

MOVIMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL DE AGUA Y PARTÍCULAS EN UN ARGUJUDOL BAJO SIEMBRA DIRECTA

CHAGAS CI⁽¹⁾; IRURTIA C⁽²⁾, THISTED J⁽¹⁾, SANTANATOGLIA OJ⁽¹⁾, MASSSOBRIO MJ⁽¹⁾, CASTIGLIONI MG⁽¹⁾, BUJÁN A⁽³⁾.

⁽¹⁾ Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos, Facultad de Agronomía UBA. (1417) Av. San Martín 4453. Capital Federal. E mail: chagas@agro.uba.ar

⁽²⁾ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) CIRN .Castelar, Prov. de BsAs

⁽³⁾ CNEA

Recibido 23 de agosto de 2004, aceptado 24 de noviembre de 2004

HORIZONTAL AND VERTICAL MOVEMENT OF WATER AND PARTICLES IN AN ARGUJUDOLL UNDER NO TILLAGE

The horizontal and vertical movement of water and particles in the upper 6 cm of a Vertic Argiudoll under continuous no tillage since 1999 was analyzed. For this purpose undisturbed soil cylindrical macro samples were taken from the field and used as runoff plots in the laboratory. Treatments consisted in bare and covered plots using soybean crop residues as surface cover. After the simulated rainfall application, 4 cylinders were extracted from each runoff plot for measuring saturated hydraulic conductivity. The coefficient of variation of this soil property for each plot varied between 36% and 204% indicating the existence of preferential flow paths. Runoff rates differed between treatments with rainfalls of more than 425 J m⁻². During the second rain total infiltration, final infiltration rate and saturated hydraulic conductivity were significantly higher for the covered treatment compared to the bare treatment. On the other hand, the bare treatment showed higher runoff rate and horizontal and vertical particle movement (P<0,05) compared to the covered treatment. These results show that the bare treatment under no tillage can suffer significant soil physical degradation due to falling drop impact, although it has high aggregate stability and moderate organic carbon content. Particles moving downwards can obstruct water conducting macropores, reducing the saturated hydraulic conductivity and hence the infiltration rate.

Key words: Argiudoll, No tillage, Runoff, Percolation, Particle movement.

INTRODUCCION

La acción de la siembra directa sobre las propiedades edáficas puede separarse según la escala de tiempo y espacio considerada. En el corto plazo, la siembra directa facilita el control de los escurrimientos y la erosión hídrica debido a la presencia de rastrojos en superficie (Bradford, Huang 1994; Gallaher *et al.* 1996). En el largo plazo, la siembra directa favorece la acumulación superficial de materia orgánica lo cual generalmente se asocia a una mayor actividad biológica edáfica y a una mayor estabilidad estructural del suelo (Chagas *et al.* 1995). Esta labranza ha sido ampliamente adoptada en la región húmeda de la pradera pampeana en años recientes. Ello resulta favorable pues dicha región posee suelos limosos con una elevada vulnerabilidad a sufrir erosión hídrica (Wischmeier, Smith 1978). En la cuenca del arroyo del Tala (Buenos Aires), se han llevado a cabo estudios de erosión hídrica

de largo plazo a nivel de microcuencas que indican que bajo labranza convencional las pérdidas de suelo variaron espacialmente entre 11 y 35 t ha⁻¹ año⁻¹ (Buján *et al.* 2003). En otro trabajo se observó una tendencia hacia la disminución del escurrimiento estacional bajo siembra directa en años con precipitaciones de alta intensidad y elevado volumen, respecto de la labranza convencional (Chagas *et al.* 2003). También se pudo observar que bajo siembra directa, se produjeron cambios significativos en la forma de los hidrogramas de salida de agua (Castiglioni *et al.* 2001). A nivel de parche, se observó una influencia significativa de la cobertura y de la humedad inicial del suelo, sobre la infiltración y las pérdidas de suelo bajo siembra directa (De la Vega *et al.* 2004).

Numerosos autores destacan la importancia de la presencia de caminos preferenciales desde la superficie, en el flujo

vertical de agua en suelos bajo siembra directa continua (Logsdon *et al.* 1990; Hangen *et al.* 2002). El estudio de estos caminos preferenciales a nivel del perfil completo posee numerosos inconvenientes operativos que dificultan su realización mientras que su estudio a nivel de capas de suelo podían arrojar valores de flujo de agua de un orden de magnitud superior al del perfil completo (Logsdon *et al.* 1990).

Por lo expuesto, el presente estudio planteó como objetivo estudiar el movimiento vertical y horizontal de agua y partículas de muestras inalteradas del suelo superficial (0-6 cm) de un Argiudol vértico bajo siembra directa continua sometido a lluvia simulada en laboratorio, con y sin cobertura de rastrojos.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación del ensayo y propiedades del suelo estudiado

Las muestras se extrajeron del establecimiento Los Patricios (UBA), ubicado en San Pedro, provincia de Buenos Aires, Argentina y fueron procesadas en el Instituto de Suelos de INTA Castelar. El suelo corresponde a una fase moderadamente erosionada de la serie Ramallo (Argiudol vértico) (INTA 1996). El lote seleccionado ha sido destinado a cultivos anuales siendo la soja el cultivo más frecuente. El sistema de labranza hasta 1999 fue la labranza convencional. A partir de ese año se realizó siembra directa continua. El contenido de carbono orgánico (Walkley y Black) de suelo su-

perficial (0-6 cm) varió entre 2 y 2,3% mientras que su estabilidad estructural se clasificó como excelente de acuerdo con la escala de De Boodt y De Leenheer (1958) (De la Vega *et al.* 2004). La distribución de partículas elementales del horizonte superficial fue la siguiente: arcilla 26%, limo 59% y arena 15%.

Extracción y acondicionamiento de las muestras y descripción de los tratamientos

El muestreo se realizó durante el invierno de 2002 posterior a la cosecha de soja de segunda siembra. Se seleccionaron al azar 11 sitios de muestreo y de cada sitio se procedió a recolectar con la mano el rastrojo superficial evitando disturbar el suelo. A continuación se extrajeron 11 muestras de suelo cilíndricas inalteradas y carentes de cobertura, de 21 cm de diámetro y 6 cm de espesor, empleando un dispositivo preparado para funcionar posteriormente como parcela de escurrimiento de laboratorio. Dichas parcelas cuentan con un vertedero lateral para conducir los escurrimientos superficiales al momento de la simulación de lluvia. Las parcelas permiten también recoger las aguas de percolación. Las muestras de suelo fueron guardadas en bolsas de plástico para conservar la humedad edáfica. En el laboratorio se procedió a secar el rastrojo de soja y se lo colocó en la superficie de 5 parcelas elegidas al azar (tratamiento cubierto), a razón de 7900 kg ha⁻¹. Otras 5 parcelas permanecieron sin cobertura (tratamiento descubierto). La parcela restante se utilizó para ajustar la metodología de laboratorio previo al ensayo. Cada parcela fue ajustada sobre un fondo de acrílico, el cual contaba con numerosas perforaciones. Entre el acrílico y las parcelas se colocó un par de telas de malla plástica

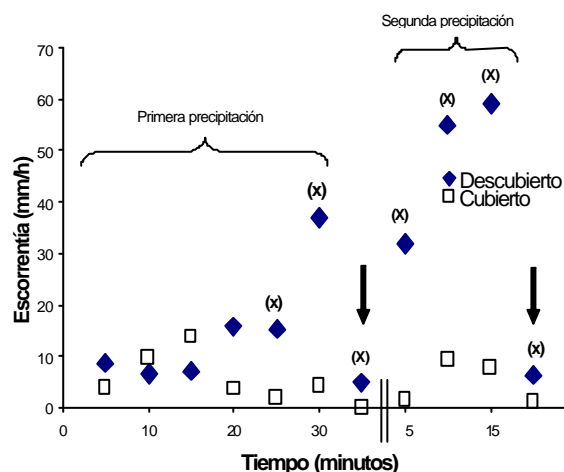


Figura 1.- Escorrentía en función del tiempo. Las flechas verticales indican el escurrido recogido luego de finalizada cada lluvia. Las cruces indican diferencias significativas ($P<0,05$).

Figure 1.- Runoff vs time. Vertical arrows show the runoff sampled after rainfall application. Crosses indicate significant differences ($P<0,05$).

que permitieran el paso del agua impidiendo el desmoronamiento del suelo suprayacente. Luego se procedió a inclinar el conjunto aproximadamente 1% en la dirección del vertedero de la parcela, dejando la parcela preparada para permitir recolectar tanto el escurrimiento como el agua de percolación al momento de la aplicación de lluvias.

Simulación de lluvia

Se empleó un simulador de lluvia de tipo "formador de gotas" con una altura de caída de 100 cm y un tamaño de gotas de 5 mm de diámetro (Kamphorst 1987; Irurtia, Mon 1994). Se aplicaron dos lluvias sucesivas con una intensidad de 120 mm/h. La primera lluvia duró 30 minutos, luego siguió un intervalo de 15 minutos sin lluvia y por último, se aplicó la segunda lluvia de 15 minutos. La energía aplicada sobre la superficie del suelo carente de cobertura, fue de aproximadamente 8,5 J por m² de superficie y por mm de lluvia.

Determinaciones efectuadas

Previo a la lluvia, se determinó la humedad gravimétrica de cada parcela. Durante el ensayo se recolectó y pesó a intervalos de 5 minutos, tanto el agua escurrida como el agua percolada. El agua recolectada se dejó sedimentar y el material arrastrado fue separado por decantación y posterior secado en estufa de temperatura moderada. La infiltración medida durante los 5 minutos finales de cada lluvia se denominó tasa final de infiltración (TFI) mientras que la infiltración remanente representó el agua percolada durante los 15 minutos siguientes a

la finalización de cada lluvia. Al finalizar el ensayo, se extrajeron 4 cilindros de 7,2 cm de diámetro y 6 cm de altura por cada parcela para determinar simultáneamente la conductividad hidráulica saturada (CHS) empleando el método de Klute y Dirksen (1986) y su densidad aparente. La CHS se expresó de dos maneras: CHS máxima y CHS media. La primera se calculó seleccionando el valor máximo de CHS de las 4 mediciones efectuadas por cada parcela de escurrimiento. La segunda se calculó como promedio de esas mismas 4 mediciones. En total se procesaron 20 muestras de CHS por cada tratamiento.

Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento tuvo un diseño completamente aleatorizado con dos tratamientos: suelo cubierto y suelo descubierto y cinco repeticiones. Se realizaron análisis de variancia y de regresión lineal simple y correlación linear (Snedecor, Cochran 1980).

RESULTADOS Y DISCUSION

La humedad antecedente edáfica registrada entre 0 y 6 cm de profundidad correspondió al 80% de la capacidad de campo y presentó una baja variabilidad espacial (CV=12,3%). La densidad aparente (0-6 cm de profundidad) no varió entre tratamientos; su valor medio fue 1,22 g cm⁻³ (DS=0,063; n=21). Estos resultados permitieron descartar tanto a la humedad inicial como a la densidad aparente

Tabla 1.- Movimiento de agua y partículas durante la primera lluvia aplicada.

Table 1.- Movement of water and particles during the first rainfall event.

Primera lluvia simulada (60 mm aplicados durante 30 minutos)

Propiedades medidas	Tratamientos		Signifi - cancia	
	Suelo Cubierto	Suelo Descubierto		
Escurrimiento total (mm)	3,1 (6,69)	7,94 (5,55)	NS	
Movimiento Horizontal	Escurrimiento remanente (mm)	0	0,35 (0,37)	P<0,05
	Pérdida lateral de suelo (g)	0,15 (0,31)	1,04 (0,65)	P<0,10
Infiltración total (mm)	51,66 (5,82)	47,38 (4,48)	NS	
Movimiento Vertical	Tasa de Infiltración final (TFI) (mm/h)	120,0 (6,43)	87,71 (14,11)	P<0,01
	Infiltración remanente (mm)	2,97 (0,81)	4,83 (2,65)	NS
	Pérdida vertical de suelo (g)	0,2 (0,08)	0,51 (0,49)	NS

Nota: Desvío estándar

Note: Standard deviation

Tabla 2.- Movimiento de agua y partículas durante la segunda lluvia aplicada y posteriormente.
Table 2.- Movement of water and particles during the second rainfall event and later on.

Segunda lluvia simulada (30 mm aplicados durante 15 minutos)

Propiedades medidas		Tratamientos		Signifi- cancia
		Suelo Cubierto	Suelo Descubierto	
	Escurrimiento total (mm)	1,63 (2,01)	12,70 (5,21)	P<0,01
Movimiento Horizontal	Escurrimiento remanente (mm)	0,08 (0,13)	0,52 (0,39)	P<0,05
	Pérdida lateral de suelo (g)	0,02 (0,02)	1,04 (0,65)	P<0,01
	Infiltración total (mm)	25,97 (2,03)	17,49 (4,89)	P<0,01
Movimiento Vertical	Tasa de infiltración final (TFI) (mm/h)	108,63 (13,45)	61,39 (27,79)	P<0,01
	Infiltración remanente (mm)	2,82 (1,11)	2,92 (1,49)	NS
	Pérdida vertical de suelo (g)	0,04 (0,04)	0,29 (0,24)	P<0,05
Conducti- vidad hidráulica saturada	CHS máxima (mm/h) (1)	389,58 (380,02)	21,58 (38,03)	P<0,10
	CHS media (mm/h) (2)	173,54 (158,80)	8,96 (16,49)	P<0,10

Nota: Desvío estándar

(1) Se promedió el valor máximo de CHS de cada parcela de escurrimiento por cada tratamiento (n=5)

(2) Se promediaron todos los valores de CHS obtenidos por cada tratamiento (n=20)

Note: Standard deviation

(1) Mean corresponding to the maximum CHS value of each runoff plot in each treatment (n=5)

(2) Mean corresponding to all CHS values obtained in each treatment (n=20)

te, como fuentes de variación del presente ensayo.

La Figura 1 muestra que el tratamiento cubierto escurrió significativamente menos que el tratamiento descubierto a partir de la aplicación de 425 J m⁻² (50 mm en forma de lluvia simulada). Estas diferencias se mantuvieron aún en los períodos sin lluvia, marcados con flechas verticales en la Figura 1.

Las Tablas 1 y 2 muestran que los valores totales de escurrimiento superficial y movimiento lateral y vertical de suelo, resultaron significativamente más elevados para el tratamiento sin cobertura edáfica. Estas diferencias se dieron principalmente durante la segunda lluvia.

Al contar con parcelas de percolación libre, se pudo constatar que el mismo fenómeno que ocurría en superficie, lo hacía también en profundidad, ya que el tratamiento descubierto arrastró significativamente (P<0,05) mayor cantidad de material junto con el agua de percolación que su par con cobertura superfi-

cial, durante la segunda lluvia (Tabla 2).

Estas diferencias podrían atribuirse a que el impacto de las gotas sobre la superficie del tratamiento descubierto, produjo el desprendimiento superficial de partículas individuales y microagregados (Farres 1987; Moore, Singer 1990) que junto a otras alteraciones estructurales, podrían dificultar el paso del agua en profundidad. A pesar de la elevada estabilidad estructural asociada a siembra directa, el suelo descubierto se comportó como altamente susceptible al sellamiento superficial.

Las tasas de infiltración al final de la primera y segunda lluvia (TFI) (Tablas 1 y 2) mostraron diferencias altamente significativas (P<0,01) en favor del tratamiento cubierto. Su coeficiente de variación resultó moderado y de magnitud similar al de otros trabajos con lluvia simulada (Chagas 1995; De la Vega *et al.* 2004)

El valor absoluto de la tasa de infiltración en ambos tratamientos resultó aproximadamente un orden de magnitud superior al que

se midiera oportunamente en el mismo suelo a campo (De la Vega *et al.* 2004), lo cual coincide con lo observado por Logsdon *et al.* (1990) para estudios hechos en capas de suelo aisladas del perfil completo.

En términos relativos, el contraste entre el tratamiento cubierto y el descubierto resultó similar en algunas propiedades tanto en laboratorio como a campo (De La Vega *et al.* 2004). Esto se vio reflejado tanto en la relación "TFI de suelo cubierto vs descubierto" (1,5 en laboratorio y 2 a campo) como en la relación "concentración total de sedimentos del escurrimiento de suelo descubierto vs cubierto" (3 en laboratorio y 3,5 a campo).

En la Tabla 2 se muestran los valores de conductividad hidráulica saturada (CHS) máxima y media obtenidos al finalizar la aplicación de las lluvias. Se observó una tendencia hacia mayores valores en el tratamiento cubierto respecto del descubierto ($P < 0,10$). La escasa significancia obtenida podría atribuirse a la elevada variabilidad espacial de la CHS interparcela (92% a 184%). Tanto esta variabilidad como la variabilidad intraparcelsa (36% a 204%), podrían asociarse a la presencia de caminos preferenciales para el paso del agua ya que las mismas resultaron 4 veces superiores a la variabilidad de la TFI.

Teniendo en cuenta que la conductividad hidráulica condiciona el proceso de infiltración (Rawls *et al.* 1989), se intentó correlacionar en forma lineal CHS y TFI, obteniéndose un ajuste pobre. Entre ambas conductividades, se obtuvo mayor correlación con CHS máxima ($r = 0,61$; $n=10$) que con CHS media ($r = 0,46$; $n=10$). Este hecho mostraría nuevamente la influencia de los caminos preferenciales en la tasa de infiltración final.

A su vez, la relación TFI/CHS resultó menor que 1 para el suelo cubierto mientras que fue mayor que 1 para el suelo descubierto. Teniendo en cuenta que CHS se midió bajo presión de una columna de agua, la presencia de partículas desconectadas del suelo en el tratamiento descubierto habrían obturado aún más los poros de conducción que en ausencia de presión hidrostática. Lo contrario parece haber ocurrido bajo cobertura de residuos, en la cual se habría conservado la porosidad asociada al movimiento gravitatorio del agua en el suelo.

A partir del remanente de infiltración obtenido al finalizar las lluvias, se pudo estimar que el volumen ocupado por los caminos preferenciales al paso del agua, sería aproximadamente el 9% del volumen total del suelo.

Implicancias para el estudio del manejo y la conservación del suelo y el agua

Empleando lluvia simulada en suelos inalterados bajo condiciones controladas de laboratorio fue posible visualizar la importancia del flujo hídrico por caminos preferenciales que ocurre en los primeros centímetros del horizonte superficial de un Argiudol bajo siembra directa continua. Resulta importante mantener un volumen adecuado de rastrojos en superficie, ya que debido a su textura franco limosa, este suelo resulta vulnerable a manifestar efectos de sellado superficial y a sufrir la translocación horizontal y vertical de las partículas desprendidas. El transporte vertical de partículas habría obturado parcialmente los caminos preferenciales de conducción, afectando de esta manera la conductividad hidráulica del suelo descubierto y reduciendo así comparativamente su tasa de infiltración respecto del tratamiento con cobertura.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por el proyecto UBACyT G093.

REFERENCIAS

- Bradford J M, Huang C, 1994. Interrill soil erosion as affected by tillage and residue cover. *Soil Till. Res.* 31: 353-361.
- Buján A, Santanatoglia O J, Chagas C I, Massobrio M J, Castiglioni M G, Yañez M, Ciallela H, Fernandez J, 2003. Soil erosion evaluation in a small basin through the use of ^{137}Cs technique. *Soil Till. Res.* 69:127-137.
- Castiglioni M G, Massobrio M J, Chagas C I, Santanatoglia O J, Buján A, 2001. Estudio de la incidencia de los sistemas de uso de la tierra en la hidrología superficial de una microcuenca de Pampa Ondulada. Trabajo completo publicado en CD Seminario Internacional sobre Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. Rosario, Argentina, 8 al 12 de octubre.
- 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 C I, Santanatoglia O J, Castiglioni M G,

- Marelli H J, 1995. Tillage and cropping effects on selected properties of an Argiudoll in Argentina. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 26: 643-655.
- Chagas C I, Santanatoglia O J, Massobrio M J, Castiglioni M G, Buján A, Irurtia C, 2003. Esgurrimiento estacional en una microcuenca de llanura en función de factores asociados al clima y a las labranzas. Trabajo completo publicado en CD VII Congreso Argentino de Ingeniería Rural, CADIR 2003. Balcarce, 7 al 9 de mayo.
- De Boodt M, De Leenheer L, 1958. Soil structure index and plant growth. *Proceeding of the International Symposium on Soil Structure*, Ghent Bélgica, 234-244.
- De La Vega G, Castiglioni M G, Massobrio M J, Chagas C I, Santanatoglia O J, Irurtia C, 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.
- Farres P J, 1987. The dynamics of rainsplash erosion and the role of aggregate stability. *Catena* 14: 119-130.
- Gallaher A V, Wollenhaupt N C, Bosworth A H, 1996. Vegetation management and interrill erosion in no-till corn following alfalfa. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:1217-1222.
- Hangen E, Buczko U, Bens O, Brunotte J, Huttel R F, 2002. Infiltration patterns into two soils under conventional and conservation tillage: influence of the spatial distribution of plant root structures and soil animal activity. *Soil Till. Res* 63:181-186.
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), 1996. Carta de Suelos de la República Argentina Hoja 3360-34 San Pedro, 73 pp.
- Irurtia C B, Mon R, 1994. Microsimulador de lluvia para determinar infiltración a campo. Publicación N°6, Instituto de Suelos, CIRN, INTA, 18 PP.
- Kamphorst A, 1987. A small rainfall simulator for the determination of erodibility. *Nether. J. Agric. Sci.* 35:407-412.
- Klute A, Dirksen C, 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. *En: Klute (ed.) Methods of soil analysis. Part 1* 2nd ed. *Agron. Monogra.* 9. ASA and SSSA, Madison, WI, USA. PP687-734.
- Logsdon S D, Allmaras R R, Wu L, Swan J B, Randall G W, 1990. Macroporosity and its relation to saturated conductivity under different tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1096-1101.
- Moore D C, Singer M J, 1990. Crust formation in soil erosion processes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:1117-1123.
- Rawls W J, Stone J J, Brakensiek D L, 1989. Infiltration. *En: Lane L J, Nearing M A (Eds). USDA Water Erosion Prediction Project. Hillslope Documentation. NSERL Report N°2. USDA ARS National Soil Erosion Research Laboratory. West Lafayette, Indiana 47907 USA.*
- Snedecor G W, Cochran W G, 1980. *Statistical Methods.* 7th edn. Iowa State University Press.
- Wischmeier W H, Smith D D, 1978. Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning. *Agr. Handbook No 537. U.S. Dept. Agr., Washington, D.C.* 58 pp.