

## ANÁLISIS DE LOS ESCURRIMIENTOS DE UNA MICROCUENCA DE PAMPA ONDULADA BAJO DIFERENTES SISTEMAS DE LABRANZA

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

<sup>1</sup>Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Avenida San Martín 4453 (1417) Capital Federal, República Argentina. castigli@agro.uba.ar; <sup>2</sup> Comisión Nacional de Energía Atómica.

Recibido: 03/10/05

Aceptado: 10/12/06

### RESUMEN

La tasa de escurrimiento del agua juega un rol crítico en la determinación de la pérdida de suelo en las tierras agrícolas. En la última década la siembra directa se ha difundido en la Pampa Ondulada en forma considerable, siendo escasos los estudios a nivel microcuenca en los cuales se analice sus efectos sobre los escurrimientos respecto a otros sistemas de labranza. El objetivo del presente trabajo fue comparar distintos parámetros correspondientes a la respuesta hidrológica superficial de una microcuenca de la Pampa Ondulada, ante cambios en los sistemas de labranza empleados. La microcuenca bajo estudio posee una superficie de 300 ha y está ubicada en la vertiente norte de la cuenca media del Arroyo del Tala, San Pedro, provincia de Bs. As. Los suelos presentes corresponden a la serie Ramallo (Argiudol vértico) y sus fases por erosión. Se confeccionaron los hidrogramas y hietogramas correspondientes a las distintas tormentas ocurridas durante el período 1995-2002, analizándose los escurrimientos en forma global y los tramos ascendentes y descendentes de los caudales de agua obtenidos en forma separada. El sistema de labranza siembra directa originó valores de curva número mayores respecto al sistema convencional. La duración de los escurrimientos fue mayor bajo siembra directa debido a un alargamiento de la fase descendente de los hidrogramas. Los caudales de escurrimiento generados por unidad de lluvia caída fueron siempre menores bajo el sistema de siembra directa respecto al sistema de labranza convencional. Los milímetros escurridos durante la fase descendente de los hidrogramas no fue diferente entre sistemas de labranza ya que el menor caudal registrado bajo la siembra directa fue compensado por una mayor duración de este período en dicho sistema de labranza.

**Palabras clave.** Uso de la tierra, hidrología superficial, hidrogramas, curva número.

### RUNOFF ANALYSIS OF A WATERSHED BELONGING TO THE ROLLING PAMPA UNDER DIFFERENT TILLAGE SYSTEMS

#### ABSTRACT

The runoff rate constitutes a key factor in the determination of soil losses in arable lands. In the last decade, no tillage system became widespread in the Rolling Pampa. However, scarce studies have been carried out in a watershed scale about its effects on runoff dynamics, as compared to other tillage systems. The aim of the present study was to compare different parameters related to the surface runoff response of a watershed associated with changes in the tillage systems. The studied watershed has 300 ha and is located in the Northern part of the mid basin of the Tala river in San Pedro, Buenos Aires Province. The soils belong to the Ramallo Series (Vertic Argiudoll) and its eroded phases. Hydrographs and hietographs belonging to different storms that took place through the period 1995-2002 were calculated and runoff was analyzed, first globally and then the increasing and decreasing branches of the flow separately. No tillage system originated larger curve number values than the conventional tillage system. The runoff duration was larger under no tillage due to the enlargement of the decreasing branch of the hydrograph. The runoff flow generated per rainfall unit was always lower under no tillage compared to conventional tillage. The amount of runoff during the decreasing branch of the hydrographs was not different between tillage systems because the lesser flow recorded under no tillage was compensated by the larger duration of this phase compared to conventional tillage.

**Key words.** Land use, surface hydrology, hydrographs, curve number.

### INTRODUCCIÓN

La tasa de escurrimiento del agua juega un rol crítico en la determinación de la pérdida de suelo en las tierras agrícolas. En este sentido son varios los modelos de

erosión basados en procesos, que requieren de su conocimiento (Yu *et al.*, 2000). A su vez el cambio en el uso de la tierra dentro de una microcuenca afecta su respuesta hidrológica, lo que puede generar modificaciones en

la calidad del agua (Black, 1997). Shipitalo & Edwards (1998) mencionan que si bien los sistemas de labranza conservacionistas reducen la tasa de pérdida de suelo, la concentración de agroquímicos en el agua que no infiltra puede ser alta, dependiendo entre otras cosas del momento en el cual ocurran las tormentas.

La efectividad de los distintos sistemas de labranza en controlar los escurrimientos está basada en su capacidad de generar cambios en su velocidad, en el almacenamiento del agua superficial, en la capacidad del suelo de retener y conducir el agua en profundidad y en la resistencia de la superficie del suelo ante la energía de impacto de la gota de lluvia (Soil and Water Conservation Society of America, 1977).

Respecto al sistema labranza cero Yoo *et al.* (1993), reportan varias investigaciones realizadas para determinar su efecto sobre los volúmenes de agua escurrida. Andraski *et al.* (1985) y Blevins *et al.* (1990) señalan una disminución en los escurrimientos bajo siembra directa. Sin embargo otros autores (Lindstrom & Onstad, 1984; Yoo & Touchton, 1989) detallan resultados opuestos a los anteriormente citados. Meyer *et al.* (1970) mencionan la existencia de estudios en los que no se observaron modificaciones en la hidrología superficial ante cambios en el sistema de labranza empleado. A su vez son pocos los estudios en los que se describe el efecto del cambio de uso de la tierra sobre la velocidad del escurrimiento y sobre distintos parámetros de tiempo y forma de los hidrogramas generados por las lluvias.

En la última década la siembra directa se ha difundido en la Pampa Ondulada en forma considerable, siendo escasos los estudios a nivel microcuenca en los cuales se

analice sus efectos sobre los escurrimientos respecto a otros sistemas labranza. Es por ello que el objetivo del presente trabajo fue comparar distintos parámetros correspondientes a la respuesta hidrológica superficial de una microcuenca de la Pampa Ondulada, ante cambios en los sistemas de labranza empleados.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La microcuenca bajo estudio posee una superficie de 300 ha y está ubicada en la vertiente norte de la cuenca media del Arroyo del Tala (33° 50' Latitud Sur, 60° Longitud Oeste), en la localidad de San Pedro, provincia de Buenos Aires (Chagas *et al.*, 1993). (Figura 1)

La precipitación anual en la región es de 1.069 mm (promedio de 50 años), siendo la estación menos lluviosa el invierno, mientras que el otoño y principios de primavera son los períodos con lluvias más abundantes e intensas (INTA 1996).

Los suelos presentes en la microcuenca corresponden a la serie Ramallo (Argiudol vértico) y sus fases por erosión (INTA 1973). El horizonte superficial del mismo es de textura franco arcillo limosa teniendo 15% de arena, 60% de limo y 25% de arcilla. En las áreas con pendiente los gradientes de: 0-0,5%; 0,5-1%; 1-2% ocupan una superficie del 22%; 35% y 34% respectivamente, mientras que los sectores de vaguada abarcan el 9% de la superficie total de esta microcuenca. Este último sector está ocupado por las fases ligeramente erosionada y engrosada de la serie Ramallo (INTA, 1973).

El uso de la misma durante el período de análisis (años 1995 a 2002), fue predominantemente agrícola con alta presencia de cultivos de verano (Tabla 1). Entre los años 1995 y 1998 dichos cultivos se implantaron en forma convencional (arado de reja y vertedera, rastra de discos y rastra de dientes), mientras que a partir de la primavera de 1999 el sistema de labranza empleado en toda la microcuenca fue la siembra directa.

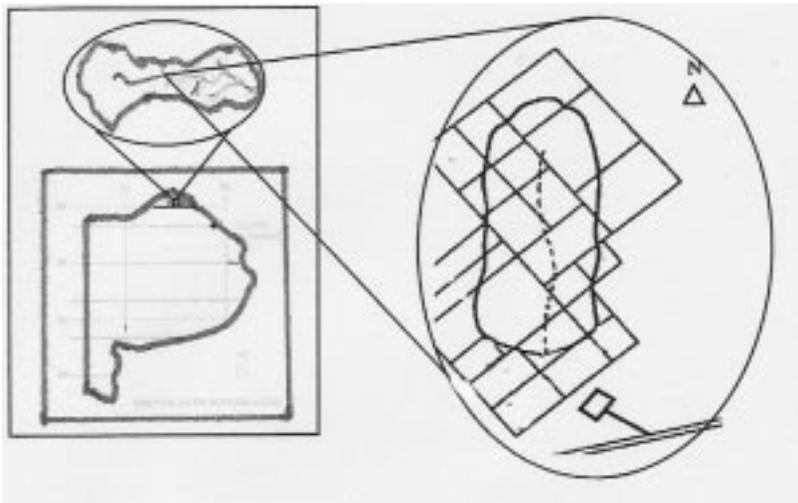


Figura 1. Localización de la microcuenca.

Figure 1. Location of the watershed.

Tabla 1. Cultivos predominantes en la microcuenca en cada uno de los años analizados.  
Table 1. Prevailing crops in the watershed in each analyzed year.

Años	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	
Cultivos predominantes en la microcuenca	maíz	trigo soja	girasol maíz	trigo soja	maíz soja	trigo soja	maíz	trigo	maíz
Sistema de labranza empleado	C	C	C	C	C/SD	SD	SD	SD	SD

C: convencional. SD: siembra directa.

La lluvia durante el período de análisis se registró mediante un pluviógrafo (pluviógrafo a cangilones PG 9, Telemet Siap). Para las estimaciones de caudal se utilizó la información proveniente de los registros de altura de agua efectuados por un limnógrafo-freatígrafo (limnógrafo-freatígrafo de lectura continua, modelo L.E. 203) dotado de un sensor piezo-resistivo, colocado en un pozo en un tramo rectilíneo de la vaguada, en el lugar de cierre de la microcuenca. La altura de agua por encima del sensor se registró a intervalos de 30 minutos en una memoria tipo EEPROM. Para transformar los valores registrados de altura de agua en caudal, se contó con la información del levantamiento planialtimétrico de ese sector de la vaguada realizado previamente, cuyo objetivo fue conocer la sección transversal y el radio hidráulico del mismo para diferentes alturas de agua. Se analizó la rugosidad del cauce y se verificó periódicamente que estos elementos no sufrieran modificaciones. Posteriormente, utilizando el modelo de Manning (Schwab *et al.*, 1966), se transformó la altura de agua en caudal.

De todos los eventos de lluvia-escorrimento se seleccionaron 15 ocurridos bajo el sistema de labranza convencional y 13 cuando la microcuenca estuvo labrada con siembra directa. El criterio de selección utilizado fue no considerar aquellas tormentas que generaron hidrogramas con más de un pico de crecida o aquellas lluvias que tuvieron una duración mayor a las veinticuatro horas, debido a que en estos casos es difícil la interpretación de los resultados. Tampoco se pudieron utilizar aquellos datos en que alguno de los dos aparatos registradores no estuvieron en funcionamiento.

Con la información de caudales en función del tiempo transcurrido y de los milímetros de lluvia registrados cada treinta minutos, se confeccionaron los hidrogramas y hietogramas correspondientes, analizándose el comportamiento global de los escurrimientos como así también el de algunos de los parámetros correspondientes a los tramos ascendentes y descendentes de los hidrogramas.

Para cada evento de lluvia se calculó: la curva número (Soil Conservation Service, 1985) obtenida de acuerdo al procedimiento señalado por Haan & Schultz (1987), el coeficiente de escurrimiento (escurrimiento/lluvia), el agua escurrida hasta el pico y después del pico del hidrograma, el tiempo transcurrido desde el inicio del escurrimiento hasta el pico y desde el pico del hidrograma hasta el cese del escurrimiento, el caudal medio hasta el pico y desde el pico del hidrograma, el caudal pico, la duración del hidrograma y el tiempo de concentración de la cuenca. A su vez, con la finalidad de tener en cuenta el estado de humedad del suelo al ocurrir cada tormenta, se calculó la cantidad de milímetros caídos los cinco, diez, quince y treinta días previos a cada tormenta.

Se testó la significancia de las diferencias en la respuesta hidrológica superficial de la microcuenca ante cambios en el sistema de labranza empleado por la F (Montgomery, 1991).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se puede observar la fecha, milímetros caídos, duración e intensidad de cada lluvia analizada y la cantidad de milímetros escurridos fuera de la microcuenca.

De su análisis se desprende que las tormentas caídas bajo cada sistema de labranza estudiado tuvieron características de alta variabilidad, con coeficientes de variación que en la mayoría de los casos superaron el 50%. También se visualiza en la misma que el promedio de milímetros caídos, correspondiente a las lluvias seleccionadas durante el período 1995-1998, fue mayor ( $P < 0,01$ ) respecto al período 2000-2002. Este mayor volumen de agua caída originó a su vez un mayor ( $P < 0,01$ ) escurrimiento bajo el sistema de labranza convencional (Tabla 2). La duración de las tormentas y su intensidad no fueron significativamente diferentes entre los tratamientos analizados.

Durante el período bajo el sistema de labranza convencional se registraron en promedio 50,33 mm de agua caídos los diez días previos a cada lluvia, lo cual fue mayor ( $P < 0,05$ ) a los 35,58 mm obtenidos bajo siembra directa. Igual comportamiento se observó con la lluvia caída los cinco, quince y treinta días previos a cada tormenta, aunque las diferencias entre tratamientos no fueron significativas. No obstante esto, los coeficientes de correlación entre los milímetros de agua caídos antes de cada lluvia y los restantes parámetros analizados en el presente trabajo fueron bajos y sin significancia estadística, por lo cual se descarta la posibilidad de que las lluvias previas hayan influido por sí solas, en el comportamiento de los escurrimientos analizados bajo ambos sistemas de labranza.

En la Tabla 3 se puede observar el valor medio de distintos parámetros de los escurrimientos generados, discriminados por sistema de labranza.

Tabla 2. Precipitaciones ocurridas durante el período de análisis con su correspondiente duración, intensidad media y escurrimiento provocado.

Table 2. Amount and duration of the precipitations during the period of analysis with its corresponding mean, peak rainfall intensity and runoff.

Fecha	Sistema de labranza	Lluvia caída	Duración de la lluvia	Intensidad media de la lluvia	Escurrimiento
		mm	minutos	mm h <sup>-1</sup>	mm
7/03/95	LC	117,00	1.020	6,88	21,68
31/03/95	LC	21,00	270	4,66	5,99
7/04/95	LC	123,00	180	41,00	97,53
28/04/95	LC	67,98	690	5,91	11,99
3/10/95	LC	110,00	600	11,00	16,99
12/10/95	LC	38,95	660	3,54	3,98
9/11/95	LC	35,00	390	5,38	24,00
23/02/96	LC	79,00	540	8,77	31,22
29/01/97	LC	66,00	360	11,00	50,37
29/11/97	LC	59,00	360	9,83	41,49
14/01/98	LC	42,00	120	21,00	4,00
27/01/98	LC	92,00	600	9,20	34,30
3/02/98	LC	45,00	540	5,00	11,80
6/02/98	LC	30,00	180	10,00	13,20
7/03/98	LC	11,00	60	11,00	3,60
<b>Media</b>	<b>LC</b>	<b>62,46</b>	<b>438</b>	<b>10,95</b>	<b>24,81</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>LC</b>	<b>56,69</b>	<b>59</b>	<b>85,18</b>	<b>99,68</b>
22/10/00	SD	66,00	210	18,86	25,35
11/11/00	SD	27,00	300	5,40	21,00
22/11/00	SD	52,00	330	9,45	18,51
8/01/01	SD	25,00	150	10,00	3,65
10/01/01	SD	40,00	360	6,67	11,43
30/09/01	SD	36,20	330	6,58	19,75
23/11/01	SD	51,10	60	51,10	19,05
30/01/02	SD	69,10	810	5,12	35,23
2/07/02	SD	35,90	1.350	1,60	10,42
19/08/02	SD	56,60	540	6,29	32,51
28/08/02	SD	32,70	660	2,97	5,29
26/10/02	SD	73,70	330	13,40	19,44
19/12/02	SD	73,20	390	11,26	18,12
<b>Media</b>	<b>SD</b>	<b>49,11</b>	<b>447</b>	<b>11,43</b>	<b>18,44</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>SD</b>	<b>35,76</b>	<b>75</b>	<b>111,61</b>	<b>50,54</b>

Según se observa en la misma, cuando la microcuena estuvo implantada con siembra directa, el valor promedio de la curva número fue mayor ( $P < 0,05$ ) respecto a cuando fue labrada bajo la forma convencional. Yoo *et al.* (1993), en un estudio de seis años en una microcuena de Estados Unidos, también reportaron aumentos en el

valor de CN en los sistemas de labranza conservacionistas, respecto a los sistemas convencionales de implantación de cultivos.

Como se mencionara previamente, no se encontraron en el presente trabajo vinculaciones fuertes entre la lluvia caída los días previos a cada tormenta y el escurri-

Tabla 3. Valor medio de los distintos parámetros de los escurrimientos discriminados por sistema de labranza.  
Table 3. Mean value of different runoff parameters corresponding to each tillage system.

Parámetros	Labranza convencional	Siembra directa	P
Coefficiente de escurrimiento	0,38	0,38	0,15
Curva número	80,71	83,92	0,01
Escurrecimiento hasta el pico del hidrograma (mm)	7,38	3,70	<0,01
Tiempo hasta el pico del hidrograma (minutos)	136,00	152,00	0,28
Caudal medio entre el inicio y el pico del hidrograma (m <sup>3</sup> seg <sup>-1</sup> )	3,43	1,35	<0,01
Caudal pico (m <sup>3</sup> seg <sup>-1</sup> )	5,46	2,49	<0,01
Escurrecimiento desde el pico del hidrograma (mm)	17,38	14,79	<0,01
Tiempo transcurrido desde el pico del hidrograma (minutos)	558,00	1.182,00	<0,01
Caudal medio desde el pico del hidrograma hasta su fin (m <sup>3</sup> seg <sup>-1</sup> )	1,45	0,61	<0,01
Duración total del hidrograma (minutos)	694,00	1.334,00	<0,01
Tiempo de concentración (minutos)	216,00	283,00	0,06
Tiempo hasta el pico/duración total del hidrograma	0,20	0,12	0,03
Tiempo desde el pico/duración total del hidrograma	0,80	0,88	0,03
Escurrecimiento hasta el pico/escurrecimiento total	0,32	0,22	0,49
Escurrecimiento desde el pico/escurrecimiento total.	0,68	0,79	0,17

miento. Si hubiera sido así, la curva número debería haber sido mayor en el período en que la microcuenca se labró bajo la forma convencional, ya que durante el mismo llovieron más milímetros antes de cada tormenta. Indudablemente la cobertura incidió sobre la evaporación del suelo, logrando una mayor economía del agua. De esta manera la superficie del suelo se mantuvo más húmeda bajo la siembra directa, independientemente del agua caída antes de cada tormenta, provocando mayores valores de curva número.

Al analizar lo ocurrido con el coeficiente de escurrimiento, en el presente trabajo no se observaron diferencias entre tratamientos (Tabla 3), mientras que Yu *et al.*, 1993 y Shipitalo & Edwards, 1998 reportan reducciones de este parámetro para microcuencas labradas bajo siembra directa.

Los resultados de este estudio muestran la mayor sensibilidad del parámetro curva número respecto al coeficiente de escurrimiento, para detectar diferencias en la hidrología superficial cuando se comparan distintos sistemas de labranza.

En cada tratamiento no se verificaron efectos significativos de los cultivos en el valor de la curva número o en el coeficiente de escurrimiento, debido a la alta variabilidad encontrada para cada cultivo en estos parámetros y al reducido número de las observaciones (Tabla 4).

En algunos casos, esta variabilidad estaría dada por la falta de agua en el suelo para algunas fechas del año 1995, determinando que el valor de curva número fuera muy bajo. Sin embargo, otras reducciones en el valor de curva número, como las correspondientes al año 2002 bajo el cultivo de maíz, no respondieron a situaciones de déficit hídrico, ya que los días previos había llovido abundantemente.

El sistema de implantación de cultivos empleado también mostró efectos en algunos parámetros correspondientes a los hidrogramas. Así los milímetros escurridos hasta y desde el pico del hidrograma, el caudal pico, el caudal medio entre el inicio del hidrograma y el pico del mismo y el caudal medio correspondiente al sector descendente del hidrograma fueron mayores ( $P < 0,01$ ) bajo labranza convencional, mientras que el hidrograma bajo siembra directa fue más ( $P < 0,01$ ) extenso (Tabla 3). Esto último se relacionó fundamentalmente con una mayor ( $P < 0,01$ ) duración del período de receso del mismo ya que la fase inicial del escurrimiento no presentó diferencias entre sistemas de labranza (Tabla 3).

En las siguientes figuras se pueden observar los hidrogramas originados por distintas tormentas bajo los dos sistemas de labranza analizados, estando la microcuenca mayoritariamente ocupada con maíz (Figura 2), con trigo o rastrojo de trigo (Figura 3). Las mismas están expresadas en caudal por unidad de volumen de escurrimiento,

Tabla 4. Valores de curva número para la microcuenca, obtenidos en distintas fechas con diferentes cultivos y bajo los dos sistemas de labranza estudiados.

Table 4. Curve number values in the watershed, corresponding to different dates, crops and under each tillage system.

Labranza convencional				Siembra directa					
Fecha	maíz	Fecha	soja	Fecha	trigo	Fecha	Maíz	Fecha	Trigo
07/03/95	56,16	27/01/98	74,40	03/10/95	55,03	22/10/00	80,73	30/09/01	92,63
31/03/95	90,75	03/02/98	80,99	12/10/95	73,89	11/11/00	97,72	23/11/01	83,96
07/04/95	91,09	06/02/98	91,60	09/11/95	95,58	22/11/00	83,02	30/01/02	85,45
28/04/95	68,13	07/03/98	95,50			26/10/02	72,32		
29/11/97	93,24	14/01/98	71,82			19/12/02	71,45		

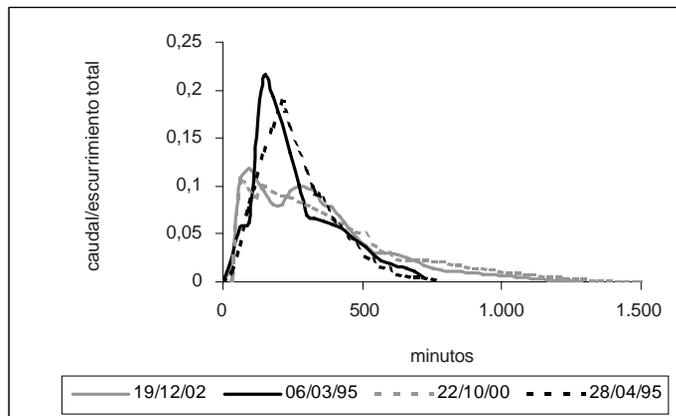


Figura 2. Hidrogramas generados por los dos sistemas de labranza estando la microcuenca implantada con maíz.

Figure 2. Hydrographs generated per each tillage system when maize was in the watershed.

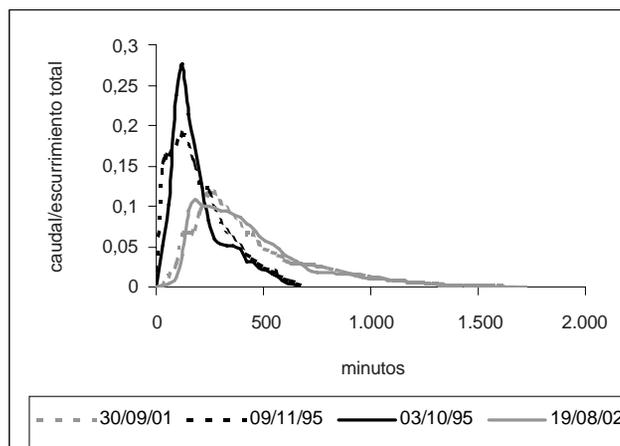


Figura 3. Hidrogramas generados por los dos sistemas de labranza estando la microcuenca implantada con trigo o cubierta con rastrojo de trigo.

Figure 3. Hydrographs generated per each tillage system when wheat or stubble wheat was in the watershed.

para evitar el efecto de tormentas con diferente cantidad de agua escurrida.

Tal como se discutiera previamente, se puede observar en las mismas que los picos de los hidrogramas bajo el sistema convencional son mayores, mientras que la duración del escurrimiento es más extenso bajo siembra directa.

Yu *et al.* (2000), al igual que en el presente trabajo, también encontraron una reducción en el pico de descarga en una microcuenca labrada bajo siembra directa, al comparar sus resultados con los obtenidos con otros sistemas de labranza.

El cálculo del tiempo de concentración está más influido por el primer período del escurrimiento, que como se viera precedentemente no difería en su extensión entre tratamientos. Debido a ello solo se observó una tendencia a un mayor ( $P < 0,10$ ) tiempo de concentración de la cuenca durante la implementación de la siembra directa (Tabla 3). Si bien Zimmerman *et al.* (2001) no compararon sistemas de labranza, observaron una progresiva disminución en el tiempo de concentración de una cuenca del sur de Santa Fe, debido al proceso de degradación de sus suelos. Esto manifiesta que el estado superficial edáfico (cubierto, descubierto, degradado, no degradado) puede alterar el valor de dicho parámetro.

El diferente sistema de labranza empleado no solo originó escurrimientos con distintos tiempos de duración, sino que también diferenció a los hidrogramas resultantes de acuerdo a la proporción de tiempo que ocupó cada uno de sus componentes. Así cuando el suelo estuvo labrado en forma convencional, la primer parte del hidrograma transcurrió durante una porción de tiempo mayor ( $P < 0,05$ ) respecto a la duración total del escurrimiento (Tabla 3), que cuando los cultivos se implantaron bajo siembra directa. Por su parte, durante el descenso de los hidrogramas ocurrió lo contrario (Tabla 3). Estas diferencias no se repitieron al analizar el porcentaje de milímetros escurridos en los períodos de ascenso y descenso de los hidrogramas (Tabla 3).

Según se viera al analizar la Tabla 2, durante el período de implementación de la labranza convencional hubo mayores escurrimientos debido también a mayores milímetros caídos durante ese período. Con el fin de despejar dicha incidencia, se recalcularon algunos de los parámetros recientemente analizados dividiéndolos por la cantidad de lluvia caída (Tabla 5).

Del análisis de la Tabla 5 se desprende que el sistema de labranza convencional generó, en el intervalo de tiempo transcurrido hasta el pico del hidrograma, un mayor ( $P < 0,05$ ) escurrimiento por cada milímetro de lluvia caída, fundamentalmente a partir de un mayor ( $P < 0,01$ ) caudal medio por unidad de lluvia registrado en el mismo período. También se observa en dicha Tabla, que durante el transcurso del sector descendente del hidrograma, no hubo diferencias en los milímetros escurridos por unidad de precipitación entre sistemas de labranza. Esto se debió a que si bien el caudal medio por milímetro de lluvia caída fue mayor ( $P < 0,01$ ) bajo labranza convencional, el mayor ( $P < 0,01$ ) tiempo de duración de este período bajo siembra directa (Tabla 3), compensó las diferencias visualizadas en la velocidad del agua.

Normalmente se piensa a la siembra directa como un sistema de alta eficiencia en el uso del agua, ya que genera una menor incidencia de la radiación solar directa sobre el suelo desnudo, provocando esto una menor tasa de evaporación. Los resultados del presente trabajo marcan que además este sistema de labranza genera retrasos en la evacuación de los escurrimientos al provocar un aumento de la rugosidad del terreno. Este retraso se manifiesta fundamentalmente durante el período de receso del hidrograma, ya que el período inicial estaría más marcado por las características propias de cada tormenta. Por otra parte, este sistema de labranza al generar menores velocidades de escurrimiento, reduciría la capacidad de transporte de sedimentos, los cuales muchas veces se encuentran asociados a diversos tipos de nutrientes y agroquímicos.

Tabla 5. Relaciones entre algunos parámetros de los hidrogramas con la lluvia caída, discriminadas por sistema de labranza.

Table 5. Relations between some hydrograph parameters and rainfall amount corresponding to each tillage system.

Parámetros	Labranza convencional	Siembra directa	P
Escurrecimiento hasta el pico/ lluvia caída	0,12	0,08	0,02
Caudal pico/lluvia caída	0,08	0,05	<0,01
Escurrecimiento desde el pico/lluvia caída	0,27	0,30	0,28
Caudal medio hasta el pico/lluvia caída	0,05	0,03	<0,01
Caudal medio desde el pico/lluvia caída	0,02	0,01	<0,01

## CONCLUSIONES

El sistema de labranza siembra directa originó valores de curva número mayores respecto al sistema convencional.

La duración de los escurrimientos fue mayor bajo siembra directa debido a un alargamiento de la fase descendente de los hidrogramas.

Los caudales de escurrimiento generados por unidad de lluvia caída fueron siempre menores bajo el sistema de siembra directa respecto al sistema de labranza convencional.

Los milímetros escurridos durante la fase descendente de los hidrogramas no fueron diferentes entre sistemas de labranza, ya que el menor caudal registrado bajo siembra directa fue compensado con una extensión mayor de ese período.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo corresponde al Proyecto de Investigación de la Universidad de Buenos Aires: (UBACyT G093).

## BIBLIOGRAFÍA

- Andraski, BJ; TC Daniel; B Lowery & DH Mueller. 1985. Runoff results from natural and simulated rainfall for four tillage systems. *Transactions of the ASAE* 28(4): 1219-1225.
- Black, PE. 1997. Watershed functions. *Journal of the American Water Resources Association* 33(1): 1-11.
- Blevins, RL; WW Frye; PL Baldwin; SD Robertson. 1990. Tillage effects on sediment and soluble nutrient losses from a Maury silt loam soil. *J. Environ. Qual.* 19: 683-686.
- Chagas, CI; OJ Santanatoglia y E A Rienzi. 1993. Análisis del escurrimiento de una microcuenca utilizando distintas metodologías. *Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetales* 8: 177-190.
- Haan, CT & RE Schultz. 1987. Return period flow prediction with undertain parameters. *Transaction of the ASAE* 30(3): 665-669.
- INTA. 1973. Carta de suelos de la República Argentina, Hoja 3360-33. E Pérez Millán 1:50.000, 48 p.
- INTA. 1996. Estación Experimental San Pedro. Reportes Meteorológicos. Series de lluvia 1965-1996.
- Lindstrom, MJ & CA Onstad. 1984. Influence of tillage systems on soil physical parameters and infiltration after planting. *J. Soil and Water Cons.* 39(2): 149-152.
- Montgomery, DC. 1991. Diseño y análisis de experimentos. Grupo Editorial Iberoamérica, 03810 México, D.F. 589 pp
- Meyer, LD; WH Wischmeier; GR Foster. 1970. Mulch rates required for erosion control on steep slopes. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 928-931.
- Schwab, G; R Frevert; T Edminster & K Barnes. 1966. Soil and Water Conservation Engineering. Ed. J. Wiley, Inc. NY, 683 pp.
- Shipitalo MJ & WM Edwards. 1998. Runoff and erosion control with conservation tillage and reduced-input practices on cropped watersheds. *Soil & Tillage Res.* 46: 1-12.
- Soil and Water Conservation Society of America. 1977. Conservation tillage: Problems and potentials. Spec. Publ. N° 20. Ankeny, IA.
- Soil Conservation Service. 1985. SCS national engineering handbook. Section 4 Hydrology. USDA Soil Conservation Service. Washington, DC.
- Yoo, KH & JT Touchton. 1989. Runoff and soil loss by crop growth stage under three cotton tillage systems. *J. Soil and Water Cons.* 44(39): 225-228.
- Yoo, KH; KS Yoon & JM Soileau. 1993. Runoff Curve Numbers Determined by Three Methods Under Conventional and Conservation Tillages. *Transactions of the ASAE* 36(1): 57-63.
- Yu, B; S Sombatpanit; CW Rose; EAA Ciesiolka & KJ Coughland. 2000. Characteristics and modeling of runoff hydrographs for different tillage treatments. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1763-1770.
- Zimmermann, ED; PA Basile & GA Riccardi. 2001. Análisis de la modificación en la respuesta hidrológica del sistema del Arroyo Ludueña provocados por cambios del uso del suelo. Seminario Internacional Sobre Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. 103 pp.