

Efecto de la cobertura y del relieve sobre las pérdidas de suelo en la cuenca del Arroyo Ludueña, Santa Fe



Effect of cover and relief on soil losses in the Ludueña Stream basin, Santa Fe

Denoia, Julio; Bonel, Beatriz; Di Leo, Néstor

 Julio Denoia

jadenoi@hotmail.com

Universidad Nacional de Rosario, Argentina

 Beatriz Bonel

bbonel@unr.edu.ar

Universidad Nacional de Rosario, Argentina

 Néstor Di Leo

ndileo@unr.edu.ar

Universidad Nacional de Rosario, Argentina

Revista FAVE Sección Ciencias Agrarias

Universidad Nacional del Litoral, Argentina

ISSN: 2346-9129

ISSN-e: 2346-9129

Periodicidad: Semestral

vol. 22, e0010, 2023

revistafave@fca.unl.edu.ar

Recepción: 07 Diciembre 2022

Aprobación: 02 Mayo 2023

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/586/5863579016/>

DOI: <https://doi.org/10.14409/fa.2023.22.e0011>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Resumen: La erosión hídrica es un proceso que combina factores naturales y antrópicos, con efectos sobre la productividad sistémica y sobre la calidad de los recursos naturales. El objetivo de este trabajo fue realizar estimaciones de pérdidas potenciales (EP) y actuales (EA) de suelo en sistemas de producción (SP) con diferente cobertura y características topográficas, dentro de los límites de la cuenca del Arroyo Ludueña (Santa Fe, Argentina), utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos y el programa EROSION 6.0. Para doce SP se modelaron 10 años de rotaciones bajo siembra directa: agricultura continua con predominio de soja (AC), agricultura continua intensiva con alta proporción de gramíneas (ACi) y rotaciones agrícola-ganaderas con diferentes proporciones de pasturas (AG 40:60 y AG 30:70). La EP estimada afectaría la estabilidad sistémica ya que supera las 18 $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ en todos los casos. La EA fue un 18, 30 y 53% mayor en AG 70:30, ACi y AC respecto a AG 60:40, con tasas máximas y mínimas para el total de simulaciones de 7,2 y 1,0 $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. Las características del relieve evidenciaron que por encima del valor 0,131 del factor LS (longitud y gradiente de pendiente), la AC no sería sustentable por las altas tasas de EA y porque estos SP están asociados a vías de escurrimiento que pueden facilitar transporte de agroquímicos hacia sectores más bajos. La información generada a escala predial permitiría avanzar en el estudio de la dinámica del proceso erosivo y su impacto a nivel de cuencas.

Palabras clave: Ecuación Universal de pérdida de suelos, paisaje, rotaciones de cultivos.

Abstract: Water erosion is a process that combines natural and anthropic factors, with effects on systemic productivity and the quality of natural resources. The objective of this work was to make estimates of potential (EP) and current (EA) losses of soil in production systems (SP) with different coverage and topographic characteristics, within the limits of the Ludueña stream basin (Santa Fe, Argentina), using the Universal Soil Loss Equation and the EROSION 6.0 program. For twelve SP, 10 years of rotations under no-tillage were modeled: continuous agriculture with a predominance of soybeans (AC), continuous intensive agriculture with a high proportion of grasses (ACi) and agricultural-livestock rotations with different proportions of pastures (AG 40:60 and AG 30:70). The estimated EP would

affect systemic stability since it exceeds $18 \text{ tn}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ in all cases. The EA was 18, 30 and 53% higher in AG 70:30, ACi and AC compared to AG 60:40, with maximum and minimum rates for the total simulations of 7.2 and $1.0 \text{ tn}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$. The characteristics of the relief showed that above the value of 0.131 of the LS factor (length and slope gradient), the AC would not be sustainable due to the high rates of EA and because these SP are associated with runoff routes that can facilitate transport of agrochemicals towards lower sectors. The information generated at the farm scale would allow progress in the study of the dynamics of the erosion process and its impact at the basin level.

Keywords: Universal Soil Loss Equation, landscape, crop rotations.

INTRODUCCIÓN

La erosión hídrica es un proceso interactivo entre los factores del ambiente y las actividades antrópicas. Sus efectos directos están asociados a la disminución de productividad sistémica a partir de la menor retención de agua y a la pérdida de las capas más fértiles del suelo. Los efectos indirectos abarcan procesos de sedimentación en ríos, lagos o humedales que afectan negativamente la calidad del agua.

Las cuencas hidrográficas son unidades físicas que sirven como marco práctico y objetivo para la planificación y gestión del desarrollo sostenible. Bajo esta concepción, la cuenca hidrográfica representa un espacio físico, tangible, que permite la concurrencia de los distintos factores físicos, intereses humanos y actividades económicas, constituyendo un instrumento valioso del estado y la sociedad para administrar su actividad, conciliar intereses, conservar la biodiversidad y permitir un uso sostenido de los recursos naturales. En el caso particular del proceso de erosión hídrica, algunos aspectos adquieren particular relevancia dentro de los límites de los sistemas de producción, requiriendo de la generación de información a esta escala, para luego avanzar sobre la dinámica del proceso a nivel de la cuenca (García Préchac, 2012). La pérdida de productividad a causa de la erosión hídrica afecta a las cuencas de la Pampa Ondulada desde hace décadas (Bellon et al., 1957) y su importancia no ha podido ser atenuada a pesar de los avances tecnológicos registrados en la actividad agropecuaria.

Estrategias de manejo de tierras inadecuadas o inexistentes pueden crear las condiciones asociadas al uso de la tierra y/o de la cobertura superficial para que en un área el proceso de erosión hídrica se desarrolle (Cerdan et al., 2010; Mastrángelo et al., 2013). A su vez, variables sociales, económicas y políticas condicionan de forma directa al manejo de los suelos, por lo que se las considera, entre otras, actoras en el proceso erosivo (Pulido y Bocco, 2011).

Siendo una problemática de escala global, presente en la mayoría de los ambientes donde se practica la actividad agrícola, la unidad elemental de análisis del proceso erosivo es el sistema de producción, sitio en el cual toman forma funciones que determinan la magnitud del proceso de pérdida de suelos, elemento determinante de la sostenibilidad de los sistemas de producción agropecuarios, ya que la erosión reduce el potencial productivo por la propia pérdida de la masa de suelo y porque se asocia siempre a la degradación de las propiedades del suelo que no es removido (Clérico y García Préchac, 2001)

Factores como el tipo de suelo, el relieve, el clima, las prácticas de manejo y la cobertura condicionan la magnitud del proceso erosivo (Wischmeier y Smith, 1978). En este sentido, el uso de la tierra puede alterar de forma directa la cobertura superficial y así influir sobre la tasa de pérdida de suelos (Ramos et al., 2014) causando impactos medioambientales y socio económicos. El monitoreo de la dinámica del proceso erosivo resulta importante para implementar medidas de manejo y planificación del uso de los

recursos naturales y económicos (Olivetti *et al.*, 2015). La caracterización de relieve es clave para entender los procesos relacionados a las pérdidas de suelos y agua debido a la inclinación, longitud y forma de la pendiente. No obstante, es uno de los factores más difíciles de estimar cuando se utilizan modelos. En este sentido la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (EUPS), desarrollada por Wischmeier y Smith (1978) es ampliamente utilizada en diferentes regiones del mundo y con variados objetivos (Fernández, 1989; Clérico, y García Préchac, 2001; Cisneros *et al.*, 2004; Gaspari, 2005; Orué *et al.*, 2007; Brea y Balocci, 2010).

El objetivo de este trabajo fue analizar las pérdidas potenciales y actuales de suelo en sistemas de producción con diferente cobertura y características topográficas, dentro de los límites de una cuenca hidrográfica de llanura, utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en el área correspondiente a la cuenca del arroyo Ludueña, ubicada al sureste de la provincia de Santa Fe (entre 32° 45' y 33° 08' S y 61° 04' y 60° 39' O) (Figura 1). La cuenca posee una superficie de 720 km.; el clima es subhúmedo mesotermal, la temperatura y la precipitación media anual son de 17°C y 1.110 mm, respectivamente. La cabecera de la cuenca está formada por un bloque elevado y basculado hacia el NE, que define la dirección de las cañadas que conectan este bloque con el bloque hundido hacia la margen del Río Paraná. La red de cursos permanentes y transitorios mide 140 km, con una pendiente media de 1,0 ‰, siendo el caudal base del arroyo de 0,50 m³.s⁻¹ (Riccardi *et al.*, 2002).



FIGURA 1 / FIGURE 1

Figura 1. Cuenca del arroyo Ludueña. Límites y algunas poblaciones.
Figure 1. Ludueña stream basin. Limits and some populations

La EUPS permite estimar la erosión hídrica potencial y actual de una zona o un sistema de producción y se expresa de la siguiente forma:

$$A:R.K.L.S.C.P$$

Siendo A la pérdida de suelo por unidad de superficie (tn.ha⁻¹.año⁻¹). R es el factor lluvia o índice de erosión pluvial (MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹). K es el factor erodabilidad del suelo (tn.ha.h.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹). L es el factor

longitud de pendiente (adimensional). S es el grado de la pendiente (adimensional). C es el factor cultivo y/o ordenación. P es el factor prácticas de cultivo.

En el caso del cálculo de la erosión hídrica potencial se usan sólo los factores R , K , L y S , considerando la ausencia de cobertura vegetal ($C:1$) y de prácticas de manejo ($P:1$) (Castro Mendoza, 2013; FAO, 2000). Para realizar el cálculo de las tasas actual y potencial de erosión hídrica a través de la EUPS se empleó el programa EROSION 6.0 (García Préchac, 2009) difundido en la República del Uruguay y en Argentina (Clérici y García Préchac, 2001). Para ello se relevó un total de 12 sistemas de producción (SP) ubicados entre las cotas 62,5 y 37,5 metros snm dentro de la cuenca (Figura 2). La superficie promedio de los SP fue de 108,1 ha. El uso de la tierra en todos los casos fue agricultura continua, destinando en promedio 77,05% de la superficie a soja de primera, 10,42% a trigo – soja de segunda y 12,53% a maíz.

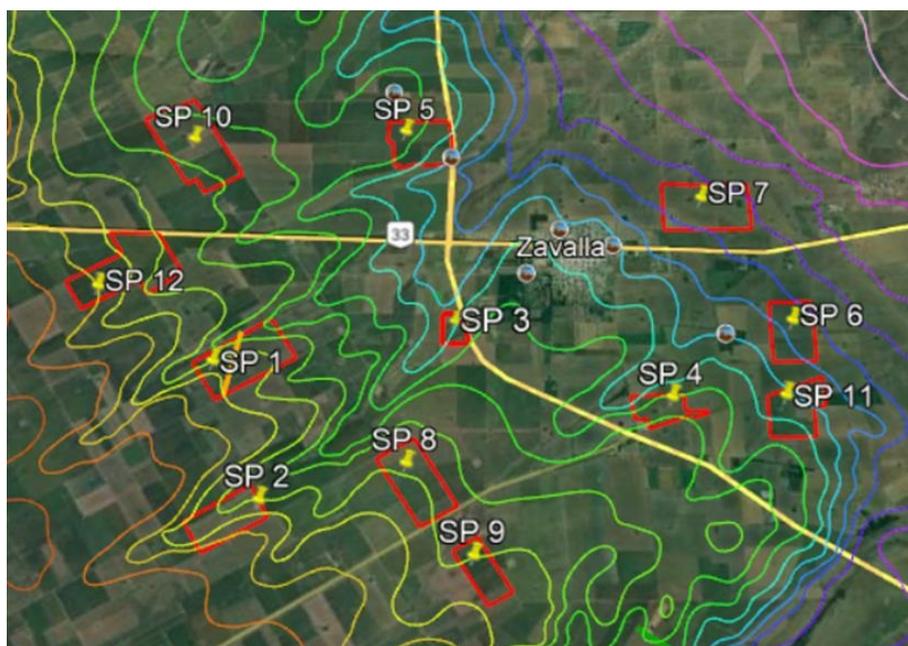


FIGURA 2 / FIGURE 2

Figura 2. Ubicación y límites de los sistemas de producción (SP)

Figura 2. Location and boundaries of production systems (PS)

En el 75% de los sistemas relevados se encuentra la serie Peyrano y en los restantes la serie Roldán. El primer suelo es un Argiudol típico de textura franco limosa en el horizonte superficial, asociado a un relieve ondulado, con pendientes suaves y extendidas del sector sur y oeste de la cuenca. La serie Roldán, se encuentra sobre lomas extendidas, de escaso gradiente de pendiente, en algunos casos con limitantes por escasa velocidad de drenaje. Es un Argiudol típico / vértico, de textura franco limosa en el horizonte superficial. Ambas series se caracterizan por la presencia de un horizonte B textural con alto contenido de arcilla (cerca del 50%) lo que en algún caso condiciona la velocidad de pasaje del agua hacia la profundidad.

La condición productiva general de los doce SP seleccionados es buena, alcanzando Índices de Productividad en el rango de 91 a 67, según consta en listado de series del Mapa de suelos de la provincia de Santa Fe (http://rafaela.inta.gov.ar/mapas/suelos/__series/index.htm). De la misma fuente se obtuvieron los porcentajes de materia orgánica, de limo, de arenas muy finas y de arcilla, necesarios para estimar el factor de erodabilidad del suelo (K). Los códigos correspondientes a estructura y permeabilidad fueron estimados de acuerdo al tipo de suelo predominante en cada sitio. Los valores de K ingresados al modelo fueron 0,5 y 0,486 para las series Roldán y Peyrano respectivamente. Para la determinación de los valores de longitud (L) y gradiente (S) de la pendiente se elaboró un mapa digital de curvas de nivel (equidistancia: 2,5 metros) apoyado sobre una imagen satelital de la cuenca. A partir de transectas generadas sobre este documento cartográfico se

calculó el valor promedio de L y S para cada SP. Con ésta información el programa estableció el valor del factor LS. Para el factor R se consideró el valor sugerido por el modelo Erosión 6.0 y fue de 617, correspondiente a la localidad de Rosario, ubicada a pocos kilómetros del área de estudio. La acción erosiva de la lluvia se altera entre otros factores por efecto de la cobertura superficial. En este sentido el factor C de la EUPS, representa la acción protectora de las plantas frente al impacto de las gotas de lluvia y varía con cada cultivo y a lo largo de su ciclo.

En este trabajo se modelaron para todos los SP analizados, cuatro rotaciones de 10 años de duración, dos agrícolas continuas (AC) y dos agrícola-ganaderas (AG). La rotación agricultura continua comprende cultivos predominantes en la cuenca, con alto predominio de soja (Di Leo y Montico, 2011). La secuencia de cultivos en la rotación agricultura continua intensiva (ACi) considera una mayor proporción de gramíneas. Para las rotaciones AG se tuvieron en cuenta dos proporciones de pasturas (Tabla 1). El sistema de labranzas considerado fue el de siembra directa.

Rotación	Secuencia de cultivos en 10 años
AC	80% Sj - 10% Mz - 10% Tr/Sj
ACi	33 % Sj - 33 % Mz - 33% Tr/ Sj
AG 70:30	30% Sj - 20% Mz - 20% Tr/Sj - 30% PP
AG 60:40	20% Sj - 20% Mz - 20% Tr/Sj - 40% PP

TABLA 1 / TABLE 1

Tabla 1. Modelos de rotación y secuencia de cultivos

Table 1. Crops rotation and sequence models

AC: agricultura continua; ACi: agricultura continua intensiva; AG: rotación agrícola-ganadera; Sj: soja; Mz: maíz; Tr: trigo; PP: pastura

El valor de C considerado para cada cultivo fue de 0,13 para Soja, 0,0393 para Trigo/Soja y 0,10 para Maíz. En el caso del uso ganadero el valor C fue de 0,02 y 0,0134 para pasturas de uno y dos o más años respectivamente (Scotta y Gvozdenovich, 2014). De acuerdo a la proporción de usos y cultivos presentes en cada rotación se ingresó manualmente el valor C promedio para toda la secuencia. Al no existir prácticas de conservación específicas, el factor P asumió el valor 1 para todos los sistemas. Con la información detallada previamente se estimaron la tasa de erosión anual potencial y la tasa actual promedio de cada rotación para cada sistema de producción.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los componentes paisajísticos gradiente y longitud de la pendiente del conjunto de SP considerados determinan combinaciones de L y S en el rango que varía entre 0,060 y 0,206 (Tabla 2), valores similares a los estratos más bajos obtenidos por Gaitán *et al.* (2017) para la llanura pampeana. Esto, en un área caracterizada por pendientes predominantemente largas y no muy inclinadas, atenúa la potencialidad erosiva del ambiente. Las salidas del modelo de Erosión 6.0 en este trabajo arrojan tasas anuales de erosión potencial en el rango de 18 a 62 tn.ha⁻¹.año⁻¹.

Nº SP	UC	L	S	L.S	EP (tn.ha ⁻¹ .año ⁻¹)
9	Py	0,2	918	0,06	18,0
7	Rd	0,23	1010	0,065	20,1
8	Py	0,26	743	0,068	20,4
12	Py	0,36	625	0,085	25,5
6	Rd	0,38	1250	0,093	27,9
11	Py	0,43	584	0,097	29,1
10	Py	0,47	1700	0,115	34,5
5	Rd	0,56	1120	0,13	40,1
3	Py	0,6	584	0,131	40,4
1	Py	0,82	585	0,181	54,3
4	Py	0,87	639	0,195	58,5
2	Py	0,89	822	0,206	61,8

TABLA 2 / TABLE 2

Tabla 2. Unidad cartográfica (UC), factor largo (L) y gradiente de pendiente (S) y erosión potencial (EP) en sistemas de producción (SP).

Table 2. Cartographic unit (CU), long (L) and slope gradient (S) factor and potential erosion (PE) in production systems (PS).
Py: serie Peyrano; Rd: serie Roldán

Tomando la clasificación de FAO (1992) seis de los doce sistemas simulados estarían comprendidos dentro de la categoría de erosión potencial ligera (0 - 30 tn.ha⁻¹.año⁻¹), cinco en la categoría de erosión potencial baja (31 - 60 tn.ha⁻¹.año⁻¹) y uno en la categoría moderada (61 - 120 tn.ha⁻¹.año⁻¹). No obstante, la magnitud de las pérdidas halladas, en tierras de alta aptitud productiva y a pesar de la amplia gama de alternativas que ofrece el actual modelo tecnológico (Denoia *et al.*, 2006), alerta sobre la necesidad de atenuar al extremo los riesgos que implican ciertas prácticas, en cuanto a disminución de la profundidad efectiva, al almacenaje de agua del suelo y a otros numerosos efectos negativos sobre propiedades del suelo que condicionan su productividad (den Biggelaar *et al.*, 2001). Está demostrado que la producción de un cultivo se puede reducir entre 10 y 25% cuando la eficiencia de utilización del agua por el agroecosistema disminuye entre 20 y 40% debido a la erosión (Pimetel y Kounang, 1998).

Existen reportes de que el rendimiento de soja puede disminuir debido a la erosión hídrica un 16% (Gvozdenovich *et al.* (2015), el de maíz entre 20 y 29% (Contreras-Hinojosa *et al.*, 2005) o, expresado de otra manera, por cada centímetro de suelo erosionado se pueden perder hasta 40 kg de maíz (den Biggelaar *et al.*, 2000) y hasta un 6,5% de la producción de trigo (Monreal *et al.*, 1995). Por otra parte, la pérdida de nutrientes

generada por la erosión es también una causa determinante de la declinación de la productividad de los agroecosistemas, aspecto abordado por numerosos investigadores (Pimetel *et al.*, 1995; Martha *et al.*, 2004; Bakker *et al.*, 2005; Frenton, *et al.*, 2005). Este trabajo pone en evidencia que la existencia de un potencial de erosión determinado por la topografía exige acentuar el empleo de pautas de manejo y conservación de suelos tanto en el proceso de planificación de los sistemas de producción como en la toma de decisiones de orden político - ambiental.

Como se viene discutiendo, la selección de cultivos dentro de una rotación, así como el tipo de rotación (agrícola o agrícola/ganadera) es una de las pautas de manejo que contribuye a la conservación de suelos y aguas. En la Tabla 3 se pueden observar los resultados obtenidos con el modelo de Erosión 6.0 simulando usos del suelo que integran cultivos anuales y pasturas. Bajo las condiciones en la que se realizó este trabajo, las mayores tasas de erosión se presentan en AC, con valores que duplican la pérdida estimada en la rotación agrícola-ganadera con mayor proporción de pasturas (AG 60:40). Esta tendencia coincide con los resultados de Sasal *et al.* (2008) quienes encontraron que, en Argiudoles ácuicos, las secuencias de maíz o soja continuos superan siete veces la pérdida de agua respecto a las parcelas con pasturas permanentes, mientras que en Trigo/ Soja y Maíz-Trigo/Soja se midieron valores intermedios y similares a la pastura respectivamente.

	Media	Mín	Máx	DE	CV %
	tn.ha ⁻¹ .año ⁻¹				
AC	4,22	2,2	7,2	1,76	42
ACi	2,85	1,5	4,9	1,2	42
AG 70:30	2,45	1,2	4,3	1,06	43
AG 60:40	2,00	1,0	3,5	0,87	44

TABLA 3 / TABLE 3

Tabla 3. Medidas resumen de pérdida de suelo por erosión hídrica (tn.ha⁻¹.año⁻¹) para los usos evaluados.

Table 3. Summary measures of soil loss due to water erosion for the uses evaluatees.

AC: agricultura continua; ACi: agricultura continua intensiva; AG: rotación agrícola-ganadera; DE: desvío standar; CV: coeficiente de variación; Mín: mínimo; Máx: máximo

Respecto a la importancia del problema, Bonel *et al.* (2015) proponen una clasificación de rangos de erosión hídrica actual adaptada a condiciones locales, estableciendo las siguientes categorías de gravedad, en tn.ha⁻¹.año⁻¹: Nula: 0 - 0,9; Baja: 0,91 – 3,0; Media: 3,1 – 6,0; Alta: 6,1 – 10,0; Muy Alta: mayor a 10. Los valores medidos de pérdidas por erosión hídrica actual hallados en este trabajo con los usos ACi, AG 70:30 y AG 60:40 serían bajos según esta clasificación. Solo el uso AC muestra valores medios. No obstante, debido a la gran variabilidad encontrada, los valores máximos reflejan que pueden alcanzarse niveles de erosión hídrica actual altos en AC y medios en ACi, AG 70:30 y AG 60:40 (Tabla 3). Cabe aclarar que para toda la cuenca del Arroyo Ludueña los mencionados autores determinaron que un 61% de la superficie se encontraba en el rango de erosión hídrica actual Medio, un 30% en el rango Nulo/Bajo y un 10% en el rango Alta/Muy Alta.

En este trabajo las rotaciones más intensas, donde el suelo está ocupado con cobertura aérea y biomasa radical la mayor parte del tiempo, también denotaron ser más conservadoras que la agricultura con predominio de soja (Figura 3), independientemente del factor LS y en coincidencia con lo hallado por Dueschle *et al.* (2019), quienes determinaron que el incremento en la producción de fitomasa a causa de la

intensificación de la rotación disminuyó un 84% la pérdida de suelo respecto a soja continua. Los cultivos de maíz y trigo están asociados a la menor tasa de erosión (FAO, 2000).

Tomado el uso AG 60:40 como el más intenso en cuanto a rotaciones, los usos AG 70:30, ACi y AC perdieron un 18, 30 y 53% más de suelo respectivamente, y como promedio de sitios, tendencia que podría explicarse por lo planteado por Fernández *et al* (2020) al concluir que las pasturas perennes en alternancia con cultivos agrícolas presentan efectos positivos sobre aspectos biológicos y físicos del suelo, particularmente sobre la macroporosidad, aspecto central en el movimiento y almacenaje del agua del suelo y por ello sobre el proceso de erosión hídrica. En el mismo sentido, Kraemer *et al* (2013) atribuyen incrementos significativos en el escurrimiento y en la erosión hídrica potencial al avance de la agricultura sobre la ganadería en áreas medias y bajas de una cuenca hídrica de la Región Pampeana.

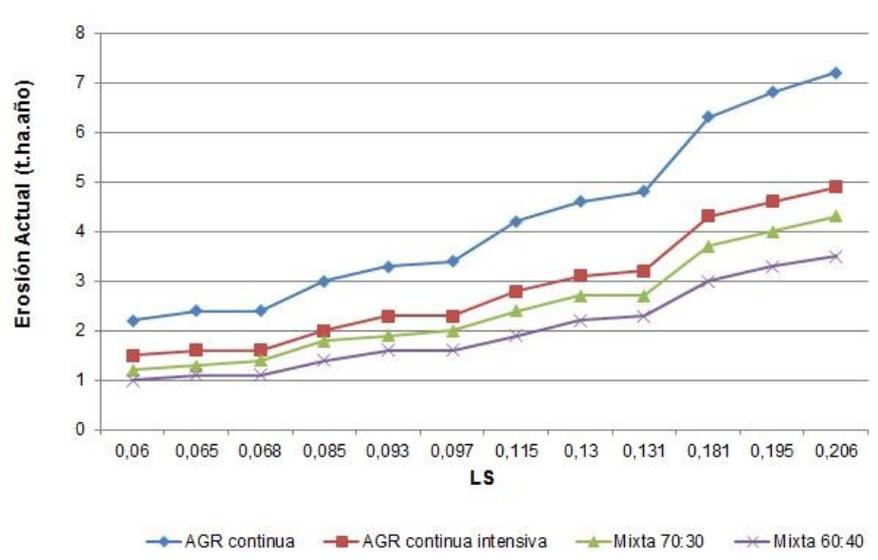


FIGURA 3 / FIGURE 3

Figura 3. Uso de la tierra y erosión hídrica actual
Figure 3. Land use and actual hydric erosion

Se puede decir que hasta un factor LS de 0,085 el relieve no constituye un factor de riesgo mayor y cualquier uso determina pérdidas menores a $3 \text{ tn.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$. Los sitios con valores de LS entre 0,085 y 0,131 se encuentran con niveles medios de erosión hídrica donde la definición del uso ubica los niveles de pérdida de suelo cerca de un nivel más bajo o más alto y riesgoso. Por encima de valores de LS de 0,131 la AC sería inviable desde el punto de vista de la sustentabilidad sistémica puesto que se alcanzan valores altos de erosión. Estos resultados evidencian la impronta del relieve en las pérdidas de suelo, más aún si se tiene en cuenta que la ubicación de los SP con un LS mayor a 0,131 (números 1, 2, 3, 4 y 5) se encuentran ubicados en sectores de la cuenca asociados a vías de escurrimiento, lo que podría facilitar el transporte sedimentos y de residuos de herbicidas, insecticidas y/o fertilizantes hacia los ambientes bajos de la cuenca. La alta variabilidad encontrada en los valores de erosión hídrica actual (CV entre 42 y 44%) se explica por la variabilidad del factor LS. Cabe aclarar que la obtención de los datos de longitud y gradiente de pendiente a partir de mapas digitales de curvas de nivel resultó ser una forma sencilla de establecer estos parámetros, necesarios para el cálculo del factor LS de la EUPS. El análisis de la problemática de erosión hídrica a nivel de SP permite hacer foco en las coberturas dadas por los cultivos y pasturas, pero se encuentra fuertemente condicionada por la topografía, aspecto que debiera ser tenido en cuenta al momento de planificar y gestionar el desarrollo sostenible de una región o cuenca hidrográfica con riesgos potenciales de erosión hídrica.

CONCLUSIONES

Los sistemas de producción estudiados, a pesar de presentar condiciones de gradiente y longitud relativamente bajas, poseen niveles de erosión potencial que en todos los casos superan las 18 tn.ha⁻¹.año⁻¹, alcanzando valores extremos que comprometerían, de ocurrir, la estabilidad sistémica.

La alternativa de uso de la tierra que contempla la alternancia de cultivos agrícolas con pasturas generó resultados asociados a una menor la tasa de erosión respecto a la propuesta de agricultura continua. El registro de elevadas tasas de erosión actual en sistemas de producción ubicados en las proximidades de las vías de escurrimiento indican la presencia de un área de riesgo respecto a la posible emisión de excedentes hídricos, sedimentos y contaminantes hacia sectores más bajos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bakker, M.M., Govers, G., Jones, R. & Rounsevell, M. (2005). The effect of soil erosion on agricultural productivity. *Geophysical Research Abstracts*, 7, 695- 698.
- Bellon, C., Calcagno, J., Ipucha Aguirre, J., Prego, A.N Quevedo, C. & Tallarico, L. (1957). *La erosión del suelo en la cuenca occidental del Carcarañá*. INTA. IDIA N° 120. 28 pp.
- Bonel, B.; Denoia, J.; Di Leo, N. & Montico, S. *Erosión y Degradación de Suelos. Provincia de Santa Fe. En. El deterioro del Ambiente en la Argentina / Roberto Casas ... (et al.)*, 1ª ed. Ciudad autónoma de Buenos Aires. FECIC, 2015. Vol 2, tomo II, pp 275 – 285.
- Brea D. & F. Balocci Eds. (2010). *Programa Hidrológico Internacional (PHI)*. Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). Documento Técnico N° 22.
- Castro Mendoza, I. (2013). Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madín, México. *RIHA* [online]. Vol.34, n.2, pp. 3-16.
- Cerdan O., Govers G., Le Bissonnais & D. Rat, D. (2010) . Rates and spatial variations of soil erosion in Europe. A study based on erosion plot data. *Geomorphology*. 122 (1-2) pp 167 - 177
- Cisneros, J.M.; De Prada, J.D.; Degioanni, A.; Cantero Gutiérrez, A.; Gil, H.; Reynero, M.A.; Shah, F. & B. Bravo Ureta. (2004). Erosión hídrica y cambio de uso de los suelos en Córdoba. Evaluación mediante el modelo RUSLE 2. *Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná (Entre Ríos)*.
- Clérici, C. & Garcia Préchac F. (2001). Aplicaciones del modelo USLE/RUSLE para estimar pérdidas de suelo en Uruguay y la región sur del río de La Plata. *Agrociencia*. Vol 5 N° 1. Pág 92 - 103.
- Contreras-Hinojosa, J., Volke-Haller, V., Oropeza-Mota, J., Rodríguez-Franco, C., den Biggelaar, C., Lal, R. & K. Wiebe. (2005). Impact of soil erosion on crop yields in North America. *Advances in Agronomy*, Volume 72. 49 pp
- den Biggelaar, C., Lal, R., Wiebe, K., & Breneman, V. (2000). Impact of soil erosion on crop yields in North America. *Advances in Agronomy*, 1–52.
- Denoia, J., M. Vilche, S. Montico, B. Bonel & Di Leo, N. (2006). “Análisis descriptivo de la evolución de los modelos tecnológicos difundidos en el distrito Zavalla (Santa Fe) desde una perspectiva energética”. *Revista Ciencia, Docencia y Tecnología* , 33, 211- 226.
- Deuschle, D., Minella J., Hörbe T., Londero A. & Schneider, F. (2019). Erosion and hydrological response in no-tillage subjected to crop rotation intensification in southern Brasil. *Geoderma*, 340, 157-163.
- Di Leo, N. & Montico, S. (2011). Sustentabilidad de diferentes modelos de uso de la tierra en unidades de paisaje de una cuenca del Sur de Santa Fe, Argentina. *Natura Neotropical*. 1(42). Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/270499162_Sustentabilidad_de_diferentes_modelos_de_uso_de_la_tierra_en_unidades_de_paisaje_de_una_cuenca_del_Sur_de_Santa_Fe_Argentina
- FAO. (1992). La erosión del suelo en la República Argentina. Documentos FAO. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/t2351s/t2351s0b.htm>. Consultado el 15/07/2014.

- FAO. (2000). *Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos*. Boletín de Tierras y Aguas de la FAO N° 8. 220 pp.
- Fernández, R., Furch, N., Bissolino, M., Frasieri, I., Schergeri, D. & A. Quiroga (2020). Efecto de las pasturas perennes en la fertilidad física y biológica en molisoles de la Región Semiárida Pampeana. *Cienc. Suelo (Argentina)* 38 (1): 133-148.
- Fernández, R., L. Castello & H. O'Levy. (1989). Estimación de la erosionabilidad de los suelos del norte de la provincia de misiones. *Ciencia del Suelo*. Vol 7 N° 1-2.
- Frenton, T.E., Kazemi, M. & M.A. Lauterbach-Barrett. (2005). Erosional impact on organic matter content and productivity of selected Iowa soils. *Soil and Tillage Research* 81, 163–171.
- Gaitán, J., Navarro, MF., Tenti Vuegen, L., Pizarro, MJ., Carfagno, P. & S. Rigo. (2017). *Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina*. Editado por Juan Gaitán, María Fabiana Navarro, Patricia Carfagno, Leonardo Tenti Vuegen. – 1ª. ed. – Buenos Aires: Ediciones INTA. 65 pp.
- García Préchac, F., C. Clérici, M. Hill & I.T. Focus. (2009). EROSION 6.0. Software basado en USLE/RUSLE para estimar pérdidas de suelo por erosión para Uruguay y el sur de la cuenca del Plata. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy>. Consultado el 13/06/2014
- García Préchac, F. (2012). La planificación predial vs la planificación en cuencas con el objetivo de conservación de suelos. *XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*. Mar del Plata. Argentina.
- Gaspari, F.J. (2005). Ordenamiento Territorial de Micro cuencas en base al riesgo de erosión hídrica superficial a través de la aplicación de SIG. *Revista Electrónica de la REDLACH. FAO*. Número 1, Año 2.
- Gvozdenovich J., Pioto C. & O. Papparotti. (2015). Variación del rendimiento del cultivo de soja debido a la erosión hídrica en Entre Ríos. Ediciones INTA. INTA EEA Paraná. Serie Extensión 76:01-108
- Kraemer, F., Chagas, C., Marré, G., Palacín, E. & O. Santanatoglia. (2013). Desplazamiento de la ganadería por la agricultura en una cuenca de La Pampa ondulada: Efectos sobre el escurrimiento superficial y erosión hídrica. *Cienc Suelo (Argentina)* 31 (1):83-92.
- Martha, M.B., Gerard, G. & M.D. Rounsevell. (2004). The crop productivity–erosion relationship: an analysis based on experimental work. *Catena* 57, 55–76.
- Mastrángello, E., Eltz, F., Nicoloso, R., Cassol, E., Bertol, I., Amado, T. & U. Girardello. (2013). Residual effect of soil tillage on water erosion from a Typic Paleudalf under long - term no- tillage and cropping systems. *Rev Bras Ci Solo*. 37: 1689 - 1698.
- Monreal, C. M., Zentner, R. P. & J.A. Robertson. (1995). The influence of management on soil loss and yield of wheat in chernozemic and luvisolic soils. *Can. J. Soil Sci.* 75, 567–574.
- Olivetti, D., R. Mincanto, J. Ayer, M. Silva & N. Curi. (2015). Modelagem espacial e temporal da erosão hídrica em Latossolo vermelho distrófico com uso agropecuário numa sub-bacia hidrográfica do sul de Minas Gerais. *Ciênc. Agrotec., Lavras*, v.39, n.1, p.58-67
- Orúe, M., P. Laterra & F. Cabria. (2007). *Expansión de la frontera agrícola en Argentina y erosión hídrica: mapas de riesgo utilizando el Modelo USLE con apoyo de SIG*. En: TELEDETECCIÓN - Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional. Ed. Martin, 2007, Pp 185 - 192.
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, Fitton, L., Saffouri, L. & R. Blair. (1995). Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science* 267, 1117–1123.
- Pimentel, D. & N. Kounang. (1998). Ecology of soil erosion in ecosystems. *Ecosystems* 1, 416–426.
- Pulido S. & G. Bocco Verdinelli. (2011) ¿Cómo se evalúa la degradación de tierras? Panorama global y local. *Interciencia*, 36-2, 96-103.
- Ramos, J.C., I. Bertol, F. Barbosa, J. Marioti & R. Werner. (2014). Influencia das condições de superfície e do cultivo do solo na erosão hídrica em um Cambissolo húmico. *R. Bras. Ci. Solo*, 38:1587-1600

- Riccardi, G. A.; C. M. Scuderi & H. R. Stenta. (2002). *Modelado de escurrimiento superficial con alto nivel de detalle en la cuenca del arroyo Ludueña, Santa Fe, Argentina*. XIX Congreso Nacional del Agua. Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina
- Sasal, C., M Wilson, N. Garciarena, H. Tasi & O. Paparotti. (2008). *Escurrecimiento y pérdidas de suelo en sistemas de cultivo bajo siembra directa. Efecto de algunas propiedades edáficas superficiales*. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis. Argentina.
- Scotta E & J. Gvozdenovich. (2014). *Factores C para el modelo USLE*. En: XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Reunión Nacional “Materia Orgánica y Sustancias Húmicas” (2014, Bahía Blanca, Argentina).
- Wischmeier, W. & D. Smith. 1978. *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning*. U.S.D.A. A.H.n 537. Washington.