

# NÚMERO DE CURVA DE ESCURRIMIENTO PARA UNA MICROCUENCA DE PAMPA ONDULADA BAJO LABRANZA CONVENCIONAL Y SIEMBRA DIRECTA

CELIO I CHAGAS; OSCAR J SANTANATOGLIA; MARIO G CASTIGLIONI; MARCELO J MASSOBRIO<sup>1</sup>; ALFONSO BUJÁN<sup>2</sup> & CARLOS IRURTIA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453. (1417) Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup>Comisión Nacional de Energía Atómica. <sup>3</sup>INTA Castelar  
E mail: chagas@agro.uba.ar

Recibido: 07/06/07

Aceptado: 03/04/08

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la aplicabilidad del método de Número de Curva (CN) del USDA para una microcuenca agrícola de 300 ha de Pampa Ondulada, bajo labranza convencional (LC) durante el período 1994-1998 y posteriormente bajo siembra directa (SD) durante el período 1999-2004 a partir del análisis de lluvias y escurrimientos medidos *in situ*. El uso de la tierra consistió predominantemente en cultivos anuales, siendo la soja el cultivo más frecuente. De las 583 lluvias analizadas, tan solo el 11% provocó escurrimientos registrables. La mayoría de los escurrimientos ocurrió bajo condición antecedente de humedad (AMC) I, situación que fue definida por la lluvia caída los 5 días anteriores al evento considerado, lo cual muestra un aspecto de discusión crítica para el uso de esta metodología. A través del análisis de la serie ordenada de datos, se observó que LC y SD presentaban valores prácticamente coincidentes entre sí tanto para AMC II (CN 82) como para AMC III (CN 96). Sin embargo, al considerar AMC I (correspondiente al 10% inferior de dicha serie), la labranza convencional presentó una tendencia a generar menores escurrimientos que siembra directa (CN 56 y 68, respectivamente) particularmente durante el período otoño invernal, época en que se realizaron las labores primarias de remoción del suelo que dejaron el suelo rugoso y por ende, con alta capacidad de infiltración.

**Palabras clave.** Cuenca, labranza convencional, siembra directa, escurrimiento.

## RUNOFF CURVE NUMBER FOR A ROLLING PAMPA WATERSHED UNDER CONVENTIONAL AND NO-TILLAGE

### ABSTRACT

The aim of this paper was to study the applicability of the Curve Number method (CN, USDA) for a small arable watershed of 300 ha belonging to the Rolling Pampa under conventional tillage from 1994 to 1998 and subsequently under no tillage until 2004. This analysis was performed by studying rainfall and runoff paired data recorded *in situ*. Land use consisted mainly of annual crops, particularly soybean. Considering a data pool of 583 rainfall events, only 11% produced appreciable surface runoff. Most of the runoff occurred under antecedent moisture condition I (AMC I). This condition was defined according to the amount of rainfall corresponding to the previous 5 days, thereby opening a critical argumentation for the use of this methodology in the Rolling Pampa. The analysis of the ordered paired data series showed similar CN values under no-tillage and conventional tillage for AMC II (CN 82) and AMC III (CN 96), respectively. However, considering the AMC I condition which corresponds to the lower 10% of the ordered paired data series, the watershed under conventional tillage showed a tendency to produce lower runoff volumes compared to the same catchment area under no-tillage (CN 56 and 68, respectively). This was particularly appreciable for the autumn and winter periods, in which primary tillage operations under conventional tillage produced surface roughness resulting in high infiltration rates.

**Key words.** Watershed, conventional tillage, no-tillage, runoff.

## INTRODUCCIÓN

El método desarrollado por el USDA denominado “Número de Curva” (CN) (SCS 1975) es usado mundialmente para la estimación de escurrimientos de pequeñas cuencas agropecuarias. Sin embargo el mismo está sometido a frecuentes revisiones debido a algunas in-

consistencias en la definición de la condición de humedad antecedente, la falta de consideración de la energía de las lluvias y la no comprensión por parte de los usuarios del carácter probabilístico del método. Otro aspecto discutido es la relación constante igual a 0,2 que plantea dicho método entre la abstracción inicial (Ia) y la reten-

ción potencial máxima de agua para una cuenca considerada (S) (Silveira *et al.*, 1997; Chagas *et al.*, 1998; Ares *et al.*, 2005; Baltas *et al.*, 2007). Con el fin de establecer la condición antecedente de humedad del suelo para cuencas no aforadas (antecedent moisture condition: AMC) el método original establece un rango de lluvias acumuladas durante los 5 días previos al evento considerado que varía según se trate de una época de reposo vegetal o de activo crecimiento. Las categorías establecidas son las siguientes: AMC I: corresponde a cuencas con bajo potencial de escurrimiento y con suelos suficientemente secos como para ser labrados o cultivados; AMC II: cuencas con moderado potencial de escurrimiento, lo cual representaría una condición media y AMC III: cuencas con máximo potencial de escurrimiento y con suelos prácticamente saturados por las lluvias previas (Kent, 1968). Expresados como láminas de lluvia los valores son los siguientes: menos de 27,7 mm y de 35,6 mm de lluvia para AMC I y más de 27,9 mm y de 53,3 mm de lluvia para AMC III en épocas de reposo vegetal y de activo crecimiento, respectivamente. Sin embargo a nivel local, a menudo se observa que la lluvia previa correspondiente a la mayoría de los escurrimientos medidos en el campo, coincide con la categoría AMC I en lugar de AMC II (Silveira *et al.*, 1997; Chagas *et al.*, 1998).

En suelos Argiúoles del NE de Buenos Aires y SO de Córdoba, se han realizado diferentes trabajos de laboratorio (Chagas *et al.*, 2004) y de campo empleando lluvia simulada (Chagas, 1995; De la Vega *et al.*, 2004) en los que se ha evaluado el comportamiento hidrológico de suelos franco limosos bajo labranza convencional (LC) y bajo siembra directa (SD), con y sin cobertura. En dichas áreas y en gran parte de la pradera pampeana húmeda, la SD constituye un sistema de manejo de tierras que está siendo adoptado en forma mayoritaria por los productores agrícolas.

Para optimizar la interpretación de los trabajos con simulación de lluvia, los mismos deberían analizarse en forma integrada con las mediciones reales de campo de largo plazo en microcuencas experimentales. En tal sentido, un análisis de largo plazo realizado principalmente sobre las formas de los hidrogramas generados una microcuenca experimental aforada de San Pedro (Bs. As.) bajo dos sistemas de labranza, permitió observar que para 28 pares de datos lluvia-escurrimiento estudiados, el valor medio de CN bajo LC resultaba significativamente menor que para SD a pesar que el coeficiente de escurrimiento de ambos sistemas no arrojaba diferencias entre sí (Castiglioni *et al.*, 2006).

Por tal motivo se consideró adecuado extender dicho análisis a la totalidad del pool de datos obtenidos durante 11 años de mediciones (583 eventos de lluvia y 67

eventos de escurrimiento) empleando para ello métodos específicos de análisis de valores de CN citados por Ares *et al.* (2005).

En consecuencia, el objetivo del presente trabajo fue calcular valores de Número de Curva (CN) del método del Servicio de Conservación de Suelos de EE.UU. (actualmente denominado Servicio de Conservación de Recursos Naturales: NRCS) para una microcuenca perteneciente al arroyo del Tala, Buenos Aires, Argentina, bajo LC y posteriormente bajo SD, a partir del análisis de la serie 1994-2004 de lluvias y escurrimientos medidos *in situ*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La microcuenca bajo estudio posee una superficie de 300 ha y pertenece a la cuenca media del Arroyo del Tala, San Pedro, provincia de Buenos Aires, Argentina. La precipitación anual media del área, durante el período 1965-2006, fue de 1.070 mm. Los suelos corresponden a la serie Ramallo (Argiúdol vértico) y sus fases por erosión. Si bien el concepto central de dicha serie descripta por INTA (1973) posee 29% de arcilla, 66% de limo y 4% de arena en su horizonte superficial, en la microcuenca estudiada es frecuente hallar contenidos de arena que superan dichas cifras (Santantoglia *et al.*, 1996). El uso de la tierra es predominantemente agrícola, siendo la soja el cultivo más frecuente. El período 1994-1998 se caracterizó por el empleo de LC mientras que durante el período 1999-2004 se empleó la SD. Las lluvias y los escurrimientos se midieron en forma automática mediante un pluviógrafo de cangilones y un limnógrafo piezo-resistivo a intervalos de 30 minutos (Chagas *et al.*, 1998). Los datos de escurrimiento se transformaron a valores de S y CN (Número de Curva) empleando la siguiente fórmula (Yoo *et al.*, 1993):

$$S = 5 P + 10 Q - 10 (Q^2 + 1,25 PQ)^{1/2}$$

donde

S: retención potencial máxima (mm);

P: lluvia (mm), y

Q: escurrimiento (mm)

Fueron excluidas del análisis aquellas precipitaciones que habiendo ocurrido en días sucesivos, provocaron picos de escurrimiento múltiples. Ello se debe a la dificultad que ofrecía la separación de los escurrimientos y su asignación a una lluvia en particular. Ejemplo de éstas son las precipitaciones de los días 8-9 de abril de 1995 y 4-16 de mayo de 2000. También se dejaron de lado aquellas lluvias de menos de 20 mm día<sup>-1</sup> que provocaron escurrimientos menores a 10 mm ya que el método del Número de Curva se aconseja emplear para lluvias de volumen considerable. El análisis estadístico comprendió el ajuste de modelos de

regresión lineal con y sin transformación de variables (Snedecor & Cochran, 1989).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las Tablas 1 y 2 muestran las lluvias y escurrimientos y sus fechas de ocurrencia correspondientes a los períodos bajo LC y bajo SD, respectivamente, en la micro-cuenca bajo estudio. El pool total de datos analizados comprendió 583 lluvias, de las cuales 203 corresponden al período con LC y el resto con SD. Tan solo el 11% del total de lluvias registradas durante el lapso 1994-2004 provocaron escurrimientos. La mayor parte de estos últimos ocurrieron bajo la condición antecedente de humedad I (AMC I) tal como la define el método original del SCS, hecho que coincide con lo señalado anteriormente. Debe destacarse que las nuevas tendencias mencionan el concepto de situación antecedente en contraposición con el concepto de humedad antecedente. Ello permite incorporar diversos aspectos condicionantes del comportamiento hidrológico de las cuencas tales como la rugosidad superficial y la cobertura edáfica, además del contenido de humedad edáfica.

Tabla 1. Lluvias y escurrimientos ocurridos durante el período bajo labranza convencional.

Table 1. Rainfall and runoff events under conventional tillage.

Fecha	Lluvia (mm)	Escurrecimiento (mm)
06-07/03/1995	117	21,7
31/03/1995	21	6
07/04/1995	125	97,5
27-28/04/1995	68	12
03/10/1995	110	17
12/10/1995	39	4
09/11/1995	35	24
23/02/1996	79	31,2
29/01/1997	66	50,4
13/06/1997	28	0,5
31/08/1997	33	0,1
27/10/1997	63	36,3
29/11/1997	59	41,5
19/12/1997	59	59
13-14/01/1998	42	4
21-22/01/1998	40	10,5
27/01/1998	92	34,3
03/02/1998	45	11,8
06/02/1998	30	13,2
07/03/1998	25	3,6

Tabla 2. Lluvias y escurrimientos ocurridos durante el período bajo siembra directa.

Table 2. Rainfall and runoff events under no tillage.

Fecha	Lluvia (mm)	Escurrecimiento (mm)
19/01/1999	81	6,6
23-24/01/1999	35	2,3
06/03/1999	20	3,2
15-16/03/1999	61	15,2
18/03/1999	86	66,9
27/03/1999	40	31,1
12/12/1999	44	2,8
27/02/2000	44	2,8
07/04/2000	44,8	14,5
30/04/2000	24	8,5
01/05/2000	53,9	38,0
22/10/2000	66	25,4
11/11/2000	27	21,0
22/11/2000	52	18,5
23/11/2000	11	11,0
08/01/2001	25	3,7
10/01/2001	40	11,4
30/09/2001	36,2	19,8
07-08/10/2001	136,3	88,7
14-15/10/2001	32,9	7,9
23-24/11/2001	53	19,1
30/01/2002	69,1	35,2
14/02/2002	49,4	1,9
12/05/2002	36,4	4,9
13/05/2002	30,8	30,8
17/05/2002	28,2	3,7
28/05/2002	37,2	14,8
02-03/07/2002	35,9	10,4
18-19/08/2002	56,6	32,5
28/08/2002	32,7	5,3
11/09/2002	31,4	2,1
14-15/10/2002	98,6	46,2
26/10/2002	73,7	19,4
28/10/2002	35,7	13,2
08-09/11/2002	82,4	38,7
19/12/2002	73,2	18,1
22/01/2003	30	4,0
02/02/2003	137	79,3
15/02/2003	29,5	3,1
27/02/2003	39,8	2,6
28/03/2003	139,1	102,7
29-30/03/2003	14,1	10,9
4/7/2003	30,0	3,0
26/07/2003	37,2	5,4
30/11/2003	40,9	1,9
31/01/2004	158	90,2
23-24/05/2004	41,2	7,0

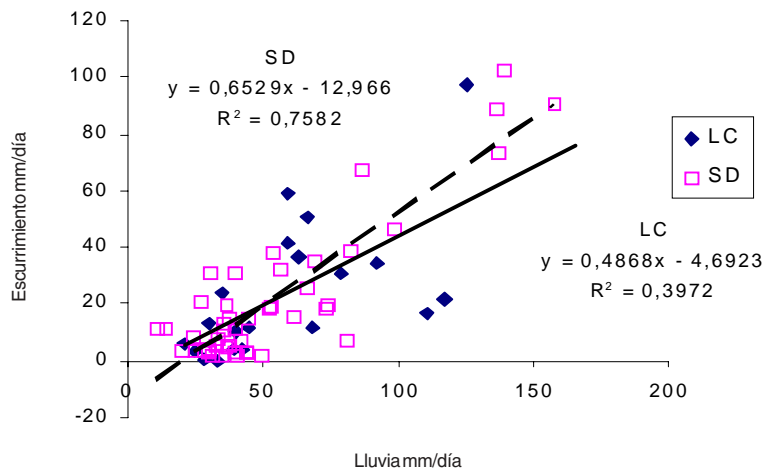


Figura 1. Lluvias y escurrimientos correspondientes al período 1994-1998 con labranza convencional (LC) y al período 1999-2004 con siembra directa (SD).

Figure 1. Rainfall and runoff events corresponding to the period 1994-1998 under conventional tillage (LC) and to the period 1999-2004 under no tillage (SD).

En la Figura 1 se observan los eventos de lluvia y de escurrimiento registrados bajo LC (años 1994-1998) y SD (años 1999-2004), respectivamente. Puede apreciarse una mayor dispersión de los datos correspondientes a LC comparado con SD, lo que determinó que el ajuste de los modelos de regresión lineal resulte con valores de  $R^2$  más bajos para LC. Esto también se observó en el histograma de frecuencia de CN para ambas labranzas (Fig. 2) donde

se aprecia una mayor variabilidad de CN bajo LC. Ambos resultados estarían mostrando mayor dispersión en las condiciones superficiales de suelo y cobertura a lo largo del año bajo LC comparado con SD.

Para analizar dichos datos se siguieron tres procedimientos diferentes que discriminaban entre la mediana, el 10% superior y el 10% inferior de una serie ordenada de pares lluvia/escurrimiento, respectivamente:

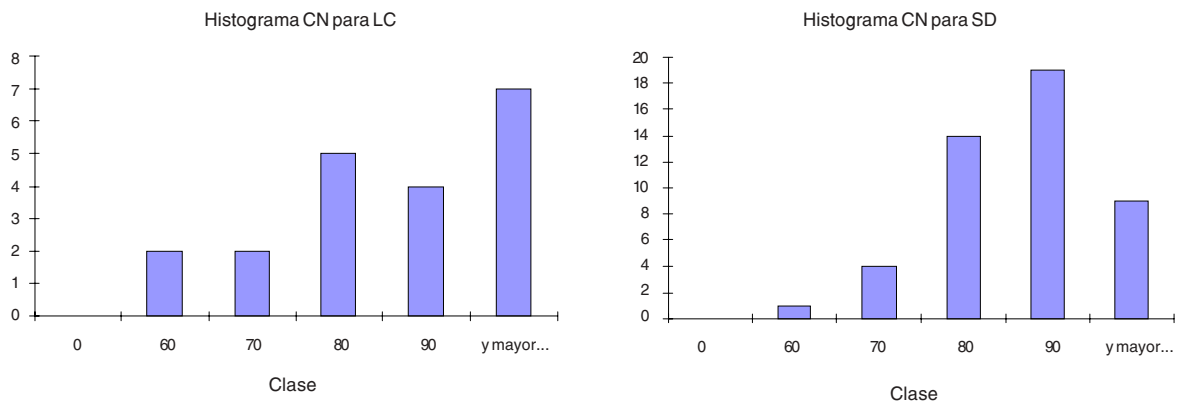


Figura 2. Histogramas de frecuencia de número de curva (CN) correspondientes al período 1994-1998 con labranza convencional (LC) y al período 1999-2004 con siembra directa (SD).

Figure 2. Frequency histograms of curve number values (CN) corresponding to the period 1994-1998 under conventional tillage (LC) and to the period 1999-2004 under no tillage (SD).

- a. Considerando solamente los eventos máximos anuales (n=10). A partir del análisis de la mediana de dicha serie ordenada de datos, se obtuvo un valor de CN correspondiente a AMC II, de 81, mientras que para los extremos AMC I y AMC III, se obtuvieron valores de 74 y 94, respectivamente.
- b. Empleando la metodología de Hawkins (1993) citada por Ares *et al.* (2005) la cual propone analizar la totalidad de los pares lluvia-escurrimientos obtenido (n=67), pero ordenando por separado las lluvias de los escurrimientos (Fig. 3). De esta manera se generó un nuevo conjunto de pares ordenados lluvia/escurrimiento. El valor de CN calculado a partir de la mediana de dicha serie ordenada de datos, fue de 82, coincidente con el hallado en a). Al aplicar esa misma metodología pero separando la LC (n=20) de la SD (n=47), se obtuvo para ambas labranzas nuevamente el mismo valor, es decir CN= 82.
- c. Considerando al igual que en b) la totalidad de eventos de escurrimiento (n=67), pero respetando la concordancia entre cada lluvia y su correspondiente escurrimiento. Los resultados de dicho procedimiento se muestran en la Tabla 3. De este análisis surgió que LC y SD arrojaban cifras prácticamente coincidentes entre sí para AMC II (CN=82) y AMC III (CN=96) pero no para AMC I. Al considerar AMC I, la LC presentó valores mas bajos que SD (CN=56 y 68, respectivamente). Ello podría reflejar tanto condiciones de elevada infiltración en determinadas circunstancias bajo LC como también, un efecto de mayor humedad edáfica antecedente asociada la presencia de rastros en superficie en SD. Estos aspectos también son señalados por Van Mullen *et al.* (2002) citado por Ares *et al.* (2005).

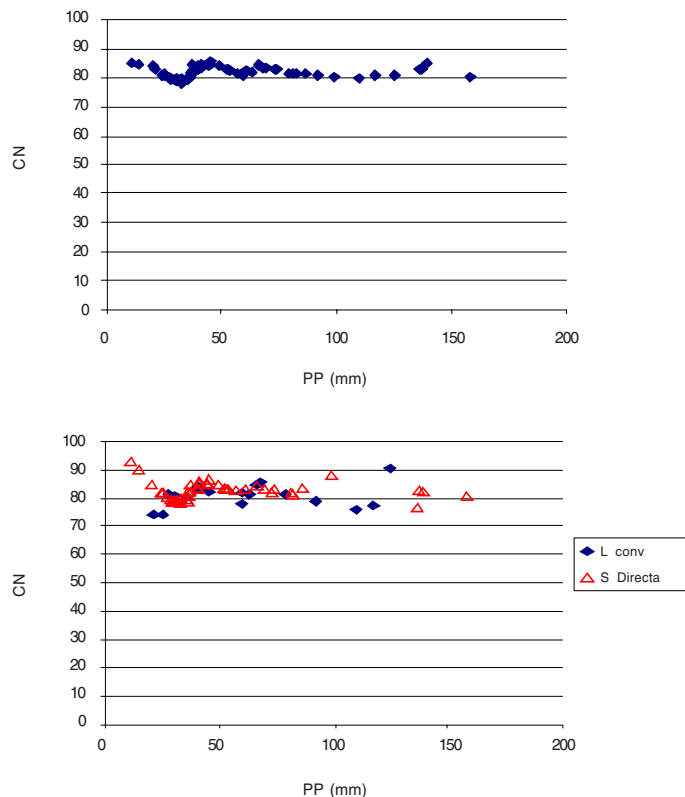


Figura 3. Determinación de los valores de CN para la microcuenca empleando el método de Hawkins (1993) citado por Ares *et al.* (2006), para todos los escurrimientos tomados en forma conjunta (izquierda) o analizándolos en forma separada LC y SD (derecha).

Figure 3. Determination of curve number values (CN) for the watershed employing the method of Hawkins (1993) cited by Ares *et al.* (2006) for all the runoff events considered together (left) or considering LC and SD separately (right).

Tabla 3. Valores de CN para labranza convencional y siembra directa discriminados según condición antecedente I, II y III.

Table 3. CN values for conventional tillage and no tillage under antecedent conditions I, II and III, respectively.

Labranza	Valores de CN según condición antecedente		
	AMC I	AMC II	AMC III
Convencional	56	82	96
Siembra directa	68	81	97

A continuación se procedió a evaluar el comportamiento hidrológico de la microcuenca en diferentes épocas del año. Para ello se repitió el procedimiento descrito en c) pero separando los datos por época del año y por labranza. Allí surgió que LC presentaba valores de CN similares a SD durante primavera-verano. Sin embargo, se observó una tendencia hacia valores más bajos de CN para LC comparado con SD durante otoño-invierno, período en el cual se realizaban las operaciones de remoción primaria del suelo bajo LC (resultados no mostrados). Este análisis se complementó con la evaluación de las lluvias máximas que no provocaron escurrimiento en la cuenca para cada estación del año durante el período considerado (Tabla 4) y que por lo tanto no lograban superar el umbral de  $0,2S$  que representa la abstracción inicial (Ia) en el método original de CN, siendo S la retención hídrica potencial máxima de la cuenca considerada.

Dicha Tabla mostró la misma tendencia que la Tabla 3 ya que LC presentó en otoño-invierno, valores de lluvia máxima superiores a SD. Si bien este dato no puede tomarse como una confirmación de lo antes mencionado, el mismo marca una tendencia en favor de LC durante

el período de activa remoción del suelo. Estos resultados coinciden con lo hallado por Chagas (1995) para LC teniendo en cuenta que durante el otoño, el sistema convencional se encontraba generalmente bajo barbecho desnudo con suelo rugoso y con alta capacidad instantánea de infiltración, mientras que el suelo bajo SD se encontraba generalmente liso por falta de remoción, mas húmedo debido a la cobertura de rastrojos y por ende con mayor capacidad de generar escurrimientos que bajo LC.

De acuerdo con los resultados obtenidos, no se logró un mayor control del volumen total de los escurrimientos bajo la SD respecto de la LC en el largo plazo, sino que por el contrario se halló una tendencia opuesta, especialmente en determinadas épocas del año en que el suelo era intensamente labrado bajo LC.

El análisis de un trabajo recientemente realizado por el mismo grupo de investigación (Castiglioni *et al.*, 2006), centrado en la dinámica de los escurrimientos, probó que la SD tuvo una influencia significativa sobre la forma de los hidrogramas medidos durante gran parte del período considerado. En dicho trabajo se midieron caudales pico más reducidos y mayores retardos en el escurrimiento.

Tabla 4. Valores de lluvias máximas (mm) que no provocaron escurrimiento en la cuenca estudiada, correspondientes al período 1994-1998 con labranza convencional y al período 1999-2004 con siembra directa.

Table 4. Maximum rainfall events (mm) which did not promote runoff in the studied watershed corresponding to the period 1994-1998 under conventional tillage and to the period 1999-2004 under no tillage.

Labranza	Lluvias máximas sin escurrimiento (mm día <sup>-1</sup> )		
	Primavera	Verano	Otoño-Invierno
Convencional	40	67	71
Siembra directa	39	71	49

Estos últimos resultaron significativamente más prolongados bajo SD comparado con LC para la misma cuenca e indican claramente la reducción en la capacidad erosiva del flujo de escurrimiento que se logró bajo SD.

Analizando en conjunto los resultados del presente trabajo y el de Castiglioni *et al.* (2006) se deduce que bajo SD se habría logrado un beneficio importante a largo plazo en el control de la erosión hídrica comparado con un período equivalente bajo LC, principalmente a través de reducir la velocidad del escurrimiento pero no el volumen total del mismo.

Esto significa que se debe trabajar en el diseño de prácticas de manejo para mejorar la infiltración del agua en el suelo bajo SD en un escenario de intensa "sojización", con el fin de aumentar aun más el control de la erosión hídrica y tener al mismo tiempo más agua disponible para los cultivos.

## AGRADECIMIENTO

Este trabajo fue financiado por los proyectos UBACyTG093 y G 023 y por OIEA.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ares, MG; M Varni; E Usunoff & L Vives. 2005. Cálculo del número de curva en subcuencas del arroyo del Azul, provincia de Buenos Aires. *Cuadernos del Curiham* 1: 39-47.
- Baltas, EA; NA Dervos & MA Mimikow. 2007. Research on the initial abstraction-storage ratio and its effects on hydrograph simulation at a watershed in Greece. *Hydrol. Earth. Syst. Sci. Discuss.* 4: 2169-2204.  
In: [www.hydrol-earth-syst-sci-discuss.net/4/2169/2007/](http://www.hydrol-earth-syst-sci-discuss.net/4/2169/2007/).
- Castiglioni, MG; CI Chagas; MJ Massobrio; OJ Santanatoglia & A Buján. 2006. Análisis de los escurrimientos de una microcuenca de Pampa Ondulada bajo diferentes sistemas de labranza. *Ciencia del Suelo* 24: 169-176.
- Chagas, CI. 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; OJ Santanatoglia; MJ Massobrio; MG Castiglioni & A Buján. 1998. Influencia de las lluvias previas, sobre el comportamiento hidrológico de una microcuenca. En: Balbuena *et al.* (ed.) Avances en el Manejo del Suelo y el Agua en la Ingeniería Rural. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. PP 314-322.
- Chagas, CI; C Irurtia; J Thisted; OJ Santanatoglia; MJ Massobrio; MG Castiglioni & A Buján. 2004. Movimiento horizontal y vertical de agua y partículas en un Argiudol bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 22: 117-122.
- De la Vega, G; MG Castiglioni; MJ Massobrio; CI Chagas; OJ Santanatoglia & C Irurtia. 2004. Efectos de la cobertura y la humedad inicial en la infiltración de un Argiudol Vértico bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 22: 25-27.
- INTA, 1973. Carta de Suelos. Hoja 3360-33. Pérez Millán. E=1:50.000. 45 PP.
- Kent, KM. 1968. A method for estimating volume and runoff in small watersheds. USDA SCS (NRCS) T R 149.
- Santanatoglia, OJ; CI Chagas; EA Rienzi; MG Castiglioni & R Sbatella. 1996. Características de los sedimentos producidos por erosión hídrica en una microcuenca del Arroyo del Tala, provincia de Buenos Aires. *Ciencia del Suelo* 14: 42-46.
- Silveira, L; JL Genta & F Charbonnier. 1997. Condición de humedad antecedente del suelo en el Método de la curva número. Congreso Internacional sobre Aguas. Workshop sobre Química Ambiental y Salud. Facultad de Derecho y Ciencias Sociales, Universidad de Buenos Aires, 4 al 8 de agosto de 1997.
- Snedecor, GW & WG Cochran. 1989. Statistical Methods. 8<sup>th</sup> Edn (Iowa State University Press/AMES).
- Soil Conservation Service 1975. Engineering Field Manual for Conservation Practices. U.S. Department of Agriculture.
- Yoo, KH; KS Soon & JM Soileau. 1993. Runoff curve numbers determined by three methods under conventional and conservation tillage. *Trans. ASAE* 36(1): 57-63.