

## DISEÑO DE PARCELAS MÓVILES DE ESCURRIMIENTO PARA ESTIMACIÓN DE PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA

PATRICIA FABIANA CARFAGNO<sup>1\*</sup>, MAXIMILIANO EIZA<sup>1</sup>, DAINA SAINZ<sup>1</sup>,  
FILIPE BEHRENDTS KRAEMER<sup>23</sup>, CELIO CHAGAS<sup>2</sup>

Recibido: 03/04/2017

Recibido con revisiones: 23/03/2018

Aceptado: 15/08/2018

### RESUMEN

Argentina transita hace varios años un proceso de agriculturización favorecido por políticas macroeconómicas y la adopción de nuevas tecnologías. Asimismo, se produjo la expansión de la frontera agropecuaria, especialmente en la región semiárida Pampeana y Chaqueña, con incorporación de tierras al cultivo intensivo de granos y al monocultivo de soja, a expensa de tierras desmontadas, o que estaban bajo uso ganadero y en pastizal natural; incrementando la superficie expuesta a los procesos erosivos. Bajo este escenario, un reciente estudio indica que el área afectada por erosión hídrica (EH), aumentó a 64,6 millones de hectáreas, a nivel nacional. De esta forma, es necesario cuantificar las pérdidas de suelo con mediciones en red de parcelas de escurrimiento en diferentes regiones del país. El objetivo de este trabajo fue el desarrollo de parcelas de escurrimiento estandarizadas que se puedan distribuir en diferentes regiones del país y se utilicen para estimar la erodabilidad de los suelos. En el Instituto de Suelos (CIRN INTA) se desarrollaron parcelas móviles construidas de chapas de zinc, con una superficie de captación de 60 m<sup>2</sup> (15 m de largo y 4 m de ancho). Se instalan a favor de la pendiente, de manera que los escurrimientos son conducidos a dos cajas estabilizadoras que, en conjunto recolectan la centésima parte del escurrimiento total. Para la calibración de las parcelas se registraron precipitaciones, volúmenes escurridos y cantidad de sedimentos. Las relaciones entre la lámina de agua escurrida (mm) y las PP (precipitaciones, mm) manifestaron una alta correlación positiva ( $r = 0,86$ ) y un umbral para la consideración de lluvias como erosivas de 15,4 mm. Las parcelas móviles desarrolladas, son apropiadas para el estudio de la pérdida de suelo por erosión hídrica por realizarse las mediciones directamente a campo bajo las condiciones de lluvias naturales. Por su bajo costo y sencilla instalación y mantenimiento resultan de fácil adopción, lo que permitirá conformar una red de ensayos a lo largo del territorio.

**Palabras clave:** pérdida de sedimentos; EUPS; precipitaciones erosivas

## DESIGN OF RUNOFF PLOTS FOR SOIL LOSS ESTIMATION BY WATER EROSION

### ABSTRACT

Argentina is going through a process of agriculture favored by macroeconomic policies and the adoption of new technologies. Likewise, the agricultural frontier was expanded, especially in the Pampean and Chaqueña semi-arid region, with the incorporation of land to the intensive cultivation of grains and the monoculture of soybeans, at the expense of dismantled lands, or under livestock use and natural pasture. A recent study indicates that 23% of the national territory is affected by water erosion (EH) (64,6 million hectares). Due to this transformation in the production systems, it is necessary to quantify soil losses with network measurements of runoff plots in different regions of the country. The objective of this work was to develop representative runoff plots that can be distributed in different regions of the country and used to estimate the erodability of soils. In the Instituto de Suelos (CIRN INTA), mobile plots were built using zinc sheets, with a catchment area of 60 m<sup>2</sup> (15 m long and 4 m wide). They are installed down slope, so that the runoff is led to two stabilizing boxes that collectively collect one hundredth of the total runoff. For the calibration of the plots precipitations, drained volumes and amount of sediment were registered. The relationships between the drained water sheet (mm) and the rainfall (mm) showed a high positive correlation ( $r = 0,86$ ) and an erosive rainfall threshold of 15,4 mm. The developed mobile plots are suitable for the study of soil loss by water erosion because measurements are made directly in the field under the conditions of real rains. Due to their low cost and simple installation and maintenance, they are easy to adopt, which will make it possible to establish a test network throughout the territory.

**Key words:** loss of sediments; EUPS; erosive rainfall.

1 Instituto de Suelos. INTA Castelar

2 FAUBA

3 CONICET

\* Autor de contacto: carfagno.patricia@inta.gob.ar

## INTRODUCCIÓN

La República Argentina posee 280 millones de hectáreas, de las cuales el 25% se encuentra bajo clima húmedo, 15% en clima semiárido y el 65% restante presenta características áridas. En las últimas décadas Argentina ha transitado un proceso de agriculturización favorecido por la macroeconomía y la adopción de nuevas tecnologías como genética, agroquímicos y del sistema de siembra directa (SD) (García *et al.*, 2000). En este contexto se produjo la expansión de la frontera agropecuaria, especialmente en la región semiárida Pampeana y Chaqueña, mediante la incorporación de tierras al cultivo intensivo de granos y del monocultivo de soja, a expensa de tierras ocupadas por bosque natural (desmonte) (FAO, 2016), o tierras bajo uso ganadero y pastizal natural (Díaz-Zorita *et al.*, 2002). Este fenómeno afectó negativamente a un gran número de provincias, especialmente aquellas en las que se incrementó la actividad agropecuaria del centro y norte del país, como La Pampa, San Luis, Córdoba, Santiago del Estero, Chaco, Tucumán y Salta, entre otras.

Como resultado de esta transformación, el área cultivada de soja se incrementó de 7,1 a 20,3 millones de hectáreas a nivel nacional, durante el período 1998/2016 (Bolsa de Comercio Rosario, 2016). Asimismo, en algunos años, el sistema de cultivo preponderante ha sido el monocultivo con barbechos invernales, el cual promueve el incremento de las superficies de suelo con escasa cobertura de rastrojos susceptibles a los procesos de erosión, aún manejados bajo SD. En este sentido, en un reciente estudio Casas & Albarracín (2015) estimaron que el 23 % del territorio nacional está afectado por erosión hídrica (EH), lo cual representa 64,6 millones de hectáreas, cifra sin dudas absolutamente alarmante. Cabe destacar que las estimaciones realizadas en 1998 mostraban que la superficie afectada por procesos de EH en Argentina era de 25 millones de hectáreas en todos sus grados (Prosa, 1988; FAO, 1993). El incremento de la superficie afectada resulta altamente significativo, aunque la diversidad de metodologías empleadas en los distintos estudios podría tener cierta incidencia. De todos modos, estos estudios indican que el

mayor aumento ocurrió en los grados de EH leve y moderado, lo cual representa un desafío para encontrar herramientas y sistemas de cultivo que permitan controlar este proceso.

La EH es el proceso de desprendimiento y arrastre de las partículas del suelo causado por el agua que disminuye la productividad de los suelos y afecta la salud de los ecosistemas asociados. Desde la ecuación de estimación de pérdida de suelo, los factores involucrados en la EH son: potencial erosivo de la lluvia, susceptibilidad del suelo a la erosión, longitud de la pendiente, inclinación del terreno, manejo del suelo y del cultivo y de las prácticas conservacionistas complementarias. La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) desarrollada por Wischmeier & Smith (1978) es el método más generalizado para la predicción de la pérdida promedio anual de suelo por EH para una rotación de cultivos.

Este modelo se basa en interpretaciones estadísticas desarrolladas a partir de una amplia base de datos experimental distribuidas en EEUU, que combina diferentes condiciones climáticas, de suelo, pendiente y sistemas de uso y manejo del suelo. No obstante, esta ecuación, con excepción de algunas localidades, no se encuentra calibrada y validada para su utilización en Argentina, utilizándose valores de tablas originales del USDA. Su calibración requiere mediciones de escurrimiento y erosión a campo sostenidas en el tiempo, personal entrenado e infraestructura adecuada (Meyer, 1994). Un ejemplo de dicho trabajo en Argentina lo constituyen las parcelas de escurrimiento de INTA Paraná, cuya construcción data de 1970 (Scotta *et al.*, 1986), y que a la fecha siguen aportando información valiosa (Sasal *et al.*, 2010). Existen antecedentes de estudios a diferentes escalas de EUPS, por ejemplo, a nivel de microparcels fue posible estudiar subprocesos asociados a la erosión laminar (Chagas, 1995; Chartier & Rostagno 2010) y sus posibles consecuencias ambientales (Chagas *et al.*, 2007; Kraemer, (Chagas *et al.*, 2007; Kraemer, 2011). A su vez a nivel de microcuencas, se llevaron a cabo otro tipo de estudios que permitieron relacionar los registros de escurrimientos con factores climáticos en Pampa Ondulada y Pampa Serrana bonaerense (Chagas *et al.*, 2008, Ares

*et al.*, 2014), como así mismo la producción de sedimentos en función de conceptos novedosos como la conectividad hidrológica y sedimentológica (Ares *et al.*, 2016). A su vez, se pueden citar estudios en la Pampa Ondulada empleando radionucleídos como el  $^{137}\text{Cs}$  que permitieron establecer relaciones empíricas entre las pérdidas de suelo de largo plazo (1950-2000) y la longitud de las pendientes, comprobándose además, la ocurrencia de tasas erosivas que superaban en 200% la tolerancia admitida durante el periodo analizado (Buján *et al.*, 2003).

En la bibliografía se encuentran parcelas de escurrimiento de superficie y diseño variados (Meyer, 1994), desde microparcels de 0,0625 m<sup>2</sup> (Irurtia & Mon 1994), 1 m<sup>2</sup> (Chagas 1995, Chartier & Rostagno, 2010) hasta parcelas de estructura de cemento, fijas que se mantiene por años en el mismo sitio (Scotta *et al.*, 1986). En experimentación con parcelas pequeñas, toda la esorrentía se recolecta en una misma cisterna donde se almacena hasta medirla y extraer las muestras. Sin embargo, la incertidumbre en los resultados es alta debido a la heterogeneidad edáfica contabilizada en este tipo de instrumentos experimentales. En parcelas de mayor tamaño, este inconveniente estaría minimizado. No obstante, resulta poco práctico almacenar la totalidad del volumen escurrido, por lo cual se utilizan dispositivos tales como partidores para dividirla con exactitud, de manera que una fracción conocida se pueda separar y almacenar. Un dispositivo ampliamente utilizado en EE.UU. es el divisor GEIB, que está construido por cierto número de ranuras iguales. El agua que pasa por la ranura central se almacena, mientras que la que pasa por las ranuras laterales se deja correr y drena por fuera de la parcela.

Sin dudas los trabajos de investigación sobre EH a diferentes escalas resultan complementarios entre sí, siendo las parcelas de escurrimiento de la EUPS la herramienta de medición de campo más ampliamente adoptada a nivel mundial para este tipo de estudios ya que permite comparar con cierta versatilidad, factores climáticos, edáficos, fisográficos y de manejo entre sí en muy diversos ámbitos. Particularmente resultarían útiles para analizar la forma en que los incrementos

observados en intensidad de lluvias, en combinación con las nuevas tecnologías productivas desarrolladas en los últimos 20 años, pueden afectar a la EH en nuestro país. Teniendo en cuenta la transformación en los sistemas productivos que ha ocurrido desde la última evaluación de los suelos afectados por el proceso de EH a nivel nacional (Casas & Albarracín 2015) y las proyecciones climáticas a largo plazo (Magrin *et al.*, 2014), desde el Modulo de EH del PNS se planteó la necesidad de generar información con alcance nacional mediante una red de parcelas móviles de escurrimiento. Para lograr que la información sea extrapolable es necesario en una primera etapa de puesta a punto de dichas parcelas, para luego distribuirlas en los diferentes nodos participantes del proyecto y de esta manera poder cuantificar las pérdidas de suelo con mediciones en red en diferentes regiones del país.

Por lo expuesto, el objetivo del presente trabajo fue exponer el diseño de las parcelas de escurrimiento desarrolladas en INTA Castelar y evaluar los primeros resultados para su posterior distribución en diferentes regiones del país y su utilización para obtener los parametros de la EUPS validados localmente.

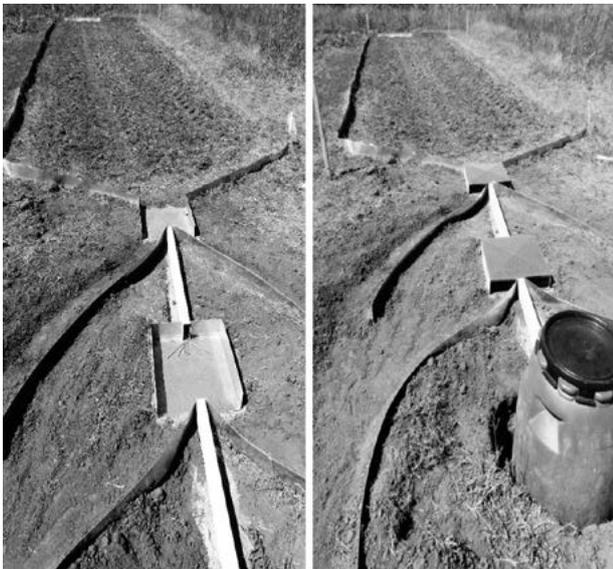
## MATERIALES Y MÉTODOS

### Características de las parcelas móviles de escurrimiento

En el Instituto de Suelos (CIRN INTA) se desarrollaron parcelas móviles de escurrimiento construidas con chapas de zinc, que poseen una superficie de captación de 60 m<sup>2</sup>. Estas dimensiones integran la variabilidad espacial en las propiedades edáficas necesarias para la determinación del escurrimiento superficial. El ensayo de las parcelas se realizó en un suelo Argiudol vértico, Familia fina, illítica, térmica, profunda, perteneciente a la Serie Hurlingham (INTA, 1993), con una pendiente de 1,4%, ubicado en el campo experimental del INTA Castelar, provincia de Buenos Aires. Las parcelas de escurrimiento se ubicaron sobre un lote con una historia de pastizal natural, sobre un suelo bien estructurado y sin presencia de erosión en surcos.

Las parcelas poseen 15 m de largo y 4 m de ancho (**Figura 1**). Se instalan a favor de la pendiente, de manera que los escurrimientos son conducidos a una caja estabilizadora abierta (**Figura 2**). Un décimo del volumen escurrido que llega a esta caja se conduce por el caño receptor a una segunda caja estabilizadora cerrada (**Figura 3**). Finalmente, una décima parte de los escurrimientos de esta segunda caja se recogen en el tanque receptor. Los escurrimientos que no son colectados son conducidos fuera del sistema mediante derivadores.

Las chapas de los bordes de las parcelas deben estar estrechamente unidos, superponiendo los extremos unos 2 cm y remachándolos, de manera de evitar filtraciones. Entre las parcelas debe



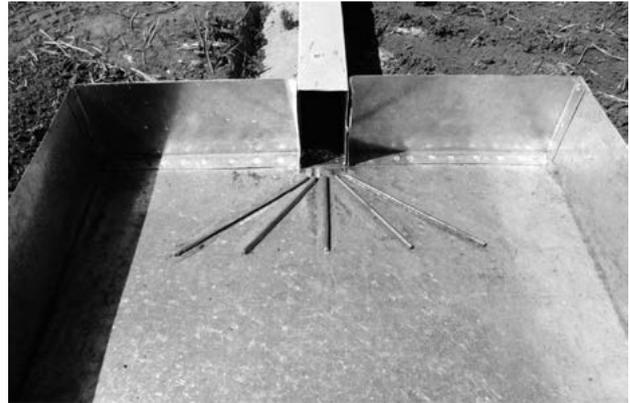
**Figura 1.** Vista de parcelas de escurrimientos con tanque receptor.

**Figure 1.** View of runoff plots with receiver tank.



**Figura 2.** Caja estabilizadora abierta con tapa.

**Figure 2.** Open stabilizer box with lid



**Figura 3.** Caja estabilizadora cerrada.

**Figure 3.** Closed stabilizer box.

haber una franja de protección para evitar que el agua infiltrada en cada parcela afecte a la parcela aledaña. Los bordes deben instalarse cuidadosamente, enterrando las chapas 10 cm en el suelo y dejando 10 cm por sobre el mismo. A fin de evitar encharcamiento o la formación de canales y surcos a lo largo de los bordes de las parcelas, se coloca un exceso de tierra de relleno, la cual se debe acumular contra las paredes externa.

Para retener los materiales flotantes presentes en la escorrentía, se deben colocar cribas o una malla de alambre en el extremo del canal colector, para poder utilizar el divisor y luego extraer las muestras. Con respecto al dispositivo partidor del flujo, y tal como fuera mencionado con anterioridad, en EE.UU. se utiliza el divisor tipo GEIB. Esta pieza exige un amplio grado de precisión en la fabricación, por lo cual se han diseñado sistemas locales más sencillos. En las parcelas móviles de INTA se utilizan dos reducciones de un décimo de los escurrimientos en cada una a través de cajas estabilizadoras. La dimensión de dichas cajas, es 0,50 m x 0,50 m y poseen un sistema de distribución del volumen escurrido para favorecer la homogenización del mismo y la división en un décimo (**Figura 3**). El canal colector posee 5 cm de ancho. En la **Figura 1** se muestra una vista de las parcelas móviles de escurrimientos con todos sus componentes.

### Procedimiento para de muestreo y su posterior análisis

Luego de cada evento de precipitación se debe medir la lámina de lluvia mediante un pluviómetro ubicado en proximidad al sitio de emplazamiento

de las parcelas. A su vez, se debe cuantificar el volumen total de escurrimiento recolectado dentro del tanque colector. Para determinar la cantidad de sedimentos transportados, se procede a recoger una alícuota del mismo en un recipiente de 2 litros, previo agitado del contenido del tanque de manera de homogeneizarlo.

En el laboratorio, la muestra tomada del escurrimiento es filtrada con ayuda de una bomba de vacío a través de un papel de filtro S&S 595, previamente secado en estufa a 60° C, cuyo peso es considerado como tara y es pesado con balanza analítica. Las muestras (papel de filtro con sedimentos) se secan en estufa a 60° C, hasta peso

constante y se pesan en balanza analítica. Para poder relacionar correctamente entre sí la cantidad de sedimentos recolectados, con la lámina de lluvia incidente y con la superficie de la parcela de origen, se debe tener en cuenta la doble reducción del flujo antes mencionado.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En la **Tabla 1** se presentan los registros de precipitaciones, volúmenes escurridos y toma de sedimentos registrados en las parcelas instaladas en el campo experimental del CNIA INTA Castelar. Los datos observados muestran pérdida de sedimentos que se acumulan en las cajas es-

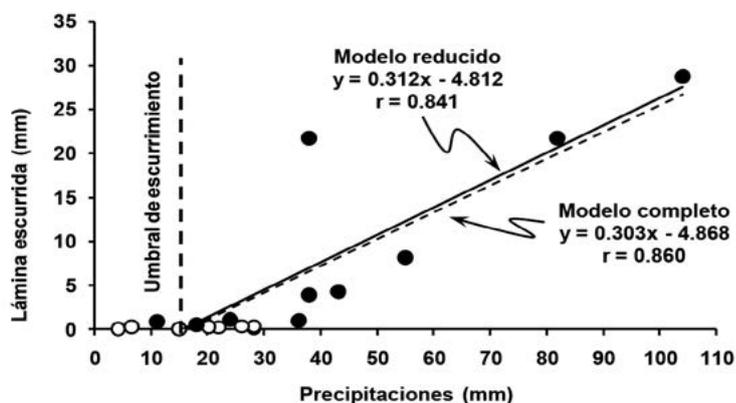
**Tabla 1.** Observaciones de precipitaciones registradas con pluviómetro (mm), lámina escurrida (mm), sedimentos recogidos en los escurrimientos (g), sedimentos recogidos en las cajas estabilizadoras abierta y cerrada (g) y estimaciones de sedimentos perdidos por hectárea ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en las parcelas instaladas en el predio del CNIA-INTA Castelar.

**Table 1.** Precipitation observations recorded with rain gauge (mm), runoff sheet (mm), sediments collected in runoff (g), sediment collected in open and closed stabilizer boxes (g) and estimates of sediment lost per hectare ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) in the plots installed in the experimental field of CNIA INTA Castelar.

Fecha	Pluviómetro (mm)	Lámina escurrida (mm)	Sedimentos (g)	Caja 1 (g)	Caja 2 (g)	Sedimentos (kg/ha)
17/04/2015	36	4,66	7,08	0,00	0,00	122,26
08/07/2015	38	3,87	2,63	0,00	0,00	45,89
16/07/2015	5,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31/07/2015	55	8,12	4,44	0,00	0,00	73,95
06/08/2015	104	28,72	16,87	0,00	0,00	597,81
09/08/2015	82	21,71	1,55	0,00	0,00	68,38
29/01/2016	4	0,05	0,03	0,00	0,00	0,56
07/02/2016	28	0,11	0,12	5,21	2,99	2,01
12/02/2016	22	0,33	0,55	25,27	3,51	9,10
17/02/2016	43	4,26	0,48	32,66	0,00	17,80
19/02/2016	38	21,71	0,93	30,39	0,00	177,36
26/02/2016	20	0,25	0,08	6,65	0,00	1,27
22/03/2016	15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05/04/2016	64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
07/04/2016	11	0,84	0,14	0,00	0,00	2,26
13/04/2016	6,5	0,28	0,07	0,00	0,00	1,19
18/04/2016	28	0,45	0,10	0,00	0,00	1,75
20/04/2016	18	0,50	0,03	0,00	0,00	0,54
24/04/2016	24	1,17	0,04	0,00	0,00	0,68
03/05/2016	26	0,43	0,02	0,00	0,00	0,25
<b>Sedimentos totales en el año</b>						<b>1123,06</b>

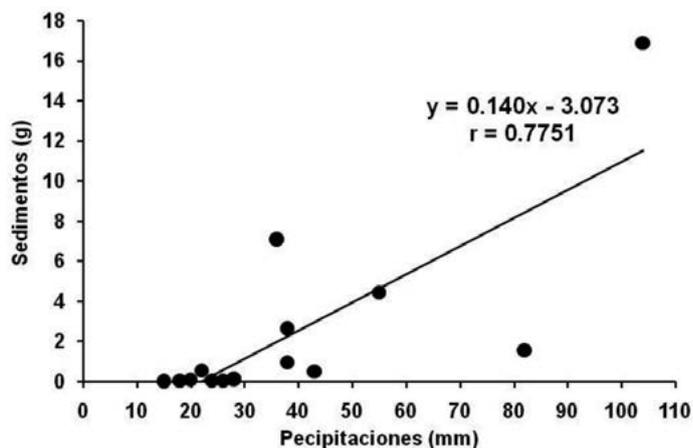
tabilizadoras, lo cual ocurre cuando los eventos de precipitaciones son frecuentes. Este comportamiento se observó en febrero de 2016 con precipitaciones de 151 mm comprendidos en 19 días concentrados en 5 eventos.

Las relaciones entre la lámina de agua escurrida (mm) y las precipitaciones (mm) manifestaron una alta correlación positiva ( $r = 0,86$ ) (**Figura 4**). Cabe destacar que esta correlación incluye los eventos de PP que no generaron escurrimiento (modelo completo;  $r = 0,84$ ). Cuando se excluyeron los escurrimientos menores a 0,5 mm (modelo reducido), no se encontraron diferencias significativas ( $P < 0,001$ ) entre ambos modelos (**Figura 4**). Por otro lado, el modelo lineal de la correlación permite deducir el valor de precipitaciones a partir del cual se comienzan a generar escurrimientos. Para los pares de datos registrados del modelo reducido, el cual no contempla valores nulos de escurrimiento respondiendo a comportamiento lineal, se estimó un umbral de escurrimiento de 15,4 mm. (**Figura 4**).



Estos valores se acercan a los reportados en la bibliografía, en donde se indica que las lluvias consideradas como erosivas son aquellas que superan los 13 mm y que se encuentran separadas de otras lluvias por 6 o más horas de tiempo. (Wischmeier & Smith; 1978; Andriani *et al.*, 2016). De acuerdo proyecciones climáticas de largo plazo, además de aumento en la temperatura, se espera un incremento en la frecuencia de eventos extremos hidrológicos, es decir mayor frecuencia de sequía y/o excesos de lluvias (Podesta *et al.*, 2009; Magrin *et al.*, 2014). En este sentido, conocer la intensidad de las precipitaciones y la lámina a partir de la cual comienzan a generarse escurrimientos, indicando el umbral de escurrimiento con pérdida de suelo, es una información relevante. Con relación a los resultados presentados, los registros de lluvias y los volúmenes escurridos recogidos en las parcelas mostraron una correlación positiva alta ( $r=0.86$ ) (**Figura 4**).

En la **Figura 5** se muestra la relación ente los sedimentos extraídos de los escurrimientos la

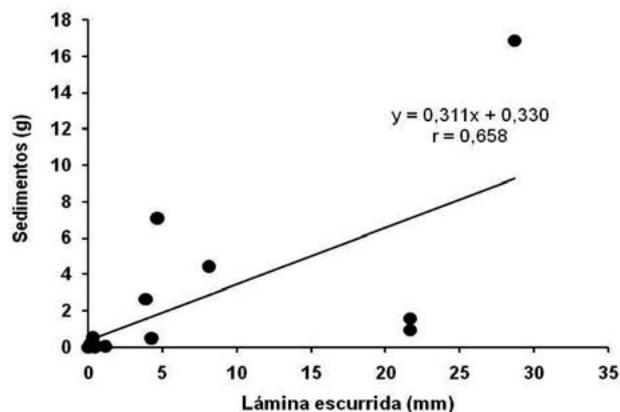


**Figura 4.** Correlaciones lineales entre la lámina de agua escurrida y las precipitaciones (PP) registradas en pluviómetro. Los símbolos llenos y vacíos representan al modelo completo con todas las lluvias y escurrimientos. Los símbolos llenos representan al modelo reducido con escurrimientos mayores a 0,5 mm.

**Figure 4.** Linear correlations between the sheet of drained water and the rainfall (PP) registered in a rain gauge. Full and empty symbols represent the complete model with all rains and runoff. Full symbols represent the reduced model with runoff greater than 0,5 mm.

**Figura 5.** Correlación lineales entre la producción de sedimentos de la parcela y las precipitaciones registradas con pluviómetro.

**Figure 5.** Linear correlations between sediments collected in runoff and the rainfall registered with rain gauge..



**Figura 6.** Correlación lineales entre la producción de sedimentos de la parcela y la lámina escurrida.

**Figure 6.** Linear correlations between sediments collected in runoff and the runoff sheet

parcela (g) y las precipitaciones (mm) registradas en el pluviómetro. Si bien la correlación marca una tendencia ( $r=0.7751$ ), que además coincide con los resultados de Tapia Vargas *et al.*, (2000), quienes encontraron en el mes más lluvioso (199 mm), en un estudio de parcelas en un Andisol de México, la mayor producción de sedimentos, es necesario el registro de mayor cantidad de lluvias erosivas, y determinar las intensidades de las mismas.

La relación ente los sedimentos extraídos (g) y las láminas escurridas (mm) en la parcela, se muestran en la **Figura 6**. La relación de estas dos variables muestra el suelo erosionado por unidad de escurrimiento, característica fundamental en el comportamiento del suelo frente a la erosión hídrica, hallando una correlación de ( $r=0.658$ ). Esta correlación muestra una tendencia a hallar mayor cantidad de sedimentos al aumentar la lámina escurrida, estos resultados coinciden con los de Tapia Vargas *et al.*, (2000) quienes evaluaron lotes de escurrimiento de 25 m de longitud por 4 m de ancho en 9% de pendiente.

Durante este primer año de ensayo con parcelas de escurrimiento, se obtuvo una pérdida de suelo de  $1,123 \text{ Tn ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ , acusando una tasa de erosión leve o ligera, coincidiendo con la descripción de la Carta de Suelos (INTA, 1993) que indica para esta Serie: muy leve peligro de erosión potencial mantiforme. Hay que considerar que estos valores fueron encontrados en suelos bien estructurados, con una historia de pastizal natural, sin presencia de erosión en surcos. En este sentido, estudios realizados en un suelo Andisol derivado de cenizas volcánica, sin estructura, fácilmente erosionable en 9% de pendiente, encon-

traron diferencias significativas en la producción de sedimento al evaluar diferentes manejos (Tapia Vargas *et al.*; 2000). El tratamiento de suelo desnudo produjo  $7,1 \text{ Tn ha}^{-1}$ , mientras que en siembra directa con 100% de cobertura se registraron  $0,24 \text{ Tn ha}^{-1}$  y en labranza convencional  $2,9 \text{ Tn ha}^{-1}\text{año}^{-1}$

## CONCLUSIONES

Las parcelas móviles desarrolladas en el Instituto de Suelos CIRN-INTA, son apropiadas para llevar a cabo estudios de escurrimientos y pérdida de suelo por erosión hídrica a campo ya que permiten realizar las mediciones directamente *in situ* y ante las condiciones de lluvia natural. Por su bajo costo y sencilla instalación y mantenimiento resultan de factible adopción, lo que permitirá conformar una red de ensayos a lo largo del territorio. Sería necesario contar con instrumentos que registren la intensidad de las precipitaciones para la mejor interpretación de los resultados obtenidos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Andriani JM; L Magnano & N Sanmarti. 2016. Modelo "cuanti-cualitativo" de escurrimiento superficial del agua en suelos agrícolas de la región Pampeana argentina. *Ci. Suelo* 34(2): 293-301.
- Angulo-Martínez, M & S Beguería. 2009. Estimating rainfall erosivity from daily precipitation records: A comparison among methods using data from the Ebro Basin (NE Spain). *Journal of Hydrology*, 379: 111.121
- Ares MG; M Varni & I Entraigas. 2010. Determinación de la erosividad de las precipitaciones para la localidad de Azul, provincia de Buenos Aires, Argentina. En: Varni et al. (Eds) *Hacia la Gestión Integral de los Recursos Hídricos en Zonas de Llanura*. Tomo I, pp 95-99.

- Ares MG; CI Chagas & M Varni. 2014. Respuesta hidrológica de cuencas de diferentes tamaños ubicadas en la Pampa Serrana y en la Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo* 32(1): 117-127.
- Ares MG, M Varni & C Chagas. 2016. Suspended sediment concentration controlling factors: an analysis for the Argentine Pampas region, *Hydrological Sciences Journal*, 61:12, 2237-2248, DOI: 10.1080/02626667.2015.1099793
- Bolsa de comercio de Rosario. 2016. <https://www.bcr.com.ar>.
- Buján A; O J Santanatoglia; C I Chagas; M Massobrio; M Castiglioni; M Yañez; H Ciallella & J Fernández. 2003. -Soil erosion evaluation in a small basin through the use of 137Cs technique. *Soil and Tillage Research* 69 (1-2):127-137.
- Casas, R & G Albarracín. 2015. El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina. R. Casas y G Albarracín (Eds.). FECIC, Ed. Dunken. ISBN 978-950-9149-39-7. PP 604.
- Chagas C I. 1995. Efectos de la rugosidad superficial, el tamaño de agregados y la estabilidad estructural sobre la erosión entre surcos en un Argiudol. *Ciencia del Suelo* 13: 85-90
- Chagas CI; MV Piazza; M De Siervi; OJ Santanatoglia; J Morretton; M Paz & MG Castiglioni. 2007. Calidad de agua de escorrentía superficial en sistemas ganaderos extensivos e intensivos de Argentina. *Revista Agrochimica LI* (2-3):130-136.
- Chagas CI; OJ Santanatoglia; MG Castiglioni; MJ Massobrio; A Buján & C Irurtia. 2008. Numero de curva de escurrimiento para una microcuenca de pampa ondulada bajo labranza convencional y siembra directa *Ciencia del Suelo* 26:71-79.
- Chartier MP & Rostagno CM. 2010. Evaluación del modelo WEPP para predecir la erosión hídrica en pastizales semiáridos del noreste de la Patagonia. *Ci Suelo* 28(1): 91-103.
- Díaz-Zorita M; GA Duarte & JH Grove. 2002. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. *SoilTill. Res.* 65: 1-18.
- FAO. 1993. Erosión de suelos en América Latina. Taller sobre la Utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en la Evaluación de la Erosión Actual de Suelos y la Predicción del Riesgo de Erosión Potencial. Santiago de Chile.
- FAO. 2016. Situación de los Bosques del Mundo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Rome, 2007. 119 pp.
- García FO; M Ambroggio & V Trucco. 2000. No-tillage in the Pampas of Argentina: a success story. *Better Crops Int.* 14-24-27.
- Irurtia C B & Mon R. 1994. Microsimulador de lluvia para determinar infiltración a campo. Publicación N° 76, Instituto de Suelos, CIRN, INTA, 18 pp.
- INTA. 1993. Carta básica semi-detallada de suelos. Complejo de investigaciones Castelar, INTA. 114 pp.
- Kraemer FB. 2011. Transport of faecal indicators microorganisms in a Rolling Pampa basin. The role of physical and chemical properties of soils and sediments». Maestría en Ciencia del Suelo, Escuela para Graduados «Alberto Soriano» Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, 30 de agosto de 2011.
- Magrin, G; MI Travasso & G Rodríguez. 2014. Impactos del clima y medidas de adaptación del sistema productivo. En: Suelos, producción agropecuaria y cambio climático. Avances en la Argentina. Capítulo 4. Medina, C; M Zubillaga y M Taboada (Eds). Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Primera Edición. 320 pp.
- Meyer, L D. 1994. Rainfall simulators for erosion research. pp. 83-103. In: Lal, R. (ed.). *Soil erosion research methods*. USA.
- Podesta G; F Bert; B Rajagopalan; S Apipattanavis; C Lacianna; E Weber; W Easterling; R Katz; D Letson & A. Menendez. 2009. Decadal climate variability in the Argentine Pampas: regional impacts of plausible climate scenarios on agricultural systems. *Clim. Res.* (40): 199-210.
- PROSA. 1988. El Deterioro del Ambiente en la Argentina. FECIC. Editorial Orientación Grafica Editora. ISBN: 9789509149274.
- Sasal MC; MG Castiglioni & M Wilson. 2010. Effect of crop sequences on soil properties and runoff on natural-rainfall erosion plots under no tillage. *Soil and Tillage Research* 108: 24-29.
- Scotta, E; L Nani; A Conde; A Rojas; H Castañeira & O Paporotti. 1986. Manual de sistematización de tierras para control de erosión hídrica y aguas superficiales excedentes. EEA INTA Paraná. Serie Didáctica N° 17.
- Tapia Vargas, M; M Tiscareño López; J Oropeza Mota; J Stone & M Velázquez Valle. 2000. Simulación de escurrimiento y salida de sedimentos en cinco prácticas de manejo de suelo. *Agrociencia*, vol 34 pp 663-675.
- Wischmeier, WH & DD Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. U.S.D.A. *Agricultural Research Service Handbook* 537.