31/10/14).

El objetivo del presente trabajo fue zonificar el riesgo de erosión hídrica para el año 2018 a partir del NC y topografía del área, considerando las 3 condiciones de humedad antecedente, a partir de registros de precipitación diaria en los últimos 10 años.

## **MÉTODOS**

El área de estudio se localiza en la región pampeana del suroeste de la Provincia de Buenos Aires. Comprende la cuenca alta del río Sauce Chico (CARSCH), presenta una pendiente entre 0,5 y >18%. Se extiende por los partidos de Saavedra, Tornquist y Coronel Suarez. El curso principal recibe el aporte de varios arroyos secundarios: Chaco, Barril, Ventana y San Juan que drenan los faldeos de los cordones serranos Curamalal, Bravard y Ventana (Gaspari, 2007; Torrero, 2009; FUNS, 2011). Los principales tipos de suelo presentes son Haplustoles y Argiudoles.



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

La precipitación media anual durante el periodo 2009-2018 fue de 811,08 mm, dato que corresponde a la estación meteorológica perteneciente a la Fundación Hogar FUNKE, Tornquist, que es la estación más cercana al área con datos completos.

Para determinar el NC se elaboraron mapas que caracterizan cada complejo suelo-vegetación, que fueron superpuestos en un SIG y a las distintas combinaciones se designó un valor de NC, de acuerdo con las tablas del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) para AMC II (Ponce & Hawkins, 1997).

Los mapas elaborados proporcionan la siguiente información:

- a) Para la realización de la caracterización edáfica de CARSCH, se hizo uso de la carta de suelos en escala 1:50 000, formato shape file, suministrado por el Instituto de Suelos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, 2018) y la descripción de los grupos edáficos que se encuentran disponibles en la página <http://anterior.inta.gov.ar/suelos/cartas/index.html>. Esta caracterización se refiere a series de suelo, permeabilidad y grupo hidrológico (GH).
- b) Uso y cobertura de suelo. Para la identificación espacio-temporal de los principales usos de suelo en la CARSCH se empleó la plataforma de acceso libre Google Earth Engine. Se aplicó una clasificación supervisada mediante el

algoritmo Random forest (RF), considerado como el óptimo por revisión bibliográfica y pruebas realizadas anteriormente frente a otros clasificadores. Las imágenes utilizadas fueron de la colección LANDSAT 8 OLI, calibradas a tope de la atmosfera y adquiridas entre los meses de mayo – julio que se corresponde con los meses más secos y de menor cobertura nubosa. Para incrementar la separabilidad de clases se utilizó el modelo de elevación digital (SRTM) y el índice espectral NDVI.

De acuerdo con los expresado por Gaspari et al. (2009) referente de la clasificación de humedad antecedente del suelo en base a la precipitación acumulada de 5 días previos a un evento de precipitación (AMC I y III), se ajustaron los NC de la condición II mediante las Ec. (1) y (2):

$$NC I = \frac{4,2 NCII}{10-0,058CNII} \quad (1)$$

$$NC III = \frac{23 NCII}{10-0,13NCII} \quad (2)$$

Obtenida la zonificación del NC, se procedió al cruzamiento del mapa de rangos de NC con el mapa de rangos de pendiente. Una vez generado el mapa de cruzamiento se identificaron las diferentes clases de riesgo de erosión con base en la clasificación propuesta por Gaspari et al. (2013) y expresada en la Tabla I.

**Tabla I:** Riesgo de erosión según complejo suelo-vegetación (NC) y pendiente.

Rango Pendiente %	Rango de NC					
	< 30	30-45	45-60	60 - 70	70-80	>80
0 – 3	MB					B
3 – 12	MB			B		M
12 - 18	B			M		
18 - 24	M			A		MA
24 - 30	A					MA
>30	MA					

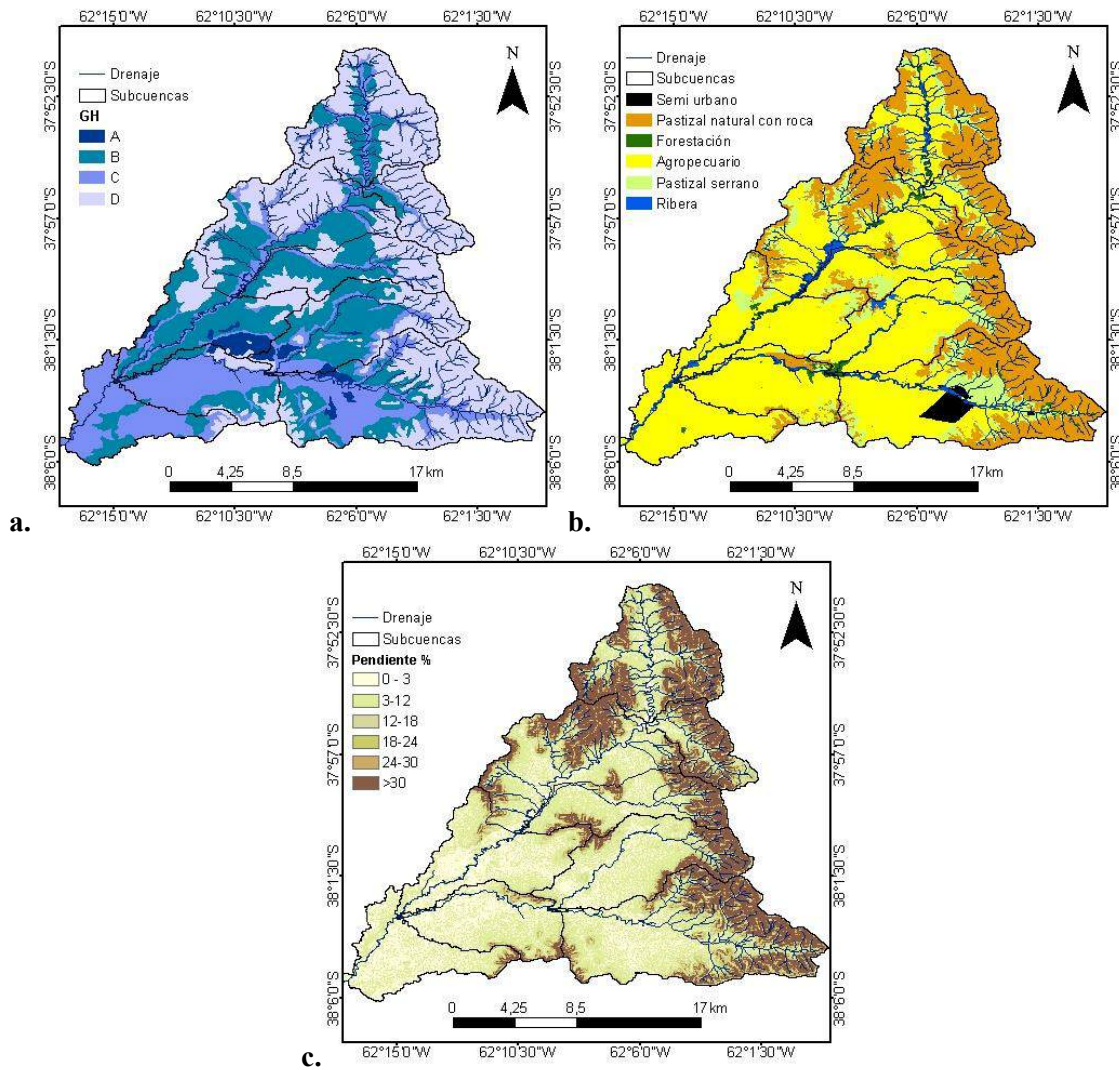
\*MB: muy bajo, B: bajo, M: medio, A: alto, MA: muy alto

Fuente: Gaspari et al. (2013)

## RESULTADOS

En los registros de precipitación diaria de la estación meteorológica Fundación FUNKE, se observaron 272 eventos de precipitación, de los cuales el 64,7% se desarrolló bajo AMC I, el 24,26% corresponden a AMC II y el 11% a AMC III.

La Fig. 2 muestra los factores que intervienen en el riesgo de erosión hídrica superficial. El uso del suelo que predomina en el área de estudio es de tipo agropecuario, con una superficie de ocupación del 51,3%, el cual se desarrolla, principalmente, sobre suelos con pendiente < 12% de GH A, B y C de infiltración alta a lenta. La cobertura natural, representada por pastizal natural con roca y pastizal serrano, se encuentra bajo presión por actividades agrícolas y crecimiento de áreas semi urbanas, por lo que ha quedado relegada a zonas con relieve fuerte a escarpado (12% >), donde dominan suelos de GH D de muy baja infiltración y, en las zonas peri e intraserranas, de GH B, considerado de filtración moderada.



**Figura 2.** a. Grupo hidrológico (GH). b. Cobertura y/o uso de suelo. c. Rangos de pendiente.



Las condiciones de infiltración – escorrentía representadas por el mapa de GH, cobertura y/o uso de suelo y su procesamiento permitió determinar el NC para las tres condiciones de humedad antecedente (ver Fig. 3). En condición seca (AMC I) se aprecia la heterogeneidad de la distribución de las unidades cartográficas en el paisaje, es así que el rango de variación es 66 con un valor máximo de 81 y un mínimo de 15, en promedio el NC del área de estudio es de 64. En condición normal (AMC II), existe un incremento en el número de curva ya que el mínimo fue 30 y el máximo 91, la variabilidad ha disminuido ligeramente ya que el rango de variación es 61, el valor promedio para toda la cuenca fue de 80. En condición húmeda (AMC III) gran parte del área de estudio tiene un NC mayor a 60, los valores de NC varían entre 50 y 96 y el promedio para toda el área es 90.

En las tres condiciones de humedad, las áreas de baja pendiente, destinadas a actividades agrícolas son las que presentan un notable incremento en el NC; mientras que las áreas de relieve escarpado muestran menor variabilidad, especialmente al cambiar de condición normal a húmeda.

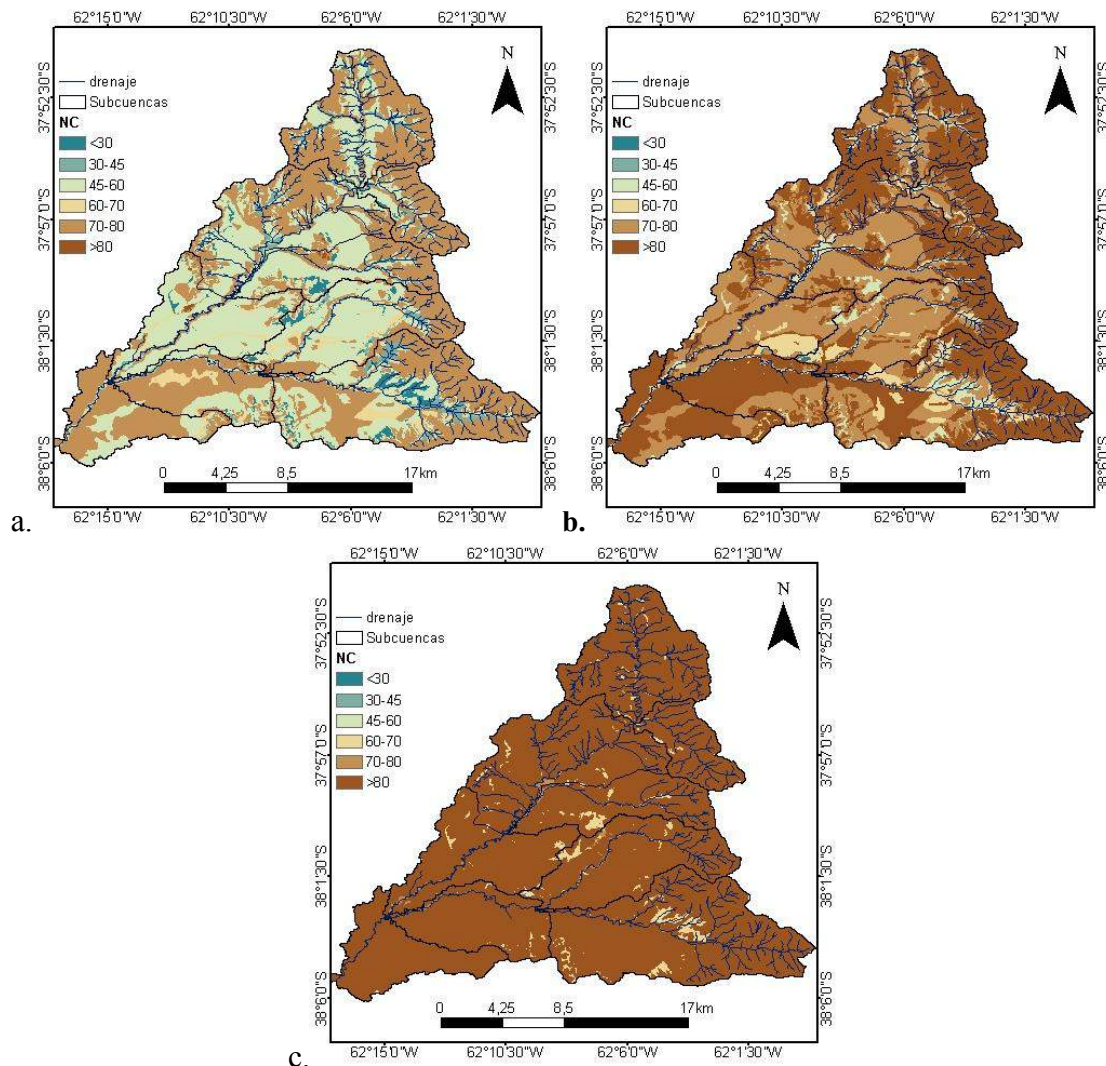
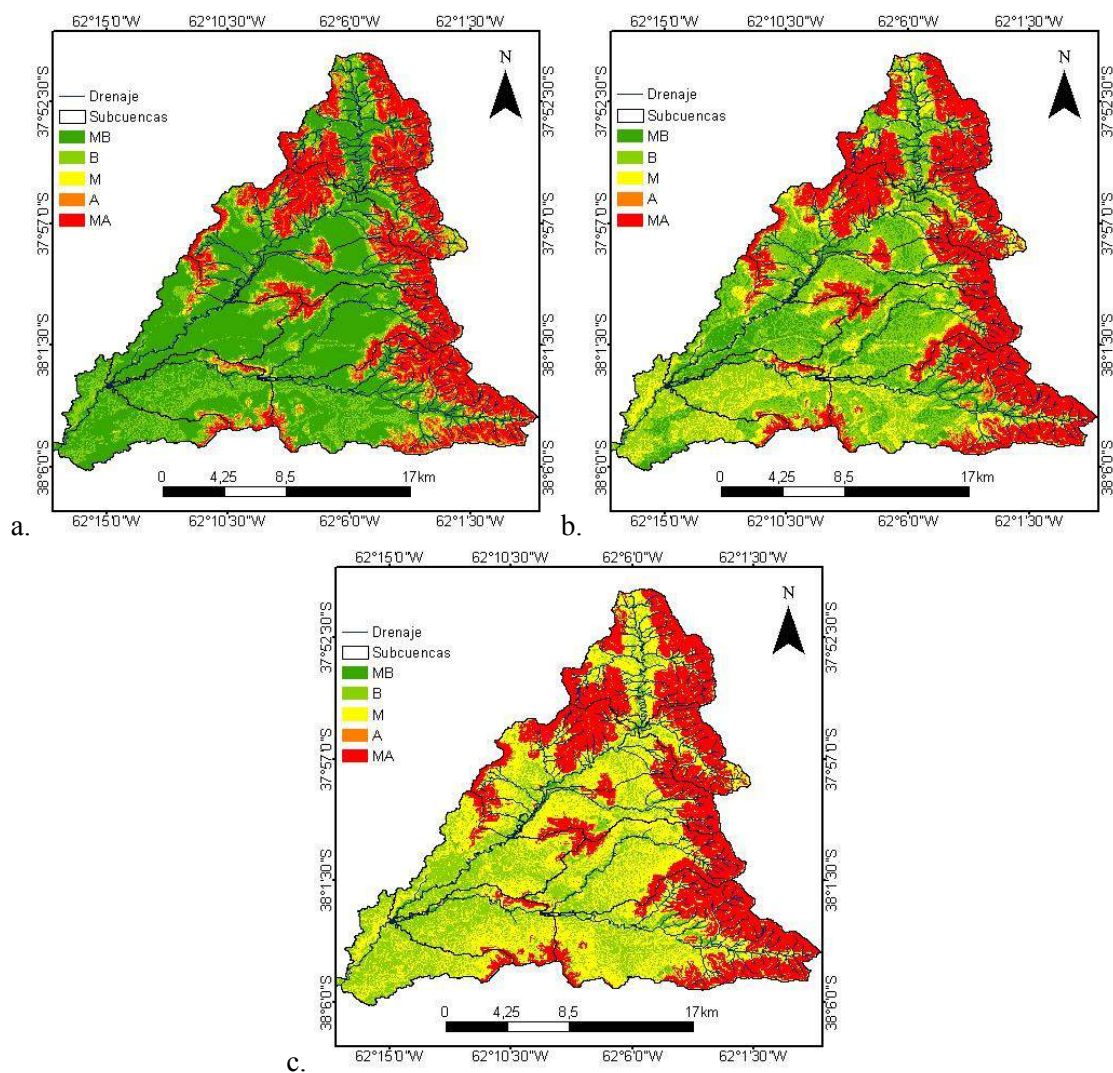


Figura 3. a. NC para AMC I; b. NC para AMC II; c. NC para AMC III.

La Figura 4, zonifica el riesgo de erosión hídrica considerando el efecto de factores físicos-ambientales, como el tipo de suelo, las prácticas de cultivo y manejo de la tierra expresados por el NC, y la distribución de pendientes sobre la cantidad de escorrentía generada por una tormenta.

La distribución del riesgo de erosión hídrica al cambiar las condiciones de humedad antecedente muestra que las zonas serranas de pendiente escarpada mantienen un muy alto gradiente de riesgo, independientemente de la condición de humedad edáfica.

El principal cambio se observa en áreas con relieve menor a 24% de pendiente, donde a medida que aumenta la humedad acumulada en la cuenca, se incrementa el riesgo de erosión hídrica, con tendencia a nivel medio en la condición III.



**Figura 4. a.** Riesgo de erosión AMC I; **b.** Riesgo de erosión AMC II; **c.** Riesgo de erosión AMC III.

La Tabla II muestra la variación de la superficie de los distintos niveles de riesgo de erosión en función de las condiciones de humedad antecedente. Como se expresó anteriormente la categoría muy alta presenta un ligero crecimiento en superficie (8%),

mientras que las categorías muy baja y baja disminuyen significativamente y se transforman en áreas con riesgo medio principalmente.

Tabla II: Superficie de ocupación del riesgo de erosión según condición de humedad antecedente.

		<b>Riesgo de erosión</b>					
	Condición de humedad	Unidad	Muy baja (MB)	Baja (B)	Media (M)	Alta (A)	Muy alta (MA)
Superficie de ocupación	I	km <sup>2</sup>	179,64	60,43	18,10	27,60	78,94
		%	49,25	16,57	4,96	7,57	21,64
	II	km <sup>2</sup>	57,72	124,54	69,68	10,53	102,28
		%	15,83	34,15	19,11	2,89	28,04
	III	km <sup>2</sup>	3,22	92,52	155,58	0,99	112,40
		%	0,88	25,37	42,66	0,27	30,82

## CONCLUSIÓN

En la cuenca alta del río Sauce Chico la topografía configura el funcionamiento del área. Las zonas de elevada pendiente (mayor a 24%) tienen muy alto riesgo de erosión hídrica independientemente de las condiciones de humedad antecedente que presenta el suelo al momento de un evento pluvial. Este escurrimiento generado es acumulado o receptado por zonas de menor pendiente, principalmente la zona media de la cuenca. Esta situación genera que el riesgo de erosión en esta zona, en condiciones de AMC I, sea bajo y que, a medida que existe acumulación de humedad, se incremente el riesgo a un nivel medio.

En este tipo de escenarios de AMC es importante el rol del complejo suelo-vegetación, que a través de su manejo y ordenamiento pueden ayudar a disminuir los efectos de la configuración natural de la cuenca.

También se debe considerar que la variabilidad pluvial, propia de una cuenca semiárida, marca los diferentes grados de riesgo de erosión hídrica y que conocer el efecto de la condición de humedad antecedente permite mejorar la predicción del escurrimiento. Además, la metodología geoespacial implementada en este trabajo complementa la detección de zonas vulnerables a la erosión hídrica superficial.

## 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. Proyectos I+D 2016. Director: Dra. Fernanda Gaspari. Acreditado. Proy. N° 11/A286. 2016-2019.



## REFERENCIAS

- Ares, M. G., Chagas, C., & Varni, M. Predicción de la escurrentía 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 de sistematización y aprovechamiento de la cuenca del río Sauce Chico* (2011).
- Gaspari, F. (2007). *Plan de ordenamiento territorial en cuencas serranas degradadas utilizando sistemas de información geográfica (S.I.G.)* (Universidad Internacional de Andalucía sede Iberoamericana Santa María de la Rábida). Retrieved from [https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/59/0031\\_Gaspari.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/59/0031_Gaspari.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Gaspari, F.J.; G.E. Senisterra; M.I. Delgado; A.M. Rodríguez Vagaría y S.I. Besteiro.. *Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas*. 1ª ed., ISBN 978- 987-05-6165-1. La Plata. 321 p (2009).
- Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Delgado, I., & Besteiro, S. *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas* (Primera ed). Editorial de la Universidad Nacional de la Plata (2013).
- Ferrér, M., Rodríguez, J. & Estrela, T. Generación automática del Número de curva con sistemas de información geográfica. *Ingeniería del agua*, 2(4),45. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/39431260\\_Generacion\\_automatica\\_del\\_numero\\_de\\_curva\\_con\\_sistemas\\_de\\_informacion\\_geografica](https://www.researchgate.net/publication/39431260_Generacion_automatica_del_numero_de_curva_con_sistemas_de_informacion_geografica) (1995).
- Frangi, J. & Bottino, O. Comunidades Vegetales de Ventana, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Plata*, 71(1), 93-113 (1995).
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA. *Cartas de suelos de la Provincia de Buenos Aires*. Recuperado de <http://anterior.inta.gov.ar/suelos/cartas/index.htm> (2018).
- La Nueva Provincia LNP. “El agua bajaba con una fuerza impresionante”, dijo un productor de Cerri. Recuperado de <https://www.lanueva.com/nota/2014-10-31-0-59-0--el-agua-bajaba-con-una-fuerza-impresionante-dijo-un-productor-de-cerri> (31/10/14).
- Ponce, V., & Hawkins, R. Runoff curve number: Has it reached maturity? *Journal of Hydrologic Engineering*, 2(3), 145–148. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(1997\)2:3\(145\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(1997)2:3(145)) (1997).
- Torrero, M. P. *Río Sauce Chico: estudio hidrográfico para un desarrollo sustentable*. Universidad Nacional del Sur (2009).
- Telefe Bahía Blanca TBB. Cerri, inundación del arroyo Sauce Chico en 1973. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=bxFJn0Foyfi> (27/02/13).