

ESCURRIMIENTO, PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS Y ELEMENTOS ASOCIADOS EN DISTINTOS AMBIENTES DE LA PAMPA ONDULADA

Darder, M.L.¹; Castiglioni M.G.²

¹ EEA INTA Pergamino, Ruta 32 km 4,5 Pergamino, Buenos Aires. darder.maria@inta.gob.ar;

² Cátedra Manejo y Conservación de Suelos, FAUBA, Av. San Martín 4453 CABA. castigli@agro.uba.ar;

RESUMEN

En la Pampa Ondulada, las distintas posiciones del paisaje presentan suelos con diferentes propiedades y una disímil fisiografía. El coeficiente de escurrimiento (CE), la producción de sedimentos (SE) y de elementos asociados (EA) puede variar en el paisaje, siendo necesario su estudio para la implementación de prácticas adecuadas en cada posición. El objetivo fue analizar la distribución espacial del CE, SE y EA, en suelos de la cuenca alta del arroyo Pergamino (Buenos Aires). Se realizaron simulaciones de lluvia en la posición de loma (L) y media loma (ML), y dentro del plano de inundación del arroyo, franjas angosta, media y ancha respecto al curso de agua (Ang, Me y An, respectivamente). La lluvia se aplicó sobre material vegetal vivo o rastrojos. Los parámetros analizados fueron: CE, SE y EA (carbono (Cse), nitrógeno total (Ntse) y fósforo total (Ptse)), estudiando su vinculación con otras variables edáficas superficiales. Ang fue la posición en el paisaje con mayor CE (80 %), seguido por An (68 %), Me (59 %), ML (44 %) y L (30 %). SE fue mayor en Ang (4512 kg ha⁻¹) lo mismo que los EA de dicho sitio (Ntse 6 kg ha⁻¹, Cse 56 kg ha⁻¹ y Ptse 2 kg ha⁻¹), presentando las restantes posiciones del paisaje valores menores para estos parámetros. El coeficiente de variación fue distinto de acuerdo al sitio y a la propiedad evaluada, oscilando entre el 13 % y el 119 %, siendo este mayor en L (entre 65 % y 119 %) y en SE (entre 44 % y 119 %). De acuerdo a los resultados observados, el sector más cercano al curso de agua presenta mayor riesgo de contribuir al arroyo Pergamino con excedentes hídricos, SE y EA, por lo que sería importante desarrollar estrategias en dicho sitio para la preservación del agua.

Palabras clave: erosión hídrica, infiltración, posición en el paisaje

SUMMARY

Runoff, sediment production and associated elements in different environments of the Pampa ondulada.

In the Pampa Ondulada, the different andscape positions present soils with different properties and a dissimilar physiography. The runoff coefficient (CE), the sediment production (SE) and associated elements (EA) may vary with the characteristics of the landscape, being its study necessary for the implementation the most appropriate practices in each of them. The objective was to analyze the spatial distribution of CE, SE and EA, in soils corresponding to the upper basin of the Pergamino stream (Buenos Aires). Rainfall simulations were carried out on soils located in a knoll (L) and mid-knoll (ML) position, and within floodplain of the stream, narrow, medium and wide strips with respect to the watercourse (Ang, Me and An, respectively). The simulated rain was applied on living plant material or stubble. The parameters analyzed were: CE, SE and EA (carbon (Cse), total nitrogen (Ntse) and total phosphorus (Ptse)), studying their relationship with other surface edaphic variables. Ang was the landscape position with the highest CE (80 %), followed by An (68 %), Me (59 %), ML (44 %) and L (30 %). SE was higher in Ang (4512 kg ha⁻¹) as well as the

EA of these place (Ntse 6 kg ha⁻¹, Cse 56 kg ha⁻¹ and Ptse 2 kg ha⁻¹), presenting the remaining landscape positions values lower for these parameters. The coefficient of variation was different according to the site and the property evaluated, ranging between 13 % and 119 %, being higher in L (between 65 % and 119 %) and in SE (between 44 % and 119 %). According to the results observed, the sector closest to the water course is the one that presents the greatest risk to contributing with water excess, sediments and associated elements to the Pergamino stream. According to the results observed, the sector closest to the water course presents a greater risk of contributing to the Pergamino stream. Thus, it is important to develop strategies in these place for the preservation of this stream.

Keywords: rainfall erosión, infiltration, landscape position.

Introducción

El suelo constituye uno de los componentes fundamentales de los ecosistemas terrestres, que conjuntamente con la biodiversidad y el clima, establecen su calidad. La generación de información edáfica da sustento a la evaluación y al manejo de las tierras (Backhaus *et al.*, 2002; Hennings, 2002). La relación entre el uso de la tierra, su degradación y la producción de alimentos merece especial atención en la agricultura y particularmente en el funcionamiento global del ambiente (Pimentel *et al.*, 1995; King, 2007). Aproximadamente el 85 % de las tierras agrícolas del planeta están afectadas por erosión, salinización y compactación, entre otros procesos de degradación (Walker y Salt, 2006). En Argentina se estima que actualmente existen 64,6 millones de hectáreas afectadas por erosión, de las cuales el 32 % presenta grado severo/grave (Casas y Albarracín, 2015; Panigatti, 2015). En la región pampeana y especialmente en la subregión Pampa Ondulada, la erosión hídrica es uno de los procesos de degradación de las tierras más relevantes (Michelena *et al.*, 1989). Considerando solo las Provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Entre Ríos, cerca de 14 millones de hectáreas están afectadas por erosión hídrica entre moderada y ligera, mientras que otras 500 mil presentan un grado de erosión severo (Casas y Albarracín, 2015).

Honorato (2000) señala que los procesos

erosivos se caracterizan por ser relativamente lentos, intermitentes y recurrentes en el tiempo, ya que están asociados a la ocurrencia de lluvias con determinadas características o a tormentas de viento de particular intensidad. Son a la vez progresivos, ya que se va perdiendo el suelo superficial. Esto significa que se trata de procesos irreversibles y su recuperación es a menudo imposible. La erosión hídrica es iniciada por el impacto de la gota de lluvia que moviliza sedimentos livianos, partículas poco densas y de escaso tamaño (agregados muy pequeños, limos, arcilla y coloides orgánicos). Los sedimentos transportados como resultado de este proceso, pueden generar contaminación, a partir de las sustancias químicas que quedan adsorbidas a las partículas transportadas (Nearing *et al.*, 1991; Ongley, 1996; Lavado y Zubillaga, 2008). Dicha pérdida transforma a los agrosistemas en dependientes de dosis crecientes de fertilizantes y, por otro lado, en potencialmente contaminantes de los cursos de aguas superficiales. El incremento en los niveles de nitrógeno y fósforo en los cuerpos de agua, da como resultado su eutrofización. Asimismo, el transporte de fertilizantes y plaguicidas, que también puede darse mediante este proceso erosivo, puede arrastrar numerosos elementos traza como metales pesados (Gimeno Garcia *et al.*, 2001; Andrade *et al.*, 2005). Adicionalmente y como consecuencia del proceso erosivo, al producirse la rotura de los agregados en

sus constituyentes primarios, el carbono asociado a las partículas de arcilla puede ser más fácilmente liberado como dióxido de carbono, incrementando su concentración en la atmósfera (Morgan, 2005).

Debido al aumento progresivo en el uso de agroquímicos y a la expansión de la frontera agrícola (Paruelo *et al.*, 2005), existe una necesidad creciente de identificar los elementos del paisaje que más contribuyen a la contaminación de las aguas superficiales, para aplicar prácticas de manejo capaces de reducir las cargas de contaminantes a niveles aceptables. Una forma de expresar la degradación por erosión hídrica es por medio de la relación entre la concentración de un componente en el sedimento erosionado y la concentración de ese mismo componente en la matriz del suelo original, la cual se denomina coeficiente de enriquecimiento (CE) (Sharpley, 1985 y 1995). Las distintas posiciones del paisaje presentan suelos con diferentes características y una disímil fisiografía. Por lo tanto, la respuesta hidrológica, el CE, la producción de sedimentos y de elementos asociados, su variabilidad y vinculación con otras características edáficas, puede cambiar entre los distintos ambientes que conforman el paisaje.

El arroyo Pergamino está situado en el norte de la provincia de Buenos Aires, siendo un arroyo típico de la Pampa Ondulada. La cuenca perteneciente a este curso de agua, experimentó en las últimas décadas las consecuencias del crecimiento de la producción agrícola. Este arroyo se presenta erosionado y desgastado, incorporando a su caudal gran cantidad de partículas, arcilla y material calcáreo, aumentando aguas abajo el contenido de arena (CESA, 2004). Dentro de la cuenca del Arroyo Pergamino se han realizado algunos estudios de agua superficial y subterránea. Los mismos han mostrado una disminución de su calidad, revelando concentraciones de elementos que superan algunos umbrales para diferentes usos (Galindo *et al.*, 2007; Reynoso *et al.*, 2009).

El objetivo de este trabajo fue analizar la distribución espacial del coeficiente de

esgurrimento, la producción de sedimentos y de elementos asociados, en suelos de distintas unidades de paisaje de la cuenca alta del arroyo Pergamino (Buenos Aires), analizando la variabilidad de estos parámetros y su vinculación con otras características edáficas superficiales.

Materiales y métodos

Área de estudio

El área de estudio se ubica al norte de la provincia de Buenos Aires, en la cuenca alta del arroyo Pergamino, abarcando una superficie aproximada de 110 km² (Figura 1). Los suelos del sector alto del paisaje son Molisoles, no presentan limitaciones dentro del perfil, pueden alcanzar hasta 2 m de profundidad y con un alto almacenamiento de agua. Estos suelos se han desarrollado sobre materiales loésicos con distinta granulometría, según el área de deposición considerada. En las lomas predominan los Argiudoles típicos, familia fina illítica térmica (serie Pergamino) (INTA, 1972) con textura franco limosa, excepto el horizonte argílico (B textural), que presenta más del 35 % de arcilla, con textura franco arcillo limosa y permeabilidad lenta, con pendientes de 0,07 %. En las medias lomas se ubican complejos conformados por distintas fases por erosión de la serie Pergamino (INTA, 1972), con pendientes de 0,96 %. En las posiciones bajas del paisaje, los suelos forman asociaciones y complejos muy heterogéneos, que contienen proporciones variables de los suelos encontrados en las tierras altas, entremezclados con Alfisoles salinos y alcalinos, típicos de los bordes del arroyo (INTA, 1972), con pendientes del 0 al 1 %, aumentando su grado cerca del curso de agua hasta llegar al 2 %. En general, estos complejos ubicados en las posiciones bajas, son imperfectamente drenados y se usan predominantemente para ganadería, siendo sus principales limitaciones la alcalinidad, el exceso de agua y cierto grado de erosión.

Determinaciones realizadas

Los datos de simulaciones de lluvia, se obtuvieron a partir de estudios realizados

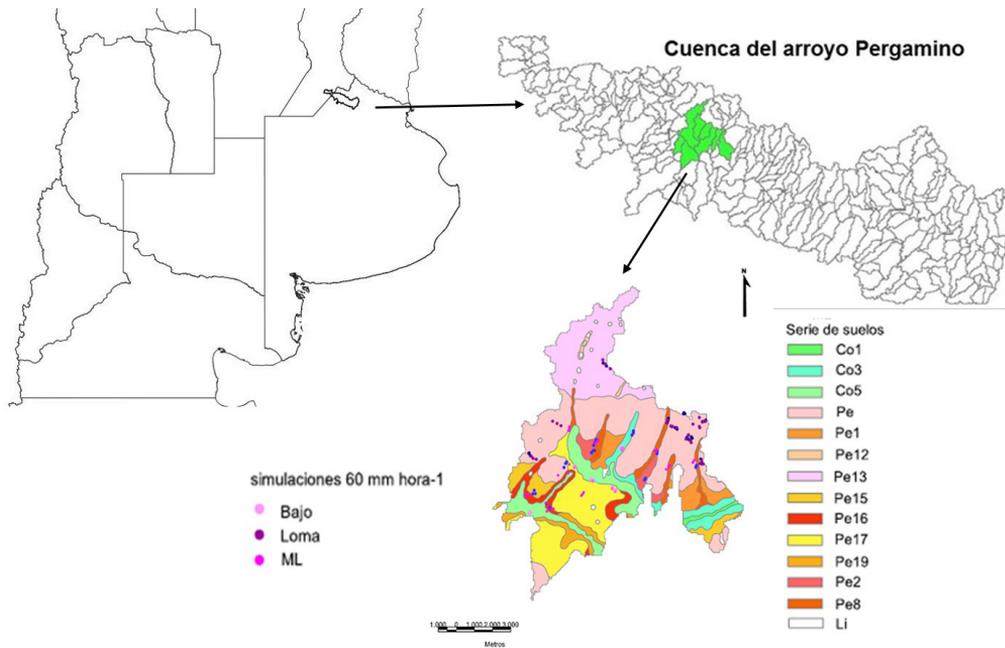


Figura 1. Ubicación de la cuenca alta del arroyo Pergamino y detalle de las unidades cartográficas de suelo analizadas.

sobre suelos bajo uso agrícola situados en posición de loma (L) y media loma (ML), y sobre suelos en producción ganadera ubicados en el plano de inundación del arroyo Pergamino. En este último caso se consideraron tres franjas, con incrementos en su distancia al curso de agua: angosta (0 a 6 m) (Ang), media (desde 6 a 30 m) (Me) y ancha (desde 30 a 100 m) (An). La simulación de lluvia fue aplicada con un microsimulador (Iruetia y Mon, 2004) (Figura 2) y con una intensidad de 60 mm h^{-1} , sobre material vegetal vivo (pastizal natural) o rastrojos de soja o maíz.

Los resultados provenientes de las simulaciones de lluvia analizados fueron: coeficiente de escurrimiento (CE): relación porcentual entre los milímetros de agua escurrida y los de lluvia simulada; infiltración acumulada (Ia): milímetros de lluvia infiltrados durante cada ensayo; infiltración básica (Ib): tasa de infiltración estable determinada hacia el final de cada ensayo; producción de sedimentos (SE): masa de suelo que salió de la parcela del simulador de lluvia

durante el ensayo, y elementos asociados a los sedimentos (EA): carbono total (Cse), nitrógeno total (Ntse) y fósforo total (Ptse).

Durante la hora en que se realizó el ensayo de lluvia simulada, se recolectó todo el sedimento que salió de las parcelas junto con el agua escurrida (Figura 3 b). En el laboratorio se filtró el agua separando la masa de sedimentos, la que fue secada a $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y posteriormente pesada. Cuando el sedimento recolectado fue suficiente, se lo destinó al análisis de los elementos asociados, siendo estos:

- Carbono total (Cse) por combustión seca, utilizando un analizador elemental marca LECO (Nelson & Sommers, 1996)
- Nitrógeno total (Nse) por combustión seca, utilizando un analizador elemental marca LECO (Nelson & Sommers, 1996)
- Fósforo total (Ptse) con la técnica de digestión con ácido perclórico y colorimetría (Sommers & Nelson, 1972).

Al momento de finalización de cada ensayo, se extrajo la biomasa vegetal dispuesta sobre



Figura 2. Esquema y foto del microsimitador de lluvia, salida de escurrimientos.

el suelo (Figura 3 c) dentro de cada parcela. Esta se llevó a estufa a 40 °C durante 48 horas y luego se pesó, determinando el peso de la materia seca (MS), la cual se expresó en kg ha⁻¹.

Se analizó la vinculación de estos parámetros con otras variables edáficas superficiales, obtenidas a partir del muestreo de los primeros 5 cm del suelo contiguo a la ubicación de la parcela del simulador de lluvia (Figura 3 a), realizándose las siguientes determinaciones:

- Carbono total (Csu) por combustión seca, utilizando un analizador elemental marca LECO (Nelson & Sommers, 1996)
- Nitrógeno total (Nsu) por combustión seca, utilizando un analizador elemental marca LECO (Nelson & Sommers, 1996).
- Fósforo total (Ptsu) por digestión con ácido perclórico y colorimetría (Sommers & Nelson, 1972)
- pH: método potenciométrico (relación suelo: agua 1:2,5). (SSSI, 1930, citado por Black AC eds. 1965).
- Conductividad eléctrica (Ce), método potenciométrico (relación suelo: agua 1:2,5). (SSSI, 1930, citado por Black AC eds. 1965).
- Sodio intercambiable (Na), método de saturación de amonio. (Schollenberger y

Simon, 1945, citado por Black CD eds. 1965).

- Humedad gravimétrica del suelo superficial (Hsu): cálculo gravimétrico en base a suelo seco (Hillel, 1980).
- Textura: Porcentaje de arena, arcilla y limo por el método de la pipeta de Robinson (Robinson, 1922) (arcilla: < 2 μm, limo: 2 – 50 μm y arenas 50 – 2000 μm).

Las determinaciones y muestreos a campo se realizaron en lugares con cobertura representativa del tipo de uso de tierra seleccionado. Para cada sitio se realizaron 3 repeticiones, efectuándose en total 85 simulaciones de lluvia (28 en las lomas, 28 en las medias lomas y 29 en los bajos).

Dado que la mayoría de las variables analizadas no presentaron distribución normal, el análisis de varianza se hizo a través de un test no paramétrico (Kruskal Walis), comparando los parámetros del suelo y de aquellos surgidos de las simulaciones de lluvia entre las diferentes posiciones del paisaje. También, se calcularon los coeficientes de variación de cada propiedad dentro de cada sitio de muestreo, como también se hicieron análisis de correlación entre los resultados obtenidos y algunos atributos del suelo superficial. Los análisis estadísticos se realizaron mediante el software Infostat (2015).



Figura 3. Muestro de suelo (a), recolección de escurrimientos (b) y extracción de la biomasa aérea sobre el suelo (c).

Resultados y discusión

Los suelos analizados presentaron una clase textural franco limosa con la excepción de los correspondientes a la franja angosta con textura franca (Tabla 1). No obstante, existió una diferencia en la distribución de partículas del horizonte superficial entre los ubicados en las posiciones bajas del paisaje y los dispuestos en L y ML, presentando estos últimos mayor contenido de limo y arcilla y menor proporción de arena, sin observar diferencias significativas entre ninguna de las fajas del sector bajo. Al mismo tiempo, se pudo comprobar un mayor contenido de arcilla superficial en los Argiudoles ubicados en la L, en relación a los de ML, debido probablemente a los procesos erosivos selectivos que inciden sobre esta posición del paisaje. Los suelos de Ang fueron los que mostraron menor contenido de carbono superficial, los de L y ML valores intermedios, mientras que los de Me y An fueron máximos. Con el nitrógeno no se presentaron diferencias entre los distintos sitios, mientras que el fósforo fue mayor en ML, mínimo en Ang, con valores intermedios en la L y sin diferencias estadísticas entre Ang, Med y An. También se observa en la Tabla 1, que los suelos ubicados en el sector bajo, independientemente de su distancia al curso de agua, mostraron altos valores de pH (por encima de 8,4) y Ce (superiores a $1,1 \text{ dS m}^{-1}$), y un Na intercambiable que estuvo por arriba de $10,5 \text{ cmol kg}^{-1}$ (resultados no presentados). Por su parte, el peso seco del material vegetal recolectado sobre la superficie, fue

superior en los ambientes agrícolas respecto a los ganaderos, sin existir diferencias en esta variable dentro de cada uno de ellos. La humedad edáfica del horizonte superficial fue similar entre los distintos ambientes, con la excepción del ubicado en An, con mayor contenido hídrico.

De acuerdo con estos resultados, las principales diferencias entre los suelos estudiados están marcadas por los contrastes texturales entre los ubicados en el sector bajo y alto del paisaje, la menor protección superficial con material vegetal vivo o muerto de los primeros mencionados, además de sus altos valores de pH, Ce y Na intercambiable, lo que incide negativamente en su comportamiento físico-hídrico. A su vez y considerando a cada uno de estos dos grandes ambientes del paisaje por separado, los suelos ubicados en Ang mostraron un menor contenido de carbono orgánico superficial y una inferior, aunque no significativa, protección vegetal superficial respecto a Me y An. Por su parte, las diferencias entre los Argiudoles dispuestos en L y ML se basan fundamentalmente en la distinta inclinación de la pendiente y en que los de L contienen algo más de arcilla en superficie.

De los resultados de la Tabla 2, se infiere que los suelos de la franja angosta correspondientes al sector ganadero, son los que en mayor medida contribuyen con excesos de agua al Arroyo Pergamino. Estos suelos, con menor contenido de carbono en superficie y menor cobertura vegetal (no significativa esta última

Tabla 1. Resultados de algunas variables correspondientes al estrato superficial de los suelos de los distintos sitios analizados.

Posición	Sitios	Csu	Nsu	Ptsu	Hsu	Arcilla	Arena	Limo	MS	pH	Ce
		g kg ⁻¹	%	ppm	%	%			kg ha ⁻¹		dS m ⁻¹
Bajo	Ang	12,0 a	0,28 a	230,8 a	27,0 a	7,82 a	43,9 b	48,3 a	1776 a	8,9 b	2,22 c
	Med	26,8 c	0,31 a	239,4 ab	26,6 a	8,56 a	39,0 b	52,4 a	4631 a	8,8 b	1,1 b
	An	32,8 c	0,28 a	247,5 ab	39,1 b	9,19 a	36,7 b	43,7 a	4088 a	8,9 b	1,2 bc
Alto	ML	21,4 b	0,23 a	360,6 c	30,8 a	18,6 b	18,4 a	62,9 b	11224,3 b	6,1 a	0,2 a
	L	20,9 b	0,22 a	290,6 b	29,0 a	21,2 c	16,6 a	62,2 b	9494,3 b	6,0 a	0,1 a

Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los distintos sitios. Ang, Med y An: Franjas angosta, media y ancha. ML: media loma. L: loma. Csu: Carbono total del suelo, Nsu: Nitrógeno total del suelo, Ptsu: Fosforo total del suelo, Hsu: Humedad gravimétrica, MS: materia seca de la vegetación superficial, Ce: conductividad eléctrica.

Tabla 2. Coeficiente de escurrimiento, infiltración básica y acumulada, cantidad de sedimentos y elementos asociados, generados en los distintos sitios.

Posición	Sitios	CE	la	lb	SE	Nse	Ptse	Cse
		%	mm	mm h ⁻¹	kg ha ⁻¹			
Bajo	Ang	80,1 d	11,9 a	4,4 a	4512,1 b	5,5 b	2,3 c	56,4 c
	Med	58,9 bc	24,5 bc	6,8 a	77,7 a	0,3 a	0,07 ab	3,7 ab
	An	67,6 cd	19,5 ab	7,8 a	33,9 a	0,2 a	0,04 a	2,1 a
Alto	ML	44,1 ab	33,6 c	22,0 b	74,6 a	0,4 a	0,08 b	4,6 b
	L	30,6 a	41,9 d	31,3 c	40,8 a	0,25 a	0,05 a	3,1 ab

Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los distintos sitios. Ang, Med y An: Franjas angosta, media y ancha. ML: media loma. L: loma. CE: Coeficiente de escurrimiento. la: infiltración acumulada. lb: infiltración básica. SE: masa de sedimentos erosionados. Nse: nitrógeno total en sedimento, Ptse: fósforo total en sedimento y Cse: carbono total en sedimento

respecto a las restantes franjas, pero sí en relación a los suelos agrícolas), generaron un mayor CE y menor la que Med, ML y L, pero solo una menor lb que los suelos bajo producción agrícola. Por su parte, los Argiudoles bajo agricultura, sobre todo los de L, mostraron menor pérdida de agua por escurrimiento respecto a los restantes, como también una mayor lb e la. No obstante, los suelos

de L presentaron mejores características para estos dos últimos parámetros respecto a los de ML, probablemente debido a su dispar posición fisiográfica. La producción de sedimentos, Nse, Ptse y Cse fueron notoriamente superiores en Ang respecto a lo generado por el resto de los sitios, sin determinarse diferencias significativas en SE, Nse y Cse entre los restantes ambientes.

Respecto a estos, solo hubo diferencias en Ptse en ML en relación a L y An, con mayores valores para ML.

Estos resultados están mostrando que los suelos de la posición más baja del paisaje, sobre todo los del sector más cercano al curso de agua, son los que en mayor medida contribuyen con excesos de agua al arroyo Pergamino. Como se viera previamente, estos suelos presentan altos niveles de pH, de contenido de sales y altas concentraciones de Na intercambiable superficial, lo que va en detrimento de las propiedades físicas edáficas que repercuten en su capacidad de infiltración. A su vez, la menor protección superficial de estos suelos respecto al impacto de la gota de lluvia, sumado a la presencia de un catión dispersante como el Na, hace que rápidamente se formen sellos superficiales, que dificultan la entrada de agua al perfil.

De la misma manera, Chagas *et al.* (2011) determinando la tasa de infiltración de equilibrio con simuladores de lluvia bajo suelo descubierto en la localidad de San Pedro (Buenos Aires), también vislumbraron que los suelos denominados "ganaderos degradados" y "ganaderos sódicos", los que presentaban un porcentaje de sodio intercambiable en superficie del 16,9 % y 10,7 % (pH entre 7,9 y 8,8, respectivamente), mostraban tasas de 12,9 mm h⁻¹ y 1 mm h⁻¹, respectivamente, luego de una hora de lluvia simulada aplicada con una intensidad de 60 mm h⁻¹. Estos valores de Ib, a pesar de haberse determinado sobre suelo descubierto, son coincidentes con los hallados en el presente trabajo para aquellos bajo producción ganadera. A su vez, Chagas *et al.* (2011) también pudieron registrar que los suelos agrícolas y ganaderos no degradados, con niveles de sodio intercambiable y pH superficiales sensiblemente más bajos, presentaban resultados de infiltración básica mayores, entre 25,4 mm h⁻¹ y 26,2 mm h⁻¹, respectivamente, similares a los obtenidos en este estudio en L y ML con cobertura de rastrojos. Por su parte, Vangeli (2019) trabajando sobre suelos hidrohalomórficos de la localidad de San Pedro (Buenos Aires), pudo determinar mediante simulaciones de

lluvia, coeficientes de escurrimiento entre el 40 % y 80 %, dependiendo estos resultados de si los suelos presentaban bajos o altos valores de porcentaje de sodio intercambiable a partir de los 12 cm de suelo, respectivamente, observando que estos resultados se encuentran dentro del rango de los hallados en el presente trabajo para los suelos bajo producción ganadera.

Respecto al efecto de la cobertura, De la Vega *et al.* (2004) realizando simulaciones de lluvia sobre un Argiudol vértico de San Pedro (Buenos Aires) bajo siembra directa, con una intensidad similar a la del presente estudio, encontraron que el CE difería entre tratamientos con y sin cobertura superficial. En dicho trabajo el CE del suelo descubierto fue mayor ($p < 0,05$) respecto al cubierto, encontrando dichos autores también diferencias en la infiltración básica, siendo esta mayor ($p < 0,05$) en el suelo cubierto (20,1 mm h⁻¹) respecto a la obtenida en el tratamiento descubierto (10,6 mm h⁻¹), siendo el primer valor similar al encontrado en este trabajo en ML.

En relación a lo sucedido con la producción de sedimentos y nutrientes asociados, se comprobó un comportamiento distinto. En este sentido, y si bien la franja angosta fue la que presentó los peores resultados, en general no se encontraron diferencias en estos parámetros entre los restantes sitios. Sin embargo, ML mostró mayores valores de Ptse respecto a An y L, y de Cse en relación a An. Chagas *et al.* (2011) encontraron similares resultados de pérdida de suelo bajo simulación de lluvia a los hallados en Ang, al determinar alrededor de 3500 kg ha⁻¹ de sedimentos generados en el suelo "ganadero sódico". No obstante, las restantes situaciones por estos autores evaluadas (suelos agrícolas, ganaderos degradados y no degradados) produjeron entre 1000 kg ha⁻¹ y 600 kg ha⁻¹, valores muy superiores a los determinados en el presente trabajo, debido probablemente a que Chagas *et al.* (2011) lo hicieron sobre suelo descubierto. Por su parte, y de igual manera que lo determinado en este estudio, dichos autores solo encontraron diferencias

entre las situaciones con mayor pérdida de suelo y las restantes.

En la Tabla 3 se detallan los coeficientes de variación (CV) de los distintos parámetros analizados, discriminados por sector del paisaje. Como se observa en la misma, hubo una mayor variabilidad del CE en los suelos agrícolas respecto a los ganaderos, siendo la misma menor en Ang y An. SE presentó una mayor heterogeneidad que CE, independientemente del sector considerado, presentando nuevamente Ang y An los menores porcentajes en el CV. Respecto a la variación de Ntse, Ptse y Cse, esta fue en general menor a SE, al mismo tiempo que entre suelos agrícolas y ganaderos la variación en las magnitudes del CV fue menor respecto a lo ocurrido con CE y SE.

En la Tabla 4 se observan los coeficientes de correlación entre algunas de las variables estudiadas (CE y SE) y otras correspondientes a las características superficiales de los suelos, su posición en el paisaje y la cobertura superficial expresada en peso de materia

seca de la vegetación presente por unidad de superficie. Respecto a la posición en el paisaje, los distintos sitios se numeraron de 1 a 5, tomando al 1 como la posición más cercana al curso de agua (Ang) y 5 como la más lejana (L).

Reafirmando lo manifestado previamente, CE disminuyó significativamente desde los suelos más cercanos al curso de agua hacia los ubicados en las posiciones más altas, habiendo tenido estos últimos una mayor protección vegetal sobre su superficie, mientras que los del bajo presentaron una condición química superficial indeseable, como es la presencia de sodio, lo que repercute en un comportamiento físico-hídrico edáfico negativo. La humedad superficial previa no fue muy diferente entre las distintas situaciones, por lo que no fue un factor condicionante del escurrimiento, mientras que el contenido de carbono superficial, si bien fue distinto entre los distintos suelos, no influyó sobre el CE. Por su parte, SE estuvo en general condicionada por los mismos

Tabla 3. Coeficientes de variación de las distintas propiedades evaluadas, de acuerdo a las distintas posiciones en el paisaje.

Parámetro	Coeficientes de variación (%)				
	An	Med	Ang	ML	L
CE	16	28	13	51	76
SE	44	98	62	101	119
Ntse	43	69	50	53	69
Ptse	45	74	52	55	76
Cse	47	52	44	55	65

Coeficientes de variación de CE: Coeficiente de escurrimiento, SE: masa de sedimentos erosionados. Nse: nitrógeno total en sedimento, Ptse: fósforo total en sedimento y Cse: carbono total en sedimento

Tabla 4. Coeficientes de correlación entre algunos de los resultados obtenidos y distintos factores: propiedades edáficas superficiales, cobertura superficial y posición en el paisaje

	Pos	MS	Csu	Hsu	Ar	Are	Li	Ce	pH
CE	-0,63**	-0,50**	-0,08ns	0,11 ns	-0,63**	0,59**	-0,41**	0,61**	0,59**
SE	-0,61**	-0,39**	-0,40**	-0,27**	-0,43**	0,47**	-0,39	0,69**	0,43**

CE: coeficiente de escurrimiento, SE: producción de sedimentos, Pos: posición en el paisaje, MS: materia seca de la vegetación superficial, Csu: Carbono total del suelo, Hsu: Humedad gravimétrica, Ar: contenido de arcilla, Are: contenido de arena, Li: contenido de limo, Ce: conductividad eléctrica. **($p < 0,01$), ns: no significativo.

factores que CE, presentando con esta última propiedad un coeficiente de correlación de 0,42 ($p < 0,01$). Sin embargo, este parámetro estuvo un poco menos determinado por MS y más asociado a C_{su} , ya que esta última variable actúa sobre la estabilidad de agregados y por lo tanto sobre la capacidad de dispersión de las partículas del suelo por la gota de lluvia. También SE estuvo afectado por la humedad edáfica superficial, ya que, al estar los agregados más húmedos, es menor el volumen de aire que queda en su interior y por lo tanto como resultado de la entrada de agua es probable que haya un menor grado de rotura de los agregados por estallido. A su vez, el nivel de N_{su} y P_{tsu} inicial no afectó a N_{tse} y P_{tse} , respectivamente, mientras que el de C_{su} incidió negativamente sobre C_{se} (coeficiente de correlación: $-0,48$; $p < 0,01$).

Conclusiones

Se demostró que el coeficiente de escurrimiento del sector ganadero fue significativamente mayor que el del sector agrícola, debido entre otras causas a que los suelos del bajo mostraron una menor producción de materia seca en superficie y a la presencia en los horizontes superficiales de altos valores de pH y contenido de sodio. Dentro de dicha área, la franja más cercana al curso de agua tuvo una pérdida de nitrógeno, fósforo y carbono 17, 35 y 15 veces superior, respectivamente, al promedio de pérdida de estos mismos elementos en loma y media loma. Estos resultados son contundentes y advierten sobre la necesidad de proteger al curso de agua estudiado, reteniendo antes de ser volcados al arroyo los sedimentos y nutrientes asociados trasladados por los procesos de erosión y escurrimiento originados en los sectores más cercanos, disminuyendo de esta manera la posibilidad de eutrofización de dicho cuerpo de agua y preservando la vida silvestre ripariana.

Referencias bibliográficas

ANDRADE ML; E FERNÁNDEZ COVELO & MF ALONSO VEGA. 2005. Influencia del manejo agrícola intensivo en la contaminación del suelo. Revista

Pilquen Sección Agronomía Año VII. N° 7, 2005.

BACKHAUS, R., BOCK, M., WEIERS, S. 2002. The spatial dimension of landscape sustainability. *Environment, Development and Sustainability*, 4: 237-251.

BLACK, C.A.1965. (Ed). *Methods of Soils Analysis Part II.Chemical and Microbiological Properties*.

CASAS R. & G. ALBARRACÍN. 2015. El deterioro del suelo y del ambiente en Argentina. Tomos I y II. FECIC. ISBN: 978 – 950 – 9149 – 40 – 3.

CESA (Centro de estudios Sociales y ambientales). 2004. Estudio de Caso: Pergamino. Informe Final IAI – ENSO Argentina. Cap. IV 35 pp

CHAGAS, CELIO I.; KRAEMER, FILIPE B.; UTIN, SANTIAGO; IRURTIA, CARLOS; SANTANATOGLIA, OSCAR J. 2011. Influencia de las propiedades edáficas y la posición en el paisaje sobre la respuesta hidrológica de suelos pertenecientes a una cuenca de la pampa ondulada. *Cuadernos del Curiham*, Vol. 17,. 17:25-32.

DE LA VEGA G, CASTIGLIONI M G, MASSOBRIO M J, CHAGAS C I, SANTANATOGLIA O J, IRURTIA C. 2004. Infiltración en un Argiudol Vértico bajo siembra directa en condiciones variables de cobertura y humedad inicial. *Ciencia del Suelo* 22(1): 52-55.

GALINDO G.; C. SAINATO; C. DAPEÑA; J. L. FERNANDEZ-TURIEL; D. GIMENO; M. POMPOSIELLO; H .PANARELLO. 2007. Surface and groundwater quality ion the northeastern region of Buenos Aires Province, Argentina. *Journal of South American Sciences* 23: 336-345.

GIMENO-GARCIA, E.; V. ANDREU; R. 2001. Impacto de la Actividad agrícola sobre el aporte de Metales pesados en suelos agrícolas del parque natural de la Albufera de Valencia. *Dossier Agraris ICEA-Sóls contaminats*. 177-186.

HENNINGS, V. 2002. Accuracy of coarse-scale land quality maps as a function of the upscaling procedure used for soil data. *Geoderma*, 107: 177-196.

- HILLEL D., 1980. *Fundamentals of Soil Physics*. Academic Press, New York.
- HONORATO R. 2000. *Manual de edafología*. Cuarta edición. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago-Chile. 195p.
- INFOSTAT (2015). DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C.W. *InfoStat versión 2015*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- INTA 1972. *Cartas de Suelo de la República Argentina*. Hoja 3360-32 Pergamino 106p
- IRURTIA CB, MON R, 2004. Aplicación de simuladores de lluvia portátiles, para determinar infiltración del suelo a campo. En: Filgueira, RR, Micucci FG (Eds). *Metodologías físicas para la investigación del suelo: penetrometría e ifiltrometría*. Universidad de La Plata, Argentina. Primera edición. Pp 131-144.
- KING, A.D. *Colonial Urban Development*. London and New York: Routledge Library Editions, 2007.
- LAVADO, RS & MS ZUBILLAGA. 2008. Efecto ambiental de la actividad industrial, la vida urbana y la producción agropecuaria. Pp. 365-394. En: Giuffré, L (ed.). *Agrosistemas: Impacto ambiental y sustentabilidad*. Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires.
- MICHELENA, R. IRURTIA, MON, R Y F. VABRUSKA. 1989. Degradación de suelos en el norte de la región pampeana. EEA-INTA Pergamino, publ. t.c. N° 6, Buenos Aires Argentina.
- MORGAN R. 2005. *Soil erosion and conservation*. Tercera Edición. Blackwell Publishing. Pp 299.
- NEARING MA, BRANDFORD JM, PARKER SC. 1991. Soil detachment by shallow flow at low slopes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:339-344.
- NELSON, DW AND SOMMERS, L.E. 1996. Total Carbon, Organic carbon and organic matter. In: *Methods of soil analysis*. Part 3. Chemical methods-SSA Book series n°5. Bartels managing ed.
- ONGLEY, E.D. 1996. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Estudio FAO riego y drenaje. Disponible en: <http://www.fao.org/W2598S/W2598S00.htm> (Enero 2009).
- PANIGATTI, JL. 2015. Aspectos de la erosión de los suelos en Argentina. Ed. Fauba. Buenos Aires. 70pp.
- PARUELO, JM; JP GUERSCHMAN & S VERON. 2005. Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. *Ciencia Hoy* 15:14-23.
- REYNOSO, L & A ANDRIULO. 2009. Estado actual de la calidad del agua en la cuenca del arroyo pergamino. Disponible en: http://www.inta.gov.ar/pergamino/info/documentos/2009/Calidad_agua_Cuenca_APerg_jun09.pdf.
- ROBINSON, G.W. 1922. A new method for the mechanical analysis of soils and other dispersions. *J. Agr. Sci.*, 12:306-321.
- SHARPLEY, AN. 1985. The selective erosion of plant nutrients in runoff. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:1527-1534.
- SHARPLEY, AN. 1995. Dependence of runoff phosphorus on extractable soil phosphorus. *J. Environ. Qual.* 24:920-926.
- SOMMERS, L.E.; NELSON, DDW. 1972. "Determination of total phosphorous in soil. *Soil Sci. Am. Proc.* 36 902-904.
- VANGELI S. 2019. El avance de la agricultura en tierras con características hidrohalmórficas bajo uso de pastizal. Su efecto sobre algunas propiedades edáficas. Maestrando: Ing. Agr. Sebastián Vangeli. Escuela para graduados (FAUBA). Tesis defendida en 2019.
- WALKER, B. and D. SALT. 2006. Resilience thinking: sustaining ecosystems and people in a changing world.

Original recibido (05/06/2022)
Original aceptado (30/09/2022)