

# ESCURRIMIENTO Y COEFICIENTES DE ENRIQUECIMIENTO EN SEDIMENTOS EROSIONADOS BAJO DIFERENTES SECUENCIAS AGRÍCOLAS

Seehaus, M. S.<sup>1</sup>; Sasal, M. C.<sup>1</sup>; Castiglioni, M. G.<sup>2</sup>; Gabioud, E. A.<sup>1</sup>; Wilson, M. G.<sup>1</sup>;  
Van Opstal, N. V.<sup>1</sup>; Wingeyer, A. B.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INTA EEA Paraná, Ruta 11, km 12,5, 3101, Oro Verde, E. Ríos. Argentina.

<sup>2</sup>Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos. FAUBA. Av. San Martín 4453, (1417 DSE) Buenos Aires. Argentina.

Autor para correspondencia: seehaus.mariela@inta.gov.ar

## RESUMEN

En las últimas décadas la producción agrícola en la región pampeana se ha asociado con la degradación del recurso suelo, dada por la disminución del contenido de materia orgánica, pérdida de estructura, compactación y erosión, que puede generar la exportación de nutrientes hacia cuerpos de agua superficiales. En Entre Ríos, la erosión hídrica en los sistemas agrícolas, acompañada con pérdida de nutrientes, está asociada a las características edáficas, topográficas y climáticas, requiriendo mediciones que permitan evaluar escenarios futuros ante cambios climáticos y de uso y manejo del suelo. Los objetivos de este estudio fueron: a) evaluar las pérdidas de agua, suelo y macronutrientes (nitrógeno y fósforo) por escorrentía superficial en diferentes secuencias de cultivo bajo siembra directa; b) determinar los coeficientes de enriquecimiento de nitrógeno (N) y carbono (C) de los sedimentos erosionados. El estudio fue realizado en la Estación Experimental de Paraná del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), sobre parcelas de escurrimiento bajo lluvia natural, en un Argiudol ácuico, durante la campaña 2019-2020. Las secuencias de cultivo evaluadas, establecidas en el año 2006, fueron: maíz-trigo/soja (M-T/S), monocultivo soja (S) y monocultivo soja con trigo como cultivo de cobertura otoño-invernal (CC-S). Se registraron los eventos de precipitación y de escurrimiento, y se analizaron las muestras del agua de escorrentía, determinándose las siguientes variables: milímetros escurridos, tasa de erosión, coeficiente de escurrimiento, nitrógeno  $N(NO_3)$  y fósforo disuelto (P). Adicionalmente se midió el N y C total del suelo superficial y en los sedimentos erosionados, determinando los coeficientes de enriquecimiento de estos elementos (CEN y CEC, respectivamente). La campaña evaluada presentó una precipitación acumulada de 854 mm (un 19 % menor al promedio anual histórico). Las pérdidas de suelo y agua fueron muy bajas (inferiores a  $1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y  $30 \text{ mm año}^{-1}$ , respectivamente). CEC y CEN fueron en todos los casos mayores a uno y presentaron una alta correlación entre sí ( $r=0,94$ ). Las variables milímetros escurridos, tasa de erosión,  $N(NO_3)$  y P en escorrentía, y N y C en sedimentos, también estuvieron relacionadas entre sí ( $r>0,67$ ). El N y C edáficos no se relacionaron con los valores de CEN y CEC, respectivamente. Sin embargo, se sugiere evaluar la relación cuando los valores de N y C del suelo se encuentran por debajo del umbral  $N<0,20\%$  y  $C<2,30\%$ . A su vez, la secuencia M-T/S presentó las menores pérdidas de suelo ( $0,02 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), agua por escurrimiento superficial ( $7,5 \text{ mm}$ ) y P ( $0,13 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Los resultados obtenidos indican que los sedimentos presentan concentraciones superiores de N y C a las observadas en el suelo y resaltan la importancia de desarrollar prácticas de manejo que minimicen la erosión hídrica, aun en períodos con precipitaciones inferiores a la media histórica anual.

**Palabras clave:** suelo, erosión hídrica; rotaciones; nutrientes.

## SUMMARY

### Runoff and enrichment coefficients of eroded sediments by different crop sequences

In the last decades, agricultural production in the Pampas region has been related to the export of nutrients to surface water bodies from degradation of the soil resource: decrease in organic matter content, structure degradation, compaction and erosion. Since water erosion and nutrient losses of Entre Ríos' agricultural systems are associated with edaphic, topographic and climatic characteristics, continuous monitoring of these losses are required to adapt to future scenarios of soil use and management in the face of climate change. The objectives of this study were: a) to evaluate the losses of water, soil sediments, nitrogen, and phosphorus due to surface runoff in different crop sequences under no-till; b) to estimate the nitrogen (N) and carbon (C) enrichment coefficients of the eroded sediments. The study was carried out at Paraná Agricultural Experimental Station - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), on natural rainfall runoff plots during the 2019-2020 agricultural campaign. The evaluated crop sequences were: corn-wheat/soybean (M-T/S), continuous soybean (S), continuous soybean with wheat as autumn-winter cover crop (CC-S), all initiated in 2006 over an Aquic Argiudol. Precipitation and runoff events were recorded and runoff water samples were analyzed. The following parameters were determined: runoff millimeters, runoff coefficient, sediment load, nitrogen  $N(NO_3)$  and dissolved phosphorus (P). Additionally, the total N and C of the surface soil and in the eroded sediments were measured, determining the enrichment coefficients of these elements (CEN and CEC, respectively). The campaign had an accumulated rainfall of 854 mm (19% less than the historical annual average). Soil and water losses were very low. CEC and CEN were in all cases  $>1$  indicating that the sediments present concentrations of N and C higher than those in surface soil. Correlation between CEN and CEC was high ( $r=0.94$ ). Water and soil losses, and  $N(NO_3)$  and P in runoff and N and C in sediments, were also related to each other ( $r>0.67$ ). CEN and CEC values were not related to the N and C in soil, respectively. However, a positive trend was found between those variables with N and C in the soil below the threshold of 0.20% and 2.30% for soil N and C, respectively. Also, M-T/S rotation presented the lowest losses of soil ( $0.02 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), runoff (7.5 mm) and P ( $0.13 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Our results highlight the importance of cultural practices that minimize water erosion, even in periods where rainfall is below the annual historical average.

**Keywords:** soil, water erosion; crop sequences; nutrients.

## Introducción

La producción agrícola de Argentina se caracterizó en las últimas décadas por una intensificación productiva, como resultado del desarrollo de variedades de cultivos de alto rendimiento, uso de fertilizantes, plaguicidas, riego y cambios en los sistemas de labranza, lo cual generó incrementos sustanciales en la producción de alimentos. No obstante, este proceso se asocia también a consecuencias ambientales negativas

a escalas local (erosión y compactación de suelos, disminución de la fertilidad y reducción de la biodiversidad), regional (contaminación del agua subterránea, eutrofización de cursos de agua superficiales) y global (impacto sobre el clima) (Matson *et al.*, 1997).

La degradación del recurso suelo involucra procesos que provocan una disminución en su capacidad productiva, dentro de los cuales uno de los más importantes es

la erosión (FAO, 1980). Casas y Albarracín (2015) establecieron que la erosión hídrica afecta un 23% del territorio nacional, porcentaje 2,5 veces superior al obtenido en 1988 (Prosa, 1988). En el proceso erosivo del agua, junto a las partículas de suelo que se desprenden y transportan, pueden ser arrastrados nutrientes y agroquímicos, insumos utilizados para la producción, provocando contaminación no puntual o difusa hacia los cuerpos de agua superficial (Andriulo *et al.*, 2010). En este sentido Chagas y Kraemer (2018) señalan que el escurrimiento superficial articula características condicionantes de la contaminación del agua superficial por la actividad agropecuaria a nivel de cuencas como clima, tipo de suelo, posición en el paisaje y del uso de la tierra.

La erosión del suelo provocada por el agua es un proceso selectivo, ya que el material normalmente transportado es el que presenta menor tamaño y densidad (Koiter *et al.*, 2017). A su vez, las partículas más finas del suelo y la materia orgánica son vectores de nutrientes y otros contaminantes (Yang *et al.*, 2014). Como consecuencia, la alta concentración de nutrientes asociada al material más fino del suelo y a la materia orgánica, sumado a la mayor facilidad que tienen estos elementos para ser movilizados y transportados por el agua, incrementan las consecuencias ambientales negativas del proceso erosivo (Zhang *et al.*, 2014). La selectividad de este proceso es normalmente expresada por el coeficiente de enriquecimiento, estimado como la relación entre la concentración de un constituyente del suelo en el material erosionado, respecto a su concentración en el suelo original. Este enriquecimiento es causado fundamentalmente por la ruptura de los agregados ante el impacto de la gota de lluvia y el posterior transporte del material desprendido por el flujo laminar de agua, cuya capacidad de transporte es la que controla el proceso. En general, se han observado relaciones de enriquecimiento mayores a uno para carbono orgánico,

aunque las mismas pueden variar de acuerdo a las características edáficas, topografía, clima y uso de la tierra (Schiettecatte *et al.*, 2008).

El fósforo (P) y el nitrógeno (N) son nutrientes limitantes para el desarrollo de los cultivos. En la producción agrícola se suplementan con fertilizantes minerales para cubrir requerimientos de los cultivos (Hart *et al.*, 2004). En efecto, los agroquímicos de mayor volumen de uso en Argentina son los fertilizantes nitrogenados y fosforados. Si bien el destino de los nutrientes aportados al sistema se orienta a mejorar la productividad de los cultivos, su utilización actualmente no es suficiente para reponer al suelo el N y P exportados en los productos cosechados (Álvarez y Steinbach, 2006). En efecto, este balance negativo de nutrientes constituye uno de los problemas de degradación de suelos más relevantes en el país. Sin embargo, balances neutros o negativos de nutrientes pueden también estar asociados a pérdidas, fundamentalmente relacionadas con la capacidad de transporte del sistema, dependiendo ésta del volumen de agua que fluye de manera superficial y subsuperficial (Portela *et al.*, 2016; Sasal *et al.*, 2019).

El transporte de nutrientes desde el suelo hacia otros compartimentos ambientales, puede generar efectos no deseados tales como eutrofización, pérdida de biodiversidad en ecosistemas acuáticos y la contaminación de aguas superficiales y subterráneas (Portela *et al.*, 2006; Drinkwater *et al.*, 2017). A nivel global, los flujos de N y P ya superaron los umbrales críticos para muchos estuarios y sistemas de agua dulce. La contaminación de las vías fluviales y la zona costera ha afectado la resiliencia de los ecosistemas marinos, reduciendo potencialmente su capacidad de absorber dióxido de carbono y aumentando su impacto climático (Rockstrom *et al.*, 2009). En este contexto, cobra particular relevancia el análisis integral tanto de la dinámica y flujos de agua y de nutrientes bajo diferentes secuencias de cultivos

como de las dosis y sincronía entre aporte vía fertilización y demanda por parte de los cultivos (Beaudoin *et al.*, 2005; Rimski-Korsakov *et al.*, 2009).

Las distintas secuencias de cultivo bajo siembra directa, afectan no sólo la cantidad y calidad de los residuos que se aportan al suelo, sino también la distribución y el tipo de sistemas radicales que intervienen directamente en la agregación y su estabilidad, la capacidad de retención de agua y la protección a la erosión del suelo (Domzal *et al.*, 1991). Sasal *et al.* (2017) demostraron que diferentes secuencias de cultivos imprimen características distintas en el estado estructural del suelo, que condicionan el ingreso y movimiento de agua en superficie. Por otro lado, diferentes cultivos con distintas necesidades nutricionales, conllevan distintas dosis y momentos de fertilización.

A mediados de la década del 60, algunas Estaciones Experimentales del INTA comenzaron estudios de erosión hídrica en parcelas de escurrimiento establecidas a campo. En 1971, en la Estación Experimental INTA Paraná se construyeron parcelas para la medición de escurrimiento y pérdida de suelo de acuerdo con la metodología propuesta por el Servicio de Conservación de Suelos de USA y la FAO (Rojas y Conde, 1985; Ledesma y Paparotti, 1990; Rojas y Saluso, 1993). Estas parcelas, ubicadas sobre un Argiudol ácuico, permiten la medición de la cantidad y calidad de los excedentes hídricos por escurrimiento. A lo largo de 50 años se han desarrollado distintos estudios con la finalidad de conocer más en profundidad el proceso erosivo regional y las prácticas de manejo necesarias para su mitigación (Nani y Paparotti, 1993; Sasal *et al.*, 2010; Seehaus *et al.*, 2018). En este sentido, es necesario estudiar la selectividad del proceso erosivo ante distintos factores condicionantes, para poder instrumentar las prácticas de manejo que puedan disminuir sus consecuencias productivas y ambientales (Koiter *et al.*, 2017). Los objetivos de este estudio fueron:

a) evaluar en distintas secuencias de cultivo bajo siembra directa las pérdidas de agua, suelo y nutrientes (nitrógeno y fósforo) por escorrentía superficial y b) determinar los coeficientes de enriquecimiento de nitrógeno (N) y carbono (C) de los sedimentos erosionados.

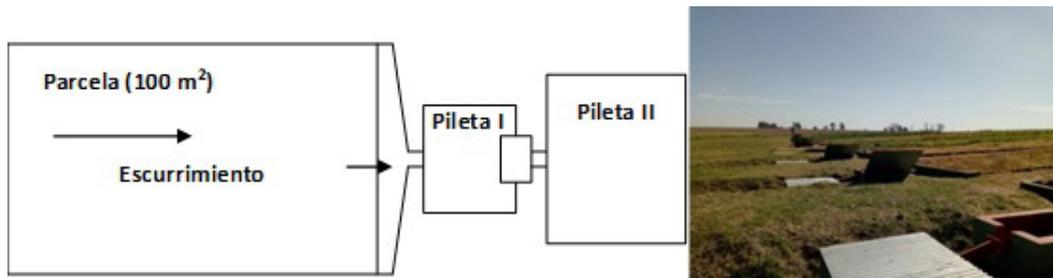
## Materiales y métodos

### *Sitio de estudio*

El estudio fue realizado en la Estación Experimental Paraná del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), ubicada en la provincia de Entre Ríos (31° 51' S y 60° 31' W), sobre parcelas de escurrimiento bajo lluvia natural con diferentes secuencias de cultivo bajo siembra directa. La región presenta clima subhúmedo (lluvia anual promedio  $\approx 1000$  mm) y templado (temperatura media anual  $\approx 18,3$  °C). Aproximadamente, el 75 % de las lluvias ocurren entre los meses octubre-marzo (Oszust *et al.*, 2020). Las temperaturas del invierno raramente son inferiores a 0 °C. Las parcelas de escurrimiento se encuentran sobre un Argiudol ácuico, fino, illítico, térmico (US Soil Taxonomy, 1999) de la Serie Tezanos Pinto (Luvic Phaeozem, WRB). La textura del horizonte A (17 cm) es franco limosa con 270 y 660 g kg<sup>-1</sup> de arcilla y limo, respectivamente (Plan Mapa de Suelos, 1984).

Las parcelas presentan 4 m de frente y 25 m de largo (100 m<sup>2</sup>), con una pendiente natural de 3,5 % (Figura 1). Cada una posee un embudo con un tubo colector de mampostería de 110 mm de diámetro que desemboca en dos piletas receptoras de escurrimientos de mampostería de 450 y 1000 litros.

Los tratamientos analizados (secuencias de cultivos) son: maíz-trigo/soja (M-T/S), monocultivo soja (S), monocultivo soja con trigo como cultivo de cobertura otoño-invernal (CC-S), en 3 bloques. Las secuencias se encuentran establecidas desde el año 2006, con un esquema fijo de fertilización que se detalla en la Tabla 1. Para el presente trabajo también se utilizaron los resultados



**Figura 1.** Esquema y foto de las parcelas de escurrimiento.

**Tabla 1.** Aplicaciones anuales de fertilizantes realizadas en las parcelas de escurrimiento.

Tratamiento		Fertilización	
		N	P
kg ha <sup>-1</sup>			
S 7-11-19: siembra de la soja			20 (S)
CC-S 21-10-19 (interrupción química del CC) 7-11-19: siembra de la soja		43 (s)+23 (m) (T)	10 (CC) 10 (S)
M-T/S (Fase T/S durante campaña de estudio)	Fase Maíz:	50 (s) +69 (v5/v6)	30 (M)
	Fase T/S	87 (s) +46 (m) (T)	20 (T) 20 (S)

Momentos de fertilización: siembra (s); macollaje (m); maíz en estado v5/v6 (v5/v6).  
Cultivos: soja (S); trigo (T); maíz (M); trigo como cultivo de cobertura (CC)

de 3 parcelas con pastizal natural (P), suelo desnudo (D) y monocultivo maíz (M), cuyos valores no fueron incluidos en el análisis estadístico debido a la falta de las repeticiones necesarias, pero se informan a modo de referencia.

Se trabajó con los escurrimientos y sedimentos erosionados correspondientes a la campaña 2019-2020 (julio 2019 - junio 2020). En dicha campaña la secuencia M-T/S se encontraba en la fase T/S.

#### *Determinaciones a campo y en laboratorio*

Se registraron los eventos de precipitación a través de una estación meteorológica automática (Imetos Seedmech), localizada dentro del ensayo. Para cada evento de

lluvia que produjo escurrimiento se midió el volumen de agua recolectada en cada pileta y se tomaron muestras. Con dicha información se calculó el coeficiente de escurrimiento, como la relación entre los milímetros de agua escurridos y los de lluvia precipitada. En laboratorio, las muestras de agua con sedimentos se filtraron para separar las partículas de suelo del agua escurrida, calculando el peso de los sedimentos erosionados. Con estos resultados se calculó la tasa de erosión (Mg ha<sup>-1</sup>) correspondiente a cada tormenta y a cada secuencia de cultivo. Adicionalmente, se registraron los milímetros de agua precipitada los 5, 10 y 15 días previos a cada tormenta que produjo escurrimiento, para

determinar su grado de vinculación con el coeficiente de escurrimiento y la tasa de erosión.

En laboratorio se determinó también el fósforo disuelto en agua (P), mediante el método de colorimetría del ácido ascórbico (Bray & Kurtz, 1945). Se eligió esta fracción porque se considera que es la forma más sensible a cambios en el uso del suelo (Chagas et. al., 1999). También se determinó nitrógeno inorgánico  $N(NO_3)$ , porque es la forma de fuga principal en sistemas de producción extensivos (Laurent & Ruelland, 2011). Para su determinación se utilizó el método colorimétrico del ácido fenoldisulfónico (APHA-AWWA-WPCF, 1989). A partir del conocimiento de estas concentraciones, se estimó la cantidad de cada nutriente que escurrió en cada una de las secuencias analizadas, mediante el producto del volumen de agua escurrida y la concentración de cada elemento.

Adicionalmente se midió C y N total en el suelo de las parcelas (profundidad: 0-5 cm) y en los sedimentos erosionados, a través de la técnica de combustión seca, utilizando un analizador elemental de C y N marca LECO (Nelson & Sommers, 1996). La determinación de nutrientes en los sedimentos erosionados se realizó sobre una muestra compuesta, integrada por todos los sedimentos recolectados durante el año de estudio y para cada una de las parcelas de escorrentía. Esto permitió superar el umbral mínimo de muestra requerida por el equipo analítico. Los coeficientes de enriquecimiento de C y N fueron calculados a partir del cociente entre la concentración de ambos elementos en el sedimento transportado y el determinado en el suelo (0-5 cm) (CEC y CEN, respectivamente).

El modelo estadístico aplicado fue el análisis de varianza, para las variables que cumplieran con el criterio de normalidad y homogeneidad de la varianza, considerando un diseño en bloques completamente aleatorizados. Para las variables que no cumplieran con estos requisitos se siguió un análisis no paramétrico (Friedman). Se

realizaron también correlaciones (Pearson) entre las siguientes variables: pérdidas de agua y suelo,  $N(NO_3)$  y P en escorrentía y C y N en sedimentos; y, por otro lado, pérdidas de agua y suelo de cada evento de escorrentía, precipitación asociada a dicho evento (denominada "precipitación actual") y precipitación ocurrida los cinco días previos a cada evento de escurrimiento. El software estadístico utilizado fue InfoStat, versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020).

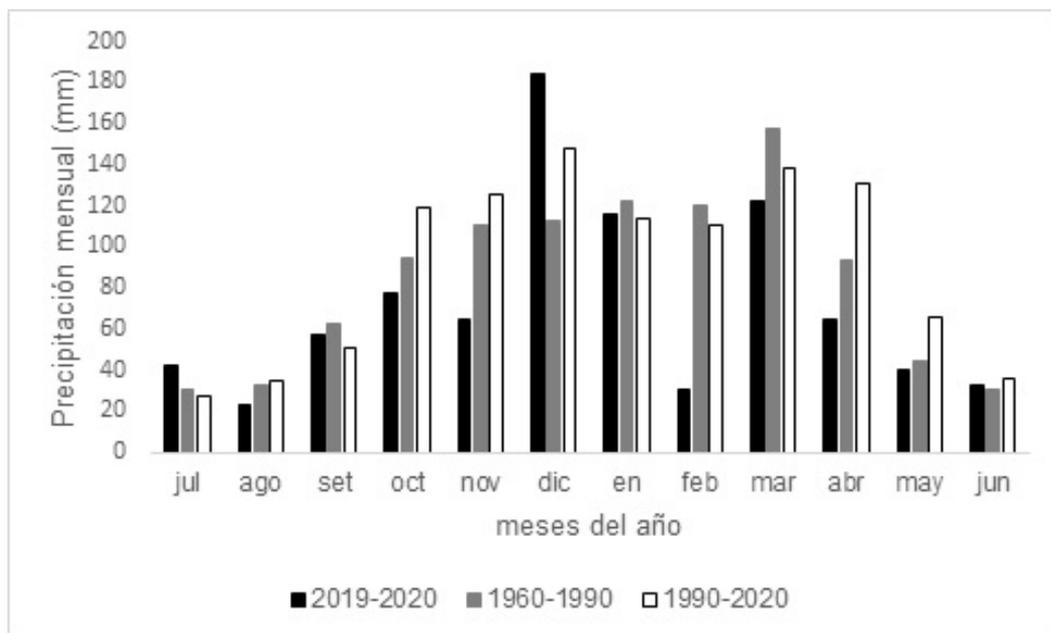
## Resultados y discusión

### *Análisis de precipitaciones, escurrimientos y pérdidas de suelo*

La campaña 2019/2020 tuvo una precipitación acumulada de 854 mm, un 81 % del promedio histórico anual (1059 mm, periodo 1961-2020) (Wingeyer et al., 2022). La distribución de lluvias también fue diferente respecto a la media histórica (Figura 2), comprobándose menores registros pluviométricos para los períodos octubre-noviembre de 2019 y febrero-abril de 2020.

Durante la campaña 2019-2020 se registraron 65 tormentas, de las cuales solo un 20% superaron los 20 mm diarios, con intensidades que tuvieron un mínimo registrado de  $0,2 \text{ mm h}^{-1}$  y un máximo de  $29,4 \text{ mm h}^{-1}$ . Los eventos que generaron escurrimiento fueron 13, registrados fundamentalmente entre octubre y mayo, correspondiendo los mismos a tormentas que oscilaron entre 19 mm y 138 mm. Cabe aclarar que en algunos casos las pérdidas de agua se dieron como resultado de más de un día de lluvia.

En la Tabla 2 se detalla la lámina de agua escurrida (mm) en las distintas secuencias de cultivos y en las parcelas utilizadas como referencia, sus coeficientes de escurrimiento (%) y las pérdidas de suelo anual ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ). Considerando lo ocurrido durante la campaña analizada, la secuencia M-T/S presentó una lámina de escurrimiento y un coeficiente de escurrimiento cercanos a la cuarta parte de lo observado en CC-S y S, no existiendo diferencias en



**Figura 2.** Distribución mensual de las precipitaciones durante el período analizado y durante el lapso 1961-1990 y 1990-2020.

**Tabla 2.** Escurrimiento y pérdida de suelo de acuerdo a las distintas secuencias de cultivos durante la campaña analizada

Secuencia de cultivos	Escurrimiento anual (mm)	Coefficiente de escurrimiento (%)	Pérdida de suelo anual (Mg ha <sup>-1</sup> )
M-T/S	7,5 a	0,9 a	0,02 a
S	28,2 ab	3,3 ab	0,28 b
CC-S	30,4 b	3,6 b	0,46 b
M	6,0	0,7	0,03
P	6,7	0,8	0,02
D	127,0	14,9	6,29

Las secuencias monocultivo maíz (M), pastizal natural (P) y suelo desnudo (D) se informan a modo de referencia. Letras distintas entre secuencias para un mismo parámetro indican diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ). M: maíz; T: trigo; S: soja; CC: trigo como cultivo de cobertura.

estos parámetros entre estas dos últimas secuencias, como tampoco entre M-T/S y S. Los resultados registrados en M-T/S podrían atribuirse en parte al efecto acumulado del cultivo de maíz, ya que en la parcela M (monocultivo maíz) se observa un valor de escurrimiento similar, a pesar de que en el período analizado el tratamiento M-T/S se

encontraba en la fase trigo/soja.

En general, todos los tratamientos presentaron bajos valores de pérdida de suelo, inferiores a 1 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Sin embargo, en M-T/S las pérdidas fueron menores a S y CC-S y similares a la ocurrida en la parcela P (pastizal natural) y M. Se destaca que no hubo diferencias significativas entre

S y S-CC, por lo que se infiere que el uso del trigo como cobertura no estaría ofreciendo los servicios ambientales necesarios para contrarrestar la escasa cobertura generada en S. Si bien las precipitaciones fueron inferiores a la media histórica, se resalta que los meses de primavera-verano son aquellos con mayores milímetros caídos (Figura 2). En dicho período el tratamiento CC-S se encontraba con el ciclo de cultivo de trigo interrumpido con tratamiento químico, para luego implantar la soja en el mes de noviembre. La baja cobertura podría generar las consecuentes pérdidas de agua y suelo bajo este tratamiento sin diferencias con el tratamiento soja continua.

Los resultados de escurrimiento anual acumulado fueron sensiblemente inferiores a los detallados para las mismas parcelas durante el período 2010-2016 (Seehaus *et al.*, 2018) y en el período junio 2006 a julio 2007 (Sasal *et al.*, 2010) para S y M-T/S (328 mm y 178 mm, respectivamente). En esta última campaña, las lluvias registradas fueron de 1574 mm (un 49 % mayor que la media histórica), contabilizándose 25 eventos de escurrimiento. A su vez, entre 2006 y 2007, las lluvias mayores a 70 mm fueron el 30 % del total anual, las de 40 a 70 mm representaron el 35 % y las menores a 40 mm otro 35 %, mientras que entre junio 2019 y julio de 2020 (período evaluado en este estudio) hubo una sola tormenta superior a los 70 mm (1,5 %), 4 entre 70 mm y 40 mm (6 %), siendo mayoritarias las precipitaciones menores a los 40 mm (92 %). En el presente trabajo los coeficientes de escurrimiento también fueron menores a los registrados por Sasal *et al.* (2010), quienes pudieron observar valores mayores de este parámetro en S (24 %) respecto a M-T/S (8 %).

Al discriminar los escurrimientos por tormenta, se comprobó que en 9 de ellas no se manifestaron diferencias estadísticas entre las distintas secuencias de cultivo, mientras que en las restantes, la secuencia M-T/S fue la que generó las menores pérdidas de agua, sin existir diferencias

entre las restantes parcelas. Por su parte, la erosión presentó un comportamiento similar, aunque las tormentas que no originaron diferencias entre parcelas fueron 7, siendo M-T/S la que generó la menor pérdida de suelo en las restantes. Tanto en el escurrimiento como en la erosión, no se presentaron diferencias por tormenta entre S y CC-S. El dispar comportamiento de estos parámetros entre tormentas no estuvo asociado a su magnitud, ya que por ejemplo no hubo diferencias en los mismos entre las distintas parcelas para eventos de precipitación de 24 mm y 60 mm, al mismo tiempo que lluvias de diferente magnitud (23 mm y 138 mm) aportaron resultados similares (M-T/S < al resto). Contrariamente, Sasal *et al.* (2010) comprobaron para la campaña 2006-2007, que las tormentas mayores a los 70 mm no provocaban diferencias en el coeficiente de escurrimiento entre secuencias de cultivo similares a las analizadas en el presente trabajo, mientras que aquellas con láminas entre los 40 mm y 70 mm eran donde se observaban las mayores diferencias para dicho parámetro.

En la Tabla 3 se detallan los coeficientes de correlación observados entre la lámina de agua precipitada en cada tormenta y en las ocurridas los cinco días previos a cada evento de escurrimiento, con el coeficiente de escurrimiento y la tasa de erosión para los distintos tratamientos y las parcelas de referencia.

Reafirmando lo mencionado previamente en cuanto a la falta de un patrón de diferenciación entre tratamientos según la magnitud de la precipitación, la incidencia sobre el escurrimiento que tuvo la precipitación actual y la ocurrida los cinco días previos, fue diferente según la secuencia de cultivos analizada. De esta manera, las parcelas con maíz (intercalado o continuo) o pastizal natural estarían menos condicionados en sus escurrimientos por la magnitud de la lluvia presente y en el caso de M y P tampoco por la ocurrida los cinco días previos. Por su parte, la pérdida de suelo se

**Tabla 3.** Coeficientes de correlación entre el escurrimiento y la tasa de erosión con la precipitación actual y la ocurrida los cinco días previos a cada evento de escurrimiento.

	M-T/S	S	CC-S
<b>Precipitación(mm)</b>	<b>Coefficiente de escurrimiento</b>		
Actual	ns	0,85**	0,77**
Cinco días previos	0,72**	ns	0,64*
<b>Precipitación(mm)</b>	<b>Tasa de Erosión</b>		
Actual	ns	0,90**	0,90**
Cinco días previos	ns	ns	ns

\*( $p < 0,05$ ), \*\* ( $p < 0,01$ ), ns: no significativo. M: maíz; T: trigo; S: soja; CC: trigo como cultivo de cobertura.

vio condicionada significativamente por la precipitación actual solo en S y CC-S. Cabe destacar que, al realizar un análisis similar, contabilizando la lámina precipitada los 10 y 15 días previos a cada evento de escurrimiento, no se generaron coeficientes de correlación significativos con la tasa de erosión y el coeficiente de escurrimiento.

Considerando el valor total anual de pérdidas en el período de estudio (2019-2020), se establecieron correlaciones entre coeficiente de escurrimiento y pérdidas de suelo. Para la secuencia M-T/S el resultado no fue significativo, mientras que en S y CC-S hubo una asociación positiva, con coeficientes de correlación de 1 para ambas secuencias. Estos resultados indican que, bajo condiciones de lluvia anual inferior a la normal, la tasa de erosión estaría altamente condicionada por la magnitud del escurrimiento en aquellas situaciones que incluyan monocultivo de soja o este último cultivo en consociación con cultivos de cobertura como el usado en este tratamiento.

#### *Pérdidas de nutrientes en agua y sedimentos y coeficientes de enriquecimiento*

Respecto a los nutrientes perdidos vía escorrentía superficial, CC-S presentó mayores valores de  $N(NO_3)$  y P que las otras secuencias, no existiendo diferencias entre M-T/S y S en el  $N(NO_3)$  escurrido, mientras que para P el monocultivo de soja

presentó resultados intermedios (Tabla 4). Se destaca que la secuencia M-T/S presentó valores similares a lo informado para la parcela con monocultivo maíz (M). En los sedimentos erosionados, se encontró una menor pérdida de C ( $kg\ ha^{-1}$ ) y N ( $kg\ ha^{-1}$ ) en M-T/S respecto a las otras secuencias, no existiendo diferencias en la pérdida de estos elementos al incorporar cultivos de cobertura respecto al monocultivo de soja. De la misma forma que lo mencionado para otros parámetros, los resultados obtenidos en M-T/S fueron similares a los registrados para M (Tabla 4). Se establecieron también correlaciones entre las pérdidas de agua y suelo respecto a  $N(NO_3)$  y P en escorrentía y C y N en sedimentos, obteniendo relaciones altamente significativas en todos los casos ( $r > 0,67$ ).

Los valores de C y N en suelo (0-5 cm) fueron similares entre las distintas secuencias de cultivo (Tabla 5).

Por su parte, los resultados de CEC y CEN (Tabla 5) fueron en todos los casos mayores que 1, existiendo un mayor enriquecimiento en N en los sedimentos provenientes de M-T/S respecto a los de CC-S, al mismo tiempo que no se detectaron diferencia para el CEC. Además, existieron correlaciones positivas entre ambos coeficientes de enriquecimiento ( $r = 0,94$ ) (Figura 3).

El N y C del suelo (0-5 cm) no se relacionaron con los valores de CEN y CEC, respectivamente, lo que estaría mostrando

**Tabla 4.** Pérdida de N(NO<sub>3</sub>) y P por escurrimento y de C y N en los sedimentos, según las distintas secuencias de cultivos.

Secuencia de cultivos	Esgurrimento		Sedimentos	
	N(NO <sub>3</sub> )	P	C	N
	(kg ha <sup>-1</sup> )		(kg ha <sup>-1</sup> )	
M-T/S	0,07 a	0,13 a	1,48 a	0,20 a
S	0,12 a	0,68 b	13,54 b	1,37 b
CC-S	0,39 b	0,95 c	21,03 b	1,99 b
M	0,06	0,27	1,56	0,19
P	0,04	0,18	1,87	0,47
D	0,20	0,80	193,7	23,2

Las secuencias M, P y D se informan a modo de referencia. Letras distintas entre secuencias de cultivo para un mismo parámetro indican diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ). M: maíz; T: trigo; S: soja; CC: trigo como cultivo de cobertura; P: pastizal natural; D: suelo desnudo.

**Tabla 5.** Valores de C (%) y N (%) para los primeros 5 cm de suelo y valores de enriquecimiento en carbono (CEC) y nitrógeno (CEN), de acuerdo a las distintas secuencias de cultivos en las parcelas de escorrentía analizadas

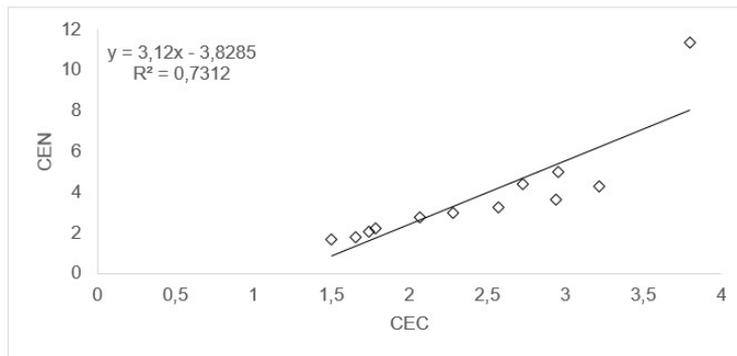
Secuencia de cultivos	C (%)	N (%)	CEC	CEN
CC-S	2,68	0,23	1,63	1,83 a
S	2,27	0,17	2,43	3,02 ab
M-T/S	2,93	0,25	2,65	4,10 b
M	1,69	0,15	3,22	4,29
P	2,71	0,23	3,80	11,35
D	1,49	0,13	2,10	2,70

Las secuencias M, P y D se informan a modo de referencia. Aquellos valores que no presentan una letra, significa que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas. Letras distintas entre secuencias de cultivo para un mismo parámetro indican diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ). M: maíz; T: trigo; S: soja; CC: trigo como cultivo de cobertura; P: pastizal natural; D: suelo desnudo.

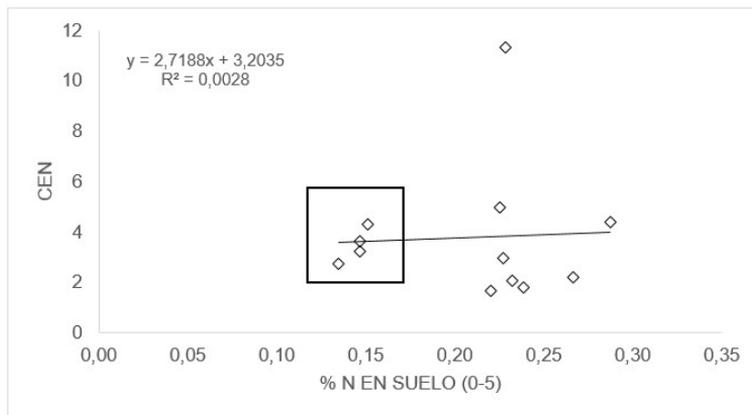
que la magnitud de dichos coeficientes es independiente del contenido de C y N superficial del suelo. Sin embargo, se sugiere evaluar la relación cuando los valores de N y C del suelo se encuentran por debajo del umbral  $N < 0,20\%$  y  $C < 2,30\%$  (Figuras 4a y 4b).

En un estudio previo realizado durante dos años con condiciones hídricas contrastantes (húmedo y seco en 2006 y 2008, respectivamente), Darder *et al.*

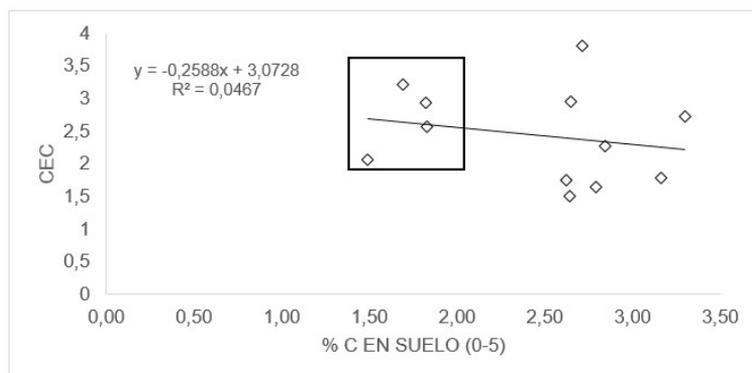
(2010) encontraron que los sedimentos presentaron concentraciones superiores de N y C a las presentes en el suelo, independientemente de la secuencia de cultivo evaluada. A escala de cuenca y analizando diferentes secuencias de cultivo y posiciones del paisaje, Darder (2018) encontró resultados similares a los recientemente detallados, usando simuladores de lluvia. En dicho trabajo, no se observaron efectos de la posición



**Figura 3.** Correlación entre coeficientes de enriquecimiento de carbono (CEC) y nitrógeno (CEN) para todas las parcelas analizadas (n=12)



**Figura 4 a.** Correlación entre coeficientes de enriquecimiento de nitrógeno (CEN) y porcentaje de nitrógeno en suelo (0-5 cm) para todas las parcelas analizadas (n=12).



**Figura 4 b.** Correlación entre coeficientes de enriquecimiento de carbono (CEC) y porcentaje de carbono en suelo (0-5 cm) para todas las parcelas analizadas (n=12).

en el paisaje y de los diferentes cultivos sobre los coeficientes de enriquecimiento, independientemente de la intensidad de lluvia aplicada ( $60$  o  $30 \text{ mm h}^{-1}$ ), encontrando un menor enriquecimiento de N en los sedimentos erosionados respecto a carbono.

En general, los valores de CEC determinados en distintas investigaciones superan la unidad, dependiendo a su vez de la escala de trabajo, la pendiente del terreno, las características de las lluvias, de los suelos y del uso de la tierra (Xiaodong *et al.*, 2015). En parcelas similares a las del presente trabajo, Cogle *et al.* (2002) observaron valores de CEC entre 1,3 y 4,3, a escala de cuenca, Avnimelech y McHenry (1984) reportaron resultados para este parámetro entre 0,24 y 6,3; mientras que en laboratorio bajo lluvia simulada, Polyakov y Lal (2004) determinaron valores de CEC entre 1 y 1,7. Estos resultados obedecen a la falta de uniformidad en la distribución de carbono entre las partículas del suelo, enriqueciéndose preferiblemente en este elemento las más finas, las que a su vez son las más fácilmente transportadas por el agua de escurrimiento (Zhang *et al.*, 2014). Debido al balance negativo de estos elementos del suelo como consecuencia de la erosión, aún durante períodos con lluvias inferiores a la normal, es deseable la implementación de prácticas de manejo que disminuyan dichas pérdidas.

Luego de 13 años de implantados los tratamientos, se detectan diferencias en las pérdidas de suelo y los escurrimientos bajo diferentes secuencias de cultivo, evidenciando que las estrategias de manejo de cultivo pueden reducir las pérdidas de nutrientes vía erosión hídrica. En este sentido, la combinación con otras prácticas de conservación de suelo, tales como la sistematización de tierras que permiten controlar la velocidad del escurrimiento del agua de lluvia, constituyen herramientas para minimizar la erosión hídrica y las pérdidas de nutrientes asociadas.

### Conclusiones

El estudio de los cambios en la calidad de agua en agrosistemas, los flujos de nutrientes y la definición de medidas de mitigación integralmente viables, requieren la comprensión a diferentes escalas. A la escala espacio temporal abordada, los flujos de agua y nutrientes resultaron determinados por las precipitaciones y la secuencia de cultivos. Para mejorar la eficiencia de uso por parte de los cultivos y reducir las pérdidas de nutrientes hacia aguas superficiales y subterráneas resulta indispensable profundizar estudios y monitoreos a largo plazo.

Dada la escasez de trabajos científicos que cuantifiquen pérdidas de nutrientes vía escurrimiento en Argentina, los resultados encontrados sirven de base para ser utilizados en modelos que simulen escenarios y permitan conocer la cantidad de nutrientes y C que se exportan por erosión hídrica e identificar secuencias con menores riesgos de contaminación de cursos de agua superficiales

Los resultados indican que los sedimentos presentan concentraciones superiores de N y C a las observadas en el suelo, independientemente de la secuencia de cultivo y resaltan la importancia de desarrollar prácticas que minimicen la erosión hídrica. Particularmente, el trabajo señala que minimizar el escurrimiento, puede reducir el aporte de nutrientes desde agroecosistemas hacia ambientes acuáticos.

### Agradecimientos

Al equipo técnico y auxiliares del departamento de Recursos Naturales y Gestión Ambiental de la Estación Experimental del INTA Paraná.

### Referencias bibliográficas

- ALVAREZ, R.; STEINBACH, H. (2006). Valor agronómico de la materia orgánica. *Materia Orgánica. Valor Agronómico y Dinámica en Suelos Pampeanos*, 1, 13-29.
- ANDRIULO, A. E.; REYNOSO, L.; PORTELA, S.; IRIZAR, A.; RESTOVICH, S.; BORTOLATO, M.

- (2010). Guía de Buenas Prácticas para el Manejo de Nutrientes N y P en la Pampa Ondulada. *Grupo Medio Ambiente-EEA INTA Pergamino*.
- AVNIMELECH, Y.; MCHENRY, J. R. (1984). Enrichment of transported sediments with organic carbon, nutrients, and clay. *Soil Science Society of America Journal*, 48(2), 259-266.
- APHA, AWWA and WPCF (1989). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 17th Edition, Washington DC.
- BRAY, R. H.; KURTZ, L. T. (1945) Determination of Total Organic and Available Forms of Phosphorus in Soils. *Soil Science*, 59, 39-45.
- BEAUDOIN, N.; SAAD, J. K.; VAN LAETHEM, C.; MACHET, J. M.; MAUCORPS, J.; MARY, B. (2005). Nitrate leaching in intensive agriculture in Northern France: Effect of farming practices, soils and crop rotations. *Agriculture, ecosystems & environment*, 111(1-4), 292-310.
- CASAS, R.; ALBARRACÍN, G. (2015). El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina. *Fundación para la Ciencia y la Cultura FeCiC. Buenos Aires. Argentina*.
- CHAGAS, C. I.; LAVADO, R. S.; REVILLA, C. A.; MACIAS, G. J. (1999). Movimiento superficial de fósforo en suelos de Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo*, 17(2), 46-53.
- CHAGAS, C. I.; KRAEMER, F. B. (2018). Escurrimiento, erosión del suelo y contaminación de los recursos hídricos superficiales por sedimentos asociados a la actividad agropecuaria extensiva: algunos elementos para su análisis. 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía. ISBN 978-987-3738-17-3
- COGLE, A. L.; RAO, K. P. C.; YULE, D. F.; SMITH, G. D.; GEORGE, P. J.; SRINIVASAN, S. T.; JANGAWAD, L. (2002). Soil management for Alfisols in the semiarid tropics: erosion, enrichment ratios and runoff. *Soil Use and Management*, 18(1), 10-17.
- DARDER, M. L.; SASAL, M. C.; ANDRIULO, A. E.; WILSON, M. G.; CHAGAS, C. I. (2010). Coeficientes de enriquecimientos de fósforo, nitrógeno y carbono de sedimentos erosionados en diferentes secuencias de cultivos bajo siembra directa. II Congreso Argentino de la Ciencia del Suelos. Rosario. Santa Fe. Argentina.
- DARDER, M. L. (2018). Escurrimiento superficial de la cuenca alta del Arroyo Pergamino impacto del uso de la tierra y la posición en el paisaje sobre la calidad del agua y los sedimentos. Tesis Magister de la Universidad de Buenos Aires área Ciencias del Suelo. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Escuela para Graduados.
- DI RIENZO, J. A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M. G.; GONZALEZ, L.; TABLADA M.; ROBLEDO, C. W. (2020). InfoStat, Versión 2020. Grupo InfoStat. Universidad Nacional de Córdoba. Ed. Brujas, Argentina. <https://www.infostat.com.ar/>.
- DOMZAŁ, H.; GLINSKI, J.; LIPIEC, J. (1991). Soil compaction research in Poland. En: Van Ouwerkerk, C. (ed.). *Soil Compaction and Plant Productivity*. Pp. 99–109. Elsevier. Amsterdam, the Netherlands.
- DRINKWATER, L. E.; SCHIPANSKI, M.; SNAPP, S.; JACKSON, L. E. (2017). Ecologically based nutrient management. *Agricultural systems* (pp. 203-257). Academic Press.
- FAO (1980). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. Roma.
- HART, M. R.; QUIN, B. F.; NGUYEN M. L. (2004). Phosphorus Runoff from Agricultural Land and Direct Fertilizer Effects. *J. Environ. Qual.* 33:1954-1972
- KOITER, A. J.; OWENS, P. N.; PETTICREW, E. L.; LOBB, D. A. (2017). The role of soil surface properties on the particle size and carbon selectivity of interrill erosion in agricultural landscapes. *Catena*, 153, 194-206.
- LAURENT, F.; RUELLAND, D. (2011). Assessing impacts of alternative land use and agricultural practices on nitrate pollution at the catchment scale. *Journal of Hydrology*, 409(1-2), 440-450.
- LEDESMA, J.G.; PAPANOTTI, O.F. (1990). Determinación de la erosionabilidad (k) de la ecuación universal de pérdidas de suelo

- con lluvia simulada para la serie Tezanos Pinto. INTA EEA Paraná. Informe técnico de beca.
- MATSON, P. A.; PARTON, W. J.; POWER, A. G.; SWIFT, M. J. (1997). Agricultural Intensification and Ecosystem Properties. *Science*. 277: 504-508.
- NANI, L. A.; PAPANOTTI, O. F. (1993). Determinación de las pérdidas de suelo y agua en parcelas con diferentes cultivos, prácticas de manejo y longitud de pendiente. Informe Plan de trabajo 551010. INTA – EEA Paraná
- NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. (1996). Total Carbon, Organic carbon and organic matter. In: *Methods of soil analysis*. Part 3. Chemical methods-SSA Book series nº5. Bartels managing ed.
- OSZUST, J. D.; WILSON, M. G.; WINGEYER, A. B.; SEEHAUS, M. S.; SASAL, M. C.; GABIOUD, E. A.; VAN OPSTAL, N. V. (2020). Régimen de precipitaciones en el centro oeste de Entre Ríos. *Revista Científica Agropecuaria*, UNER. Concepción del Uruguay; Año: 2020 vol. 23 p. 27 – 34.
- PLAN MAPA DE SUELOS, CONVENIO INTA-GOBIERNO DE ENTRE RÍOS (1984). Suelos y erosión de la provincia de Entre Ríos. Segunda Ed. Tomo I. Serie Relevamiento de Recursos Naturales Nº 1. INTA-EEA Paraná. Entre Ríos. 112 pp.
- POLYAKOV, V. O.; LAL, R. (2004). Soil erosion and carbon dynamics under simulated rainfall. *Soil Science*, 169(8), 590-599.
- PORTELA, S. I.; ANDRIULO, A. E.; SASAL, M. C.; MARY, B.; JOBBÁGY, E. G. (2006). Fertilizer vs. organic matter contributions to nitrogen leaching in cropping systems of the Pampas: 15N application in field lysimeters. *Plant and Soil*, 289(1), 265-277.
- PORTELA, S. I.; RESTOVICH, S. B.; GONZÁLEZ, H. M.; TORTI, M. J. (2016). Reducción del drenaje profundo y la lixiviación de nitrógeno en rotaciones agrícolas con cultivos de cobertura. *Ecología austral*, 26(3), 212-220.
- PROSA (1988). El Deterioro del Ambiente en la Argentina. FECIC. Editorial Orientación Grafica Editora. ISBN: 9789509149274.
- RIMSKI-KORSAKOV, H.; RUBIO, G.; LAVADO, R. S. (2009). Effect of water stress in maize crop production and nitrogen fertilizer fate. *Journal of plant nutrition*, 32(4), 565-578.
- ROCKSTROM, J.; STEFFEN, W.; NOONE, K.; PERSSON, A.; CHAPIN III, F. S.; LAMBIN, E. F.; ...FOLEY, J. A. (2009). A safe operating space for humanity: identifying and quantifying planetary boundaries that must not be transgressed could help prevent human activities from causing unacceptable environmental change, argue Johan Rockstrom and colleagues. *Nature*, 461(7263), 472-476.
- ROJAS, A. E. C.; CONDE, A. A. (1985). Estimación del factor "R" de la ecuación universal de pérdidas de suelo para el centro-este de la República Argentina. *Ciencia del Suelo* 3 (1-2):85-94.
- ROJAS, A. E. C.; SALUSO, J. H. (1993). Probabilidades de ocurrencia del factor "R" de la ecuación universal de pérdidas de suelo. *Ciencia del Suelo*. 10- 11:42-45.
- SASAL, M. C.; CASTIGLIONI, M. G.; WILSON, M. G. (2010). Effect of crop sequences on soil properties and runoff on natural rainfall erosion plots under no tillage. *Soil and Tillage Research*, 108 (1-2), 24-29.
- SASAL, M. C.; BOIZARD, H.; ANDRIULO, A.; WILSON, M.; LÉONARD, J. (2017). Platy structure development under no-tillage in the northern humid Pampas of Argentina and its impact on runoff. *Soil & Tillage Research* 173: 33 – 41
- SASAL; M. C.; WILSON, M. G.; SEEHAUS, M.; GABIOUD, E. A.; VAN OPSTAL, N. V.; WINGEYER, A. B.; BEGHETTO, S.; PRIMOST, J.; DARDER, M. L.; ANDRIULO, A. E. (2019). Los nutrientes en el ambiente. Simposio Fertilidad 2019: conocer más, crecer mejor, Rosario, Santa Fe, 8 al 9 de mayo 2019, p 113-120.
- SCHIETTECATTE, W.; GABRIËLS, D.; CORNELIS, W.; HOFMAN, G. (2008). Enrichment of organic carbon in sediment transport by interrill and rill erosion processes. *Soil Science Society of America Journal*, 72(1), 50-55.
- SEEHAUS, M.; GABIOUD, E.; VAN OPSTAL, N.;

- OSZUST, J.; WILSON, M.; BEGHETTO, S.; SASAL, M. (2018). Esgurrimiento superficial y pérdidas de fósforo y nitrógeno asociadas a secuencias de cultivo en siembra directa. Actas XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo pp. 1656-1661. [https://www.researchgate.net/publication/353289450\\_ESCURREMIENTO\\_SUPERFICIAL\\_Y\\_PERDIDAS\\_DE\\_FOSFORO\\_Y\\_NITROGENO\\_ASOCIADAS\\_A\\_SECUENCIAS\\_DE\\_CULTIVO\\_EN\\_SIEMBRA\\_DIRECTA](https://www.researchgate.net/publication/353289450_ESCURREMIENTO_SUPERFICIAL_Y_PERDIDAS_DE_FOSFORO_Y_NITROGENO_ASOCIADAS_A_SECUENCIAS_DE_CULTIVO_EN_SIEMBRA_DIRECTA)
- SOIL SURVEY STAFF (1999). Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd edition. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook
- YANG, Y.; YE, Z.; LIU, B.; ZENG, X.; FU, S.; LU, B. (2014). Nitrogen enrichment in runoff sediments as affected by soil texture in Beijing mountain area. *Environmental monitoring and assessment*, 186(2), 971-978.
- WINGEYER, A. B.; MAFFINI, G. D.; GABIOUD, E. A.; SEEHAUS, M. S.; GARCARENNA, N. (2022)-Serie Extensión INTA Paraná N°87. pág. 52 - 56
- XIAODONG, N.; ZHONGWU, L.; JIJUN, H.; JINQUAN, H.; YAN, Z.; BIN, H.; WENMING, M.; YINMEI, L.; GUANGMING, Z. (2015). Enrichment of organic carbon in sediment under field simulated rainfall. *Environ Earth Sci*, 74: 5417-5425
- ZHANG, S.; HUFFMAN, T.; ZHANG, X.; LIU, W.; LIU, Z. (2014). Spatial distribution of soil nutrient at depth in black soil of Northeast China: a case study of soil available phosphorus and total phosphorus. *Journal of soils and sediments*, 14(11), 1775-1789.

Original recibido (30/05/2022)  
Original aceptado (25/07/2022)