

El factor edáfico (K) y la generación de cárcavas en una microcuenca serrana. Tornquist, Argentina

Federico Javier Beron de la Puente¹, Verónica Gil², Paula Andrea Zapperi³

Resumen

El suelo es un recurso no renovable, sostén de numerosas actividades productivas. Cuando se activa un proceso de erosión hídrica ocurre una pérdida de la capa fértil del suelo y la disminución de la capacidad de retención de agua. El objetivo del presente trabajo es el análisis preliminar del factor edáfico en procesos sedimentarios asociados a la erosión hídrica en una microcuenca serrana. Para ello, se empleó el índice de erosionabilidad del suelo (factor K) y una caracterización mediante la utilización de imagen satelital y herramientas SIG. En la totalidad de la zona estudiada posee características edáficas que determinan una susceptibilidad de erosión de moderado a alto. Los valores mayores a 0,45 de Factor K según su textura comprenden casi el 70% del área y se le atribuye al carácter cohesivo de los suelos Argiustoles que poseen una tendencia a ser erosionados por la acción del impacto las gotas de lluvia junto al flujo superficial de agua; haciendo que se desprendan y sean transportados. Por otro lado, el sistema de cárcavas está catalogado como un tipo mediano con un sistema de drenaje superficial bien definido.

Palabras clave: Cárcavas, RUSLE, SIG, Cuencas

PRELIMINARY ANALYSIS OF GULLY GENERATION PROCESS, TORNQUIST, PROVINCE OF BUENOS AIRES, ARGENTINA

Abstract:

Soil is a nonrenewable resource and the support of many productive activities. When water erosion process is activated, a loss of the fertile soil layer occurs as well as a decrease in the

¹ Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur – CONICET. fedeberon@gmail.com

² Departamento de Geología y Departamento de Química, Universidad Nacional del Sur. vero.gil@uns.edu.ar

³ Departamento de Geología y Departamento de Química, Universidad Nacional del Sur. paula.zapperi@uns.edu.ar

water retention capacity. The aim of this work is a preliminary analysis of the edaphic factor in sedimentary processes associated with water erosion in a mountain micro scale basin. For this, the erodibility index of soil (K Factor) was estimated using satellite imagery and GIS tools. In the whole study area, edaphic characteristics lead to a range from moderate to high susceptibility to erosion. Values of K Factor greater than 0.45 according to soil texture comprise almost 70% of the area and are attributed to the cohesive character of Argiustole soils. This type of soil tends to be eroded by the impact of raindrops which causes it to detach and later transportation by the runoff. On the other hand, the gully system is classified as a medium type with a well-defined surface drainage system.

Keywords: Gully Erosion, RUSLE, SIG, Basin

Introducción

La erosión hídrica se la puede definir como la desagregación, transporte y sedimentación de las partículas del suelo debido al impacto de las gotas de lluvia y/o el escurrimiento superficial y subsuperficial, donde su magnitud puede verse afectada por factores climáticos, tipo de suelo, cobertura vegetal, topografía y actividades que se realizan (Ellison, 1947). Cuando la intensidad de la lluvia excede la infiltración del suelo capacidad, se produce la escorrentía. Esto puede desencadenar procesos erosivos a nivel de la superficie del suelo, generando erosión laminar, en surcos o formación de cárcavas (Goudie, 2004). La formación de una cárcava es el estado más avanzado de erosión en surcos y se presenta cuando existe una excesiva concentración de escorrentía en determinadas zonas del terreno, constituye un proceso degradativo de gran impacto en el terreno que resulta del socavamiento profundo del suelo (Chagas y Kraemer, 2018) tanto como el avance y la profundización son resultado de la interacción de factores climáticos, edáficos, geológicos e hidrológicos. Asimismo, la existencia de cárcavas es un indicativo que el terreno en el que se localizan posee algún grado de degradación del suelo.

Numerosos autores analizaron diferentes factores por los cuales se podría generar la formación de cárcavas. Según Gómez et al. (2011) la erosión en cárcavas es un fenómeno que se da bajo diversas condiciones climáticas, aunque más comúnmente en climas semiáridos y suelos con poca vegetación o uso inadecuado del terreno y aparece ligada al incremento de escorrentía. Este incremento, puede deberse a varias causas, como por ejemplo cambios en el uso del suelo, modificaciones de la red de drenaje, eventos de precipitación extremos (Nyssen et al., 2002). En la región de la Pampa Húmeda, Ares et al. (2016) realizó un análisis a nivel

de microcuenca de la interacción lluvia-escurrimiento-concentración de sedimentos permitió identificar diferentes respuestas erosivas y concluye que las distintas interacciones y respuestas de flujo laminar se deben a diferentes factores físico-ambientales que condicionan la fragilidad de las tierras asociados al tipo y magnitud del proceso erosivo en una cuenca, se relacionan con la agresividad climática, la fisiografía y las propiedades edáficas genéticas tanto texturales como mineralógicas.

Por lo tanto, a modo de síntesis, la formación y evolución de una cárcava está ligada al factor 1) climático: la intensidad, distribución estacional y probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones es el desencadenante del proceso; 2) fisiográfico: el gradiente y longitud de la pendiente, su exposición, tamaño de la cuenca de aportación inciden en su evolución; 3) edáfico: la presencia de texturas limosas y/o con arenas muy finas en el horizonte A, la reducción en el contenido de materia orgánica, la presencia de estructuras edáficas desfavorables tales como laminar y masiva en superficie, y la existencia de horizontes subsuperficiales de muy lenta permeabilidad son propiedades que favorecen el proceso y 4) acción antrópica: cambio de la cobertura vegetal y en el manejo del suelo para su explotación mediante cultivos, pasturas que pueden condicionar el grado en que la agresividad climática pueda afectar la superficie edáfica por un mal manejo del suelo (Wischmeier y Smith, 1978; Chagas et al., 1997).

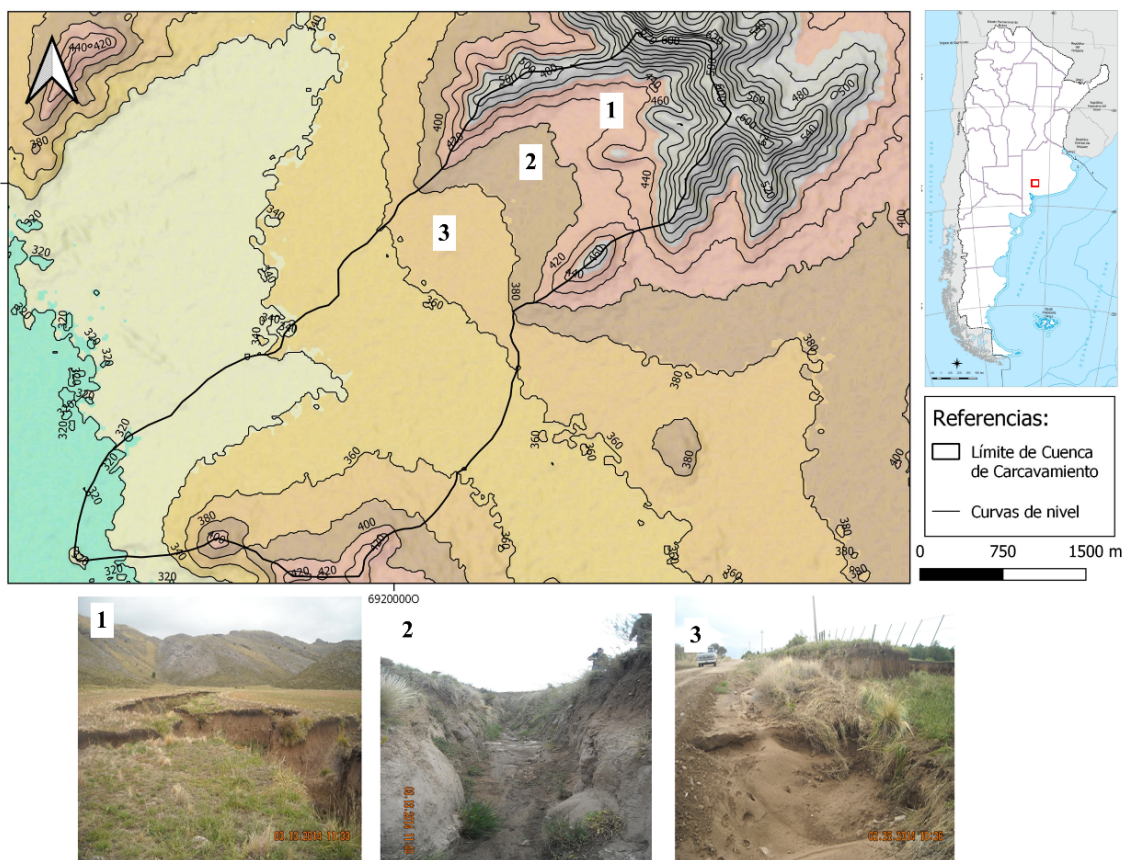
El objetivo del presente trabajo es el análisis preliminar del factor edáfico en procesos sedimentarios asociados a la erosión hídrica y a la formación de cárcavas en una microcuenca serrana. Para ello, se empleó el índice de erosionabilidad del suelo (factor K). Este índice forma parte de la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (USLE) propuesta por Wischmeier y Smith (1978) y la versión Revisada (RUSLE) de Renard et al. (1997). Asimismo, la cárcava estudiada fue caracterizada según Alves (1978) mediante la utilización de imagen satelital y herramientas SIG.

Área de Estudio

La zona de estudio está ubicada en la provincia de Buenos Aires (Argentina) y forma parte de la vertiente suroccidental del Sistema de Ventania (Fig. 1). La cuenca estudiada tiene una superficie de 11,48 km² con un gradiente longitudinal de 1,68% entre sus nacientes y el cierre de la misma. Por sus características climáticas, el área posee un clima templado en el que la sucesión de ciclos húmedos y secos, proceso característico del suroeste de la región

pampeana, se manifiesta en las variaciones interanuales de los montos de precipitación con registros extremos de 1.285 mm (1946) y 315,5 mm (1990). Cabe señalar que en este ámbito serrano la variabilidad se acentúa por la altura y la orientación de las laderas. Asimismo, estas se concentran en los meses de octubre a marzo, con el 63,7 % del total anual (Gil y Campo, 2000). En **Figura N° 1** se localizan 3 puntos de interés, los mismos constituyen un sector de la cárcava donde se puede observar la cabecera de la misma (Fig. 1.1), zona intermedia (Fig. 1.2) y el tramo final donde desemboca en el camino vecinal (Fig. 1.3).

Figura N° 1. Área de estudio



Fuente: Elaboración propia.

La cobertura vegetal es un elemento biogeográfico de relevancia en una cuenca hidrográfica ya que influye sobre la circulación vertical (evapotranspiración e infiltración) y horizontal (escorrentía). La misma actúa como agente de protección del suelo, favorece la infiltración, amortigua la energía de las gotas de lluvia e intercepta parte del agua (Romero Díaz, 1989). La vegetación nativa predominante es la estepa graminosa mientras que la vegetación herbácea varía según la altitud y las condiciones de pendiente y exposición en que se encuentran las laderas (Kristensen y Frangi, 1995; Lizzi, 2007).

En cuanto a las características edáficas, los Molisoles son los más representativos de la región. El loess es el material original predominante y los regímenes de humedad y temperatura son factores que favorecieron su formación. Estos suelos se han desarrollado generalmente bajo vegetación de pradera y en climas que presentan una moderada a pronunciada deficiencia de humedad estacional (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria –INTA–, 1989). Los Subórdenes que están presentes en el suroeste de la provincia son los Udoles, Ustoles y Acuoles. Los dos primeros son suelos zonales localizados en las partes altas donde el relieve es ondulado o suavemente ondulado y de buen drenaje. En tanto, los Acuoles, aparecen con mayor frecuencia en terrenos planos y bajos, con escurrimiento dificultoso (INTA, 1989).

El área de estudio se encuentra ocupada por el suborden de los Ustoles y donde se diferencian los subgrupos de Argiustoles, Haplustoles y complejo de afloramientos rocosos. Son suelos de morfología bien diferenciada, de color pardo a pardo oscuro y textura franco arcillosa. En el caso del Subgrupo Argiustol típico comprende los suelos que se encuentran en lomas y pie lomas del pedemonte ondulado de las sierras de Ventania. Los perfiles son bien desarrollados en el Horizonte A. y son susceptibles a ser removidos por erosión hídrica. El Grupo Haplustol define un suelo pardo oscuro, que se caracteriza por su escasa profundidad, se apoya sobre una costra calcárea de extensión regional. Apto para la agricultura, y se encuentra en una planicie alta de la Subregión Sierras y Pedemonte de Ventania, en posición de loma, con pendiente de 0 a 1 %, bien drenado, formado sobre sedimentos loésicos pampeanos, no salino y sin alcalinidad.

Materiales y métodos

Para la caracterización de la cárcava de estudio se utilizó el modelo digital de elevación (DEM) brindado por la imagen satelital obtenida por el satélite ALOS PALSAR, con una resolución 12,5 m. En primer término, para reconocer el sistema de drenaje superficial se empleó la herramienta Hydrology del software SAGA 2.3.2, esto permitió identificar las áreas de concentración del flujo laminar. Por otra parte, a través de la observación de imágenes satelitales provistas por Google Earth se verificó la localización del proceso de cárcavamiento dentro del área de estudio. En función de la pendiente y de la longitud de la ladera del terreno, el flujo concentrado de agua provoca el aumento de las dimensiones de los surcos formados inicialmente, hasta transformarse en grandes zanjas llamadas cárcavas. Según Alves (1978), a los efectos de evaluación práctica en el campo, las cárcavas pueden clasificarse en relación a

la profundidad como: 1) cárcavas pequeñas: cuando tienen menos de 2,5 m de profundidad; 2) cárcavas medianas: cuando tienen de 2,5 a 4,5 m de profundidad y 3) cárcavas grandes: cuando tienen más de 4,5 m de profundidad.

Además, las cárcavas se pueden agrupar en continuas y no continuas. Las primeras conforman un sistema de drenaje superficial bien definido. Tienen una cárcava principal en la que confluyen las cárcavas secundarias conformando un sistema de drenaje o varios sistemas de drenaje. Las segundas, se presentan en forma aislada y son provocadas por los movimientos en masa de un terreno o por la concentración de escurrimiento en una ladera, pero no conforman un sistema de cárcavas, sino que están aisladas. Generalmente la descarga de los escurrimientos, se presenta en áreas planas y la cárcava tiende a desaparecer.

El Factor K es un índice que expresa la erosionabilidad del suelo y se determinó mediante el método de Whischmeier y Smith (1978). El cálculo de dicho parámetro incluye datos de textura, estructura, contenido de materia orgánica del horizonte superficial y permeabilidad del suelo. Para su determinación se recurrió a los mapas de suelos de la provincia de Buenos Aires 1:500.000 y mapa digitalizado del Visor GeoINTA 1:50.000.

También se consultaron los datos publicados por el INTA (1989) donde se detallan los dominios y las unidades taxonómicas de suelos con los datos de textura, estructura y los porcentajes de arcilla, limo y arena necesarios. A continuación, se expone la fórmula utilizada para el cálculo del parámetro de erosionabilidad del suelo (1).

$$Factor K = \frac{[0,0001 \times 2,71 \times M^{1,14} \times (12-a) + 4,20 \times (b-2) + 3,23 \times (c-3)]}{100} \quad (1)$$

Donde $M = (100 - \% \text{ Arcilla}) \times (\% \text{ Limo} + \text{Arena fina})$

a=% MO

b=Estructura

c=Permeabilidad

Para la permeabilidad y estructura del suelo se utilizaron las tablas de valores del código United States Department of Agriculture (USDA) de forma cualitativa a partir de los datos de perfil de la serie de suelos del INTA (1989) (Tabla N°1).

Tabla N° 1. Valores del código USDA para Estructura y Permeabilidad

Estructura				Permeabilidad		
Grado	Forma	Tamaño	Código USLE	Textura	Clase de permeabilidad	Código USLE
Sin estructura		Muy Fina	4	Franco - Arenosa	Medianamente Rápida	2
Débil	Granular	Media	3	Franca	Moderada	3
	Bloqueangulares	Media	3	Franco - limosa		
Moderada	Granular	Muy Fina	1	Franco - arcillo - limosa		
		Fina	2	Franco - arcillo - arenosa		
		Media	2	Franco - arcillosa	Moderadamente lenta	4
	Bloquesubangulares	Muy Fina	2	Arcillosa	Lenta	5
		Media	2			
		Bloqueangulares		2		
Fuerte	Granular		2			
	Bloqueangulares		2			

Fuente: USDA (1951).

Se generó una base de datos para cada suelo dominante con la descripción física del primer horizonte de suelo sobre la base de la publicación del INTA (1989). En función de los requerimientos de la fórmula, se tabularon los valores de permeabilidad, estructura, materia orgánica y textura. Posteriormente se comprobó la susceptibilidad del suelo según la textura según la tabla valores de Soil and Water Conservation Society (1995) (Tabla N°2).

Tabla N° 2. Valores K según la textura del suelo

Textura	Factor K	Grado	Motivo
Finas (alto contenido de arcillas)	0,05 – 0,15	Bajo	Resistencia al desprendimiento
Gruesas (arenosos)	0,15 – 0,25	Bajo	Escaso escurrimiento
Medias (francos)	0,25 – 0,45	Moderado	Moderada susceptibilidad al escurrimiento
Limosas (alto contenido de limo)	0,45 – 0,65	Alto	Alta susceptibilidad a la erosión

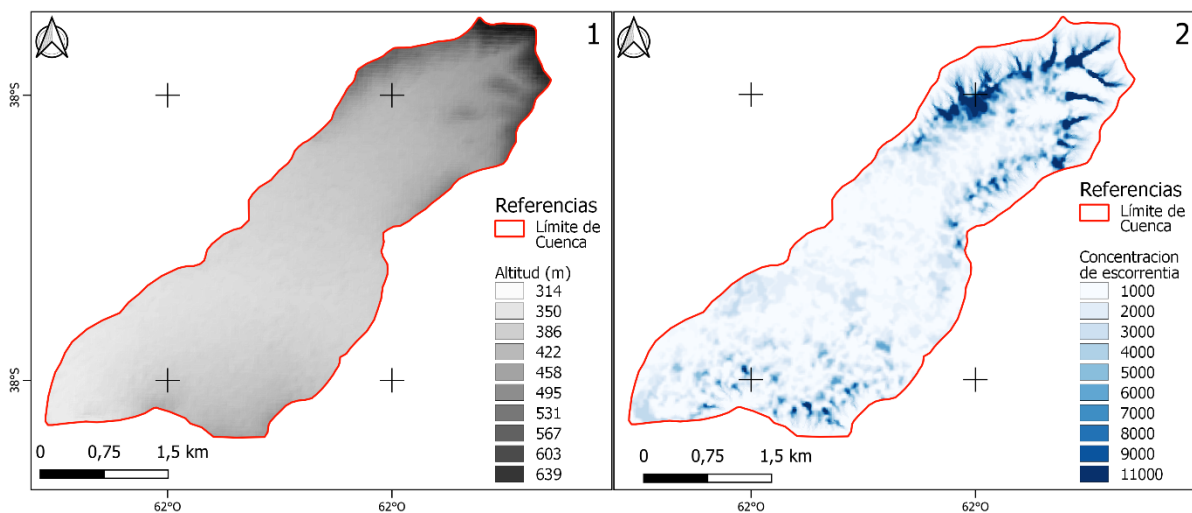
Fuente: Soil and Water Conservation Society (1995).

Resultados y discusión

Caracterización de la cárcava estudiada

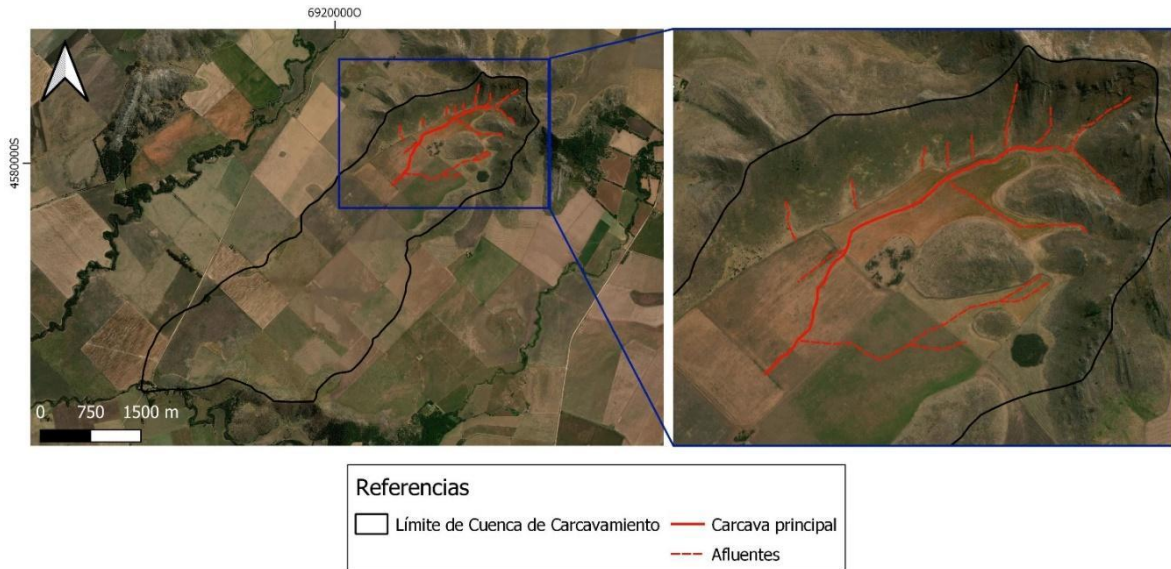
Según la caracterización de Alves (1978) la cárcava ubicada en el área de estudio se clasifica como una cárcava mediana de una profundidad mayor a 2 m y de tipo continua. Su disposición lineal sigue el sentido de la pendiente noreste-suroeste. A su vez, en este sector el gradiente del terreno asciende a 2,88 % en comparación con el desnivel general de la microcuenca que es de 1,68 %. El DEM presentado en la **Figura N° 2** permite identificar las diferencias en el relieve (Fig. 2.1) que generan, por un lado, áreas de escurrimiento y por otro, áreas de concentración de la escorrentía. Así mismo, la simulación obtenida mediante Hydrology del software SAGA (Fig. 2.2) muestra zonas en donde hay concentración de flujo superficial (azul más oscuro). Este es el sector donde el escurrimiento que llega desde las laderas se acumula y da origen al proceso de carcavamiento. Se define entonces que luego de eventos de precipitación se activa un sistema de drenaje superficial bien definido (Fig. 3) y este se estructura en función de una cárcava principal, de aproximadamente 2 km de largo y que recibe el aporte de los afluentes que confluyen hacia la misma.

Figura N° 2. Modelo digital de elevación (DEM) (izq) y concentración de escorrentía (der)



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 3. Sistema de Cárcava

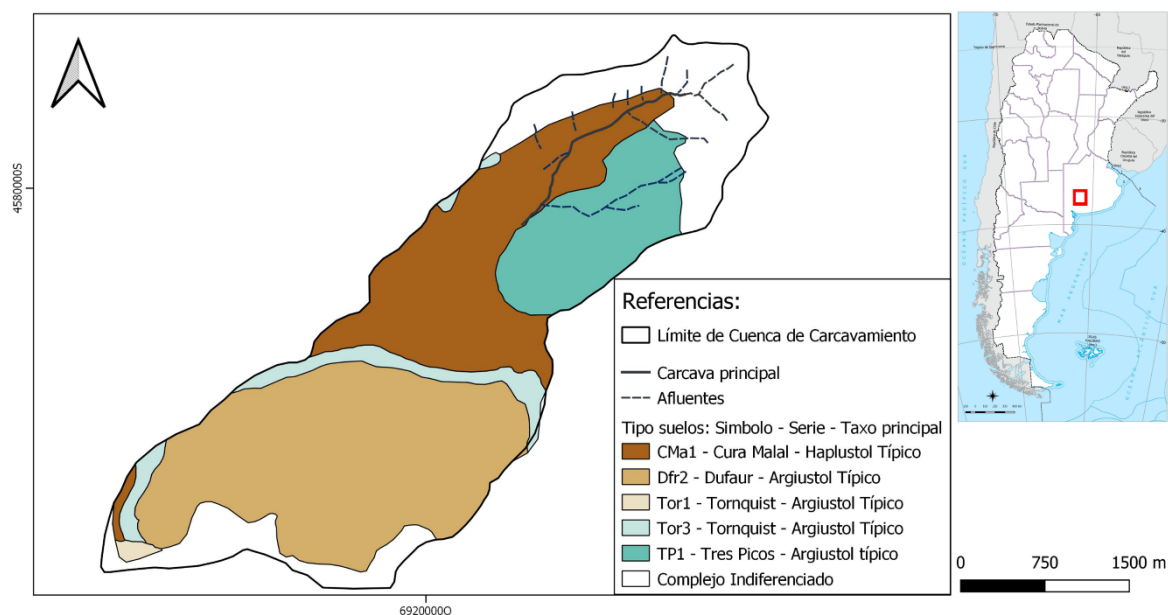


Fuente: Elaboración propia a partir la digitalización de la red de drenaje en el Google Earth.

Cálculo del Factor K

Para la organización de las características edáficas que deben considerarse en el cálculo del Factor K se estructuró el grupo y subgrupo de suelo según las distintas series identificadas en la cuenca estudiada (Fig. 4). Cabe señalar que, al implementar las distintas fórmulas con la información extraída de cada capa, la distribución espacial de las mismas es fundamental para el cálculo de los distintos parámetros. En la **Figura N° 4** se observa la disposición de los subgrupos de suelo en la totalidad del área de estudio. Además, se encuentra un grupo de superficie no diferenciada que son afloramientos rocosos el cual no serán considerados para el cálculo del Factor K.

Figura N° 4. Tipos de suelos



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N° 3 se detallan las características que son necesarias para evaluar la susceptibilidad a la erosión según el tipo de suelo.

Tabla N° 3. Principales características físicas de las series de suelos

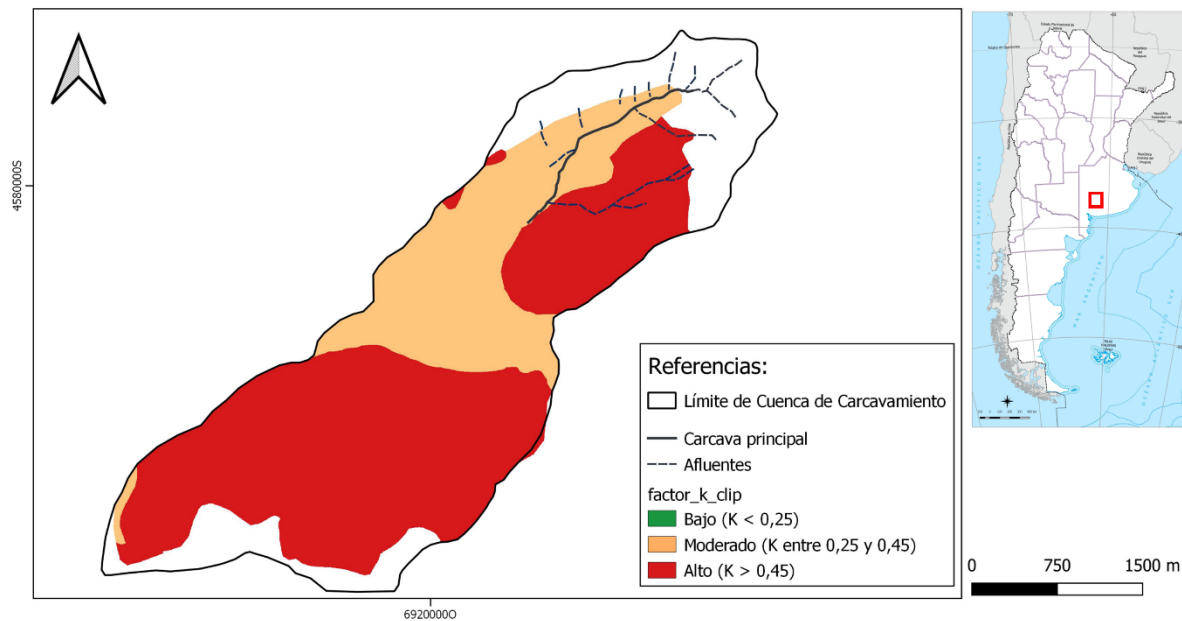
Serie	Textura horizonte superficial	Estructura horizonte superficial	Drenaje	Permeabilidad
Cura Malal	Franco arcilloso	Bloques subangulares	moderadamente bien drenado	Moderadamente lenta
Dufaur	Franca fina	Bloques subangulares medios	moderadamente bien drenado	Moderada
Tornquist	Franca	Bloques angulares	moderadamente bien drenado	Moderada
Tres Picos	Franca	Bloques subangulares	bien drenado	Moderada

Fuente: Elaboración a partir los datos publicados por el INTA (1989)

Según los criterios de la Tabla N° 3, se elaboró el siguiente mapa mostrado en la **Figura N° 5** representa la susceptibilidad de los suelos a la erosión según la textura. No se encuentran valores de erosión dentro de la categorización de Nivel Bajo ya que no hay correspondencia a aquellos suelos de texturas finas. Por otro lado, los suelos francos con mayor porcentaje de

contenido de arena, son más susceptibles a ser erosionados por el tamaño granular y su textura. Dando como resultado valores de susceptibilidad moderada a la erosión los suelos Haplustol típico. Los suelos de este tipo conforman alrededor del 30,53% de la superficie total. Y los suelos Argiustol típico son lo que mayor valor del Factor K dio (mayores a 0,45). Este tipo de suelos conforman más del 69,47% de la superficie estudiada.

Figura N° 5. Resultado Factor K



Fuente: Elaboracion propia.

En la totalidad de la zona estudiada posee características edáficas que determinan una susceptibilidad de erosión de moderado a alto. Los valores mayores a 0,45 de Factor K según su textura comprenden casi el 70% del área y se le atribuye al carácter cohesivo de los suelos Argiustoles que poseen una tendencia a ser erosionados por la acción del impacto las gotas de lluvia junto al flujo superficial de agua; haciendo que se desprendan y sean transportados. Por otro lado, el sistema de cárcavas está catalogado como un tipo mediano con un sistema de drenaje superficial bien definido.

Gaitán et al. (2017) estiman la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina y demuestra que los suelos con un Factor K mayor a 0,40 representan el 22,3 % del territorio nacional y se concentran en las provincias de Santa Fe, Córdoba, Formosa, Chaco, Buenos Aires y Entre Ríos. En este marco, el área estudiada queda incluida dentro de los sectores de la provincia que presentan un rango de valores que varía entre 0,40 – 0,50. Asimismo, si se compara con otros estudios sobre cuencas vecinas también se advierte una similitud de los

valores. Precisamente Berón de la Puente et al. (2017) encontraron para la cuenca alta del arroyo Napostá Grande (con nacientes en el Sistema de Ventania) que los suelos Argiustol típico se asocian con valores del Factor K mayores a 0,45. Hacia el límite este del área de estudio Gaspari et al. (2009), que estudiaron la erosión hídrica en la cuenca del arroyo Ventana, evidenciaron la influencia del cambio de cobertura y de la pendiente sobre la dinámica de la erosión hídrica superficial. Es importante recalcar que al tratarse de áreas serranas el factor topográfico toma preponderancia a la vez que la preparación del suelo para el cultivo también gana significancia como factor desencadenante de procesos erosivos. Paralelamente, si se considera que la aridez es otro aspecto propio de los ambientes con pérdida de suelo por erosión hídrica (Gaitán *et al.*, 2017) las características climáticas del área se corresponden con las de un clima semiárido, lo que potencia los efectos de las precipitaciones intensas en el área. Al respecto, Berón de la Puente et al. (2018) han calculado para la cuenca vecina del arroyo Napostá Grande la capacidad total de erosividad de las lluvias, la cual se encuentra dentro de un rango moderado.

En este contexto, la formación de cárcavas en el sector estudiado es una muestra clara del desarrollo de procesos erosivos en donde las características naturales se conjugan con las prácticas productivas. Este hecho no es único en la zona, sino que, este tipo de erosión hídrica (surcos y cárcavas) se están desarrollando en zonas adyacentes donde se conjugan ciertas semejanzas. Según Beron de la Puente et al. 2021, se dan principalmente en la zona del piedemonte serrano, con grupos de suelos de características similares al área de estudio, una actividad económica relacionada a la agricultura y ubicada geográficamente en la vertiente oeste del cordón Sierra de la Ventana. Es por ello, que contar con la sectorización de sus efectos, en términos de erosionabilidad del suelo, es un punto de partida fundamental para guiar las acciones tendientes a revertir o mitigar los procesos erosivos ya iniciados en áreas en donde el suelo es la principal actividad productiva.

Conclusiones

Si bien en este trabajo preliminar se abordó uno de los factores que contribuyen a la formación de cárcavas, es importante señalar que este proceso se ve favorecido por una combinación de lluvias excesivas y manejos no conservacionistas de las tierras, sobre áreas con características edáficas susceptibles a la erosión. Por este motivo un análisis previo permite reconocer en detalle el posible origen de la cárcava y cuáles serían las medidas de

control que debieran emplearse. Este tipo de información es fundamental para elaborar planes de manejo en zonas de producción.

Las prioridades de investigación deberían incluir por un lado la generación de modelos que predigan los fenómenos de erosión subsuperficial y, por otro lado, investigar las causas por las cuales no hay suficiente adopción de prácticas de control por parte de los productores. De este modo la evaluación de la susceptibilidad de los suelos por la erosión hídrica nos brinda información útil para aplicar herramientas de conservación y una mejor gestión del recurso en su explotación productiva.

Agradecimientos

El presente trabajo se desarrolló en el marco del PGI Geografía física aplicada al estudio de la interacción sociedad-naturaleza. Problemáticas a diversas escalas temporo-espaciales (24/ZG78) financiado por la SGCyT (UNS).

Bibliografía

- Alves, C.S. (1978). Controle e estabilização de voçorocas. Trigo e Soja. *Boletim Técnico FECOTRIGO*, 37, 6-9.
- Ares, M.G., Bongiorno, F., Holzman, M., Chagas, C.I., Varni, M. y Entraigas, I. (2016). Water erosion and connectivity análisis during a year with high precipitations in a watershed of Argentina. *Hydrology Research*, 47(6), 1239-1252.
- Berón de la Puente, F., Gil, V. y Zapperi, P. (2017). *Estimación de la pérdida del suelo por erosión hídrica*. En Actas VI Congreso Nacional del Geografía de Universidades Públicas. Facultad de Humanidades de la Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia, Argentina.
- Berón de la Puente, F., Zapperi, P. y Gil, V. (2018). *Estimación de la agresividad de precipitaciones de la cuenca alta del arroyo Napostá Grande (provincia de Buenos Aires)*. En Actas de las XII Jornadas Nacionales de Geografía Física Argentina. Universidad Nacional de Patagonia San Juan Bosco y Red Argentina de Geografía Física. Trelew, Argentina.
- Berón de la Puente, F. (2021). *Información Geoespacial aplicada a la erosión hídrica en la cuenca del arroyo Napostá Grande*. [Tesis de grado inédita]. Departamento de Química, Universidad Nacional del Sur.
- Chagas, C.I., Marelli, H.J., Gróttola, M.C. y Riezim E.A. (1997). Influencia del uso de la tierra sobre la erosión entre surcos en un Argiudol típico de Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 17(3), 333-340.
- Chagas, C. y Kraemer, F. (2018). *Esguerramiento, erosión del suelo y contaminación de los recursos hídricos superficiales por sedimentos asociados a la actividad extensiva: algunos elementos para su análisis*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- Ellison, W. D. (1947). Soil detachment hazard by raindrop splash. *Agricultural Engineering*, 27, 197-201.
- Gaspari, F. J., Delgado, M. I. y Senisterra, G. E. (2009). Simulación espacio-temporal de la erosión hídrica superficial en una cuenca serrana bonaerense. Argentina. *Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 9(3), 67-82.
- Gaitán, J. J., Navarro, M. F., Tenti Vuegen, L. M., Pizarro, M. J. y Carfagno, P. (2017). *Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina*. Ediciones INTA.
- Gil, V. y Campo, A. (2000). *Cuenca del Arroyo del Oro: Características hidrográficas y los efectos sobre la población*. En Actas III Jornadas de Geografía Física, Universidad del Litoral, 153-159.

- Gómez, A., Schnabel, S., Lavado, F. (2011). Procesos, factores y consecuencias de la erosión por cárcavas; trabajos desarrollados en la Península Ibérica. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 55, 59-80.
- Kristensen, M. y Frangi, J., 1995. La Sierra de la Ventana. Una isla de biodiversidad. *Ciencia Hoy*, (30).
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). (1989). Mapa de Suelos de la provincia de Buenos Aires. Escala 1:500000. Buenos Aires. 525 pp.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (2017). Visor GeoINTA. Recuperado de <http://geointa.inta.gov.ar/web/>
- Lizzi, J.M; Garbulsky, M. F.; Golluscio, R. A. (2007). Mapeo indirecto de la vegetación de Sierra de la Ventana, provincia de Buenos Aires. *Ecología Austral*, 17(2), 217-230.
- Nyssen, J., Poesen, J., Moeyersse, J., Luyten, E., Veyret Picot, M., Deckers, J., Haile, M. y Govers, G. (2002). Impact of road building on gully erosion risk: A case study from the Northern Ethiopian Highlands. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27(12), 1267-1283.
- Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool, y Yoder, D.C. (1997). *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Agricultural Handbook N° 703. Washington D.C.: U.S. Department of Agriculture. Recuperado de https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/64080530/rusle/ah_703.pdf
- Romero Díaz, M.A. (1989). *Las cuencas de los ríos Castril y Guardal (cabecera de Guadalquivir)*. [Tesis doctoral inédita]. Universidad de Murcia.
- Soil and Water Conservation Society (SWCS). (1995). *RUSLE, User Guide, Version 1.04*. Iowa, Estados Unidos.
- United States Department of Agriculture (USDA) (1951). *Soil survey manual*. Agricultural Handbook N° 18. Washington D.C.: United States Department of Agriculture 503 pp.
- United States Department of Agriculture (USDA) (1999). *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*, Agricultural Handbook N° 436. Washington D.C.: United States Department of Agriculture. Recuperado de https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051232.pdf
- Wischmeier, W. H. y Smith, D.D. (1978). *Predicting rainfall losses: A guide to conservation planning*. Agricultural Handbook N° 537. Washington D.C.: United States Department of Agriculture. Recuperado de <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>