



ESCARIFICADO EN SIEMBRA DIRECTA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS FLUJOS PREFERENCIALES

NO TILLAGE ESCARIFIED SPATIAL DISTRIBUTION PREFERENTIAL FLOWS

María Sofía Vilche
Sergio Montico
Néstor Di Leo

Originales
Recepción: 28/06/2004
Aceptación: 16/09/2004

RESUMEN

Para obtener información respecto de los posibles recorridos que realiza un flujo de agua y su distribución espacial bajo la labor de escarificado en siembra directa y comprobar su persistencia al 1 ½ año de haber sido efectuada, se realizó un ensayo en Zavalla, Santa Fe (60° 53' O y 33° 01' S) en un Argiudol vértico bajo cultivo de *Medicago sativa*. T₀ fue siembra directa sin escarificar, T₁ escarificado antes de sembrar y T₂ escarificado al año de la siembra de la alfalfa. Se simuló la lluvia irrigando con una solución de 1g.l⁻¹ de azul de metileno. Se fotografiaron perfiles sucesivos en cada tratamiento. Los sectores coloreados de las fotografías fueron delimitados, digitalizados y medidas las áreas y longitudes verticales. El movimiento descendente tuvo lugar mayoritariamente como flujos preferenciales que fueron iniciados por las fisuras, las raíces creciendo dentro y fuera del área removida y las grietas del suelo. En todos los tratamientos los flujos atravesaron el límite A / B1, pero en ningún caso alcanzaron el B2. La configuración de los patrones de distribución permitió comprobar la mayor capacidad de conducción hidráulica y persistencia de la labor de escarificado sobre siembra directa.

ABSTRACT

The spatial distribution of water flow paths was experimentally examined under no tillage and no tillage scarified, and checked the persistence of this last tillage at 1 ½ year of having been made in vertic Argiudol in Zavalla, Santa Fe (60° 53' W y 33° 01' S). T₀ was no till without scarified, T₁ scarified before sowing and T₂ scarified at 1 year after *Medicago sativa* sowing. The rain was simulated irrigating with methylene blue 1g.l⁻¹ solution. Successive profiles were photographed in each treatment. The colored sectors of the photographs were defined, digitized and measured the areas and longitudes verticales. The descending movement took place for the most part as preferential flows that were begun by the fissures, the roots growing inside and outside of the removed area and the cracks of the soil. In all treatments the flows crossed the limit A / B1, but in any case the B2 reached. The configuration of distribution patterns allowed to prove the biggest capacity of hydraulic conduction and persistence of scarified on direct siembra.

Palabras clave

escarificador • siembra directa • flujos preferenciales

Key words

scarifier • no tillage • preferential flow

INTRODUCCIÓN

Los suelos limosos de la pampa ondulada poseen baja capacidad de regeneración de la estructura, particularmente cuando ésta se encuentra deteriorada, presentado una mayor susceptibilidad a formar estructura masiva con encostramiento superficial y pérdida de porosidad estructural. En estas situaciones los planteos de producción en siembra directa evidencian en general una compactación neutralizada, a veces, por el efecto de la cobertura. Según Taboada (14) los suelos franco limosos deben ser laboreados periódicamente para evitar el desarrollo de impedancias mecánicas que afecten las raíces de las plantas. El número y la conectividad de los macroporos como otros parámetros hidráulicos del suelo están influenciadas por los sistemas de labranza (4). La implementación de la labranza profunda con escarificador genera una perturbación en el suelo sin realizar una importante modificación de la cobertura y está orientada al aumento de la macroporosidad, optimizando el desarrollo de las raíces e incidiendo en la dinámica del aire y del agua (2, 13).

Se han realizado estudios a campo para evaluar la importancia relativa de los distintos mecanismos de transporte de agua en el suelo. Ellos han demostrado la ocurrencia de movimientos preferenciales a través de macroporos, grietas, canales generados por las raíces o fauna edáfica (1, 6) bajo diferente granulometría, condiciones de límites y sistemas de labranza (8, 17).

Con la finalidad de obtener información respecto de los posibles recorridos que realiza un flujo de agua en un suelo bajo diferentes prácticas de labranza, en un cultivo de alfalfa se propone estudiar su distribución espacial bajo la labor de escarificado en siembra directa y examinar su persistencia al año de haber sido efectuada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del sitio

La experiencia se llevó a cabo en el Campo Experimental Villarino de la UNR, Zavalla, Sta. Fe (60° 53' O y 33° 01' S). El clima es húmedo-subhúmedo mesotermal. El suelo es un Argiudol vértico profundo, moderadamente bien drenado, con un horizonte superficial franco limoso de 25 cm apoyado sobre un horizonte B1 que transiciona a un B2 franco arcillo limoso, que tiene comienzo a los 40 cm y se extiende hasta los 140 cm.

Características del ensayo

El ensayo se realizó en un lote en el cual el sistema de siembra directa fue implementado durante 11 años. Los cultivos que integraron la rotación fueron maíz, soja y trigo. Para llevar a cabo la experiencia se establecieron parcelas de 20 x 10 m con dos repeticiones por cada tratamiento, los que a continuación se detallan. Sobre rastrojo de trigo, en febrero de 2002 se efectuó una labor de escarificado a la profundidad de 32 cm (T_1) y en el otoño se sembraron 18 kg.ha⁻¹ de alfalfa CUF 101

en todas las parcelas. El escarificado se repitió en agosto de 2003 sobre la alfalfa implantada en las parcelas destinadas para tal fin (T_2). La siembra directa sin escarificar fue considerada como testigo (T_0). La experiencia se realizó a los 45 días de efectuada esta última labor y estuvo antecedida por una sequía invernal en la cual se registró una disminución del 30 % en las lluvias respecto del promedio histórico (11). El equipo escarificador utilizado fue tipo paratill con un distanciamiento entre púas de 35 cm.

Dentro de cada tratamiento se ubicaron al azar dos parcelas por repetición de 0.80 m de lado x 0.50 m de profundidad con bordes de 7 cm de altura. Las plantas de alfalfa fueron cortadas a una altura de 3 cm sobre el nivel del suelo y luego se irrigó con una solución acuosa de 1g.l⁻¹ de azul de metileno ($C_{16}H_{18}ClN_3S \cdot 2H_2O$). Dicha solución fue usada con éxito en numerosas experimentos realizados para visualizar los recorridos de los flujos, proveyendo un buen contraste con el color del suelo (3, 6).

Aplicación y muestreo

De la solución mencionada, con un pulverizador se aplicaron 100 mm manteniéndose una carga hidráulica de 5 cm hasta que se infiltró toda la solución y se generó un flujo saturado.

En el área de estudio la máxima intensidad de las precipitaciones con recurrencia de 10 años es 120 mm en 24 horas y la máxima intensidad horaria, en el período primaveral, es de 45 mm.h⁻¹ (7).

Transcurridas dos horas se realizaron las excavaciones obteniéndose por tratamiento 16 secciones verticales sucesivas y separadas entre sí por una distancia aproximada de 10 cm. En cada oportunidad se colocó un marco de 0.40 x 0.40 m sobre la pared del perfil y se fotografió con una cámara digital SONY DSC-P31 2.0, ubicada a una distancia fija de 50 cm.

Se determinó el contenido de humedad inicial por gravimetría en las profundidades 0-5; 5-20 y 20-35 cm en cada tratamiento con tres muestras por estrato.

Es un diseño anidado, las fotografías y las observaciones a campo están dentro de las pequeñas parcelas que a su vez lo están en las parcelas de mayor tamaño.

Análisis de las imágenes

En las imágenes fotografiadas se trazaron los contornos de las áreas coloreadas por la solución de azul de metileno que fueron digitalizadas por ENVI 6.1 (9) y registradas en un sistema común de coordenadas. En los polígonos obtenidos se midieron las áreas y las longitudes verticales.

Análisis estadístico

Se realizó análisis de la variancia con las variables estimadas y se evaluaron las medias con el test de Duncan utilizando el Statistical Analysis Systems (12).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La humedad inicial (tabla 1) fue significativamente superior en T_0 para todas las profundidades analizadas. T_1 y T_2 presentaron contenidos hídricos similares salvo en los primeros 5 cm de suelo donde de todos los tratamientos difirieron.

Perillo et al. (8) indican para ensayos realizados en alfalfa con tinturas similares, que el mayor contenido hídrico inicial del suelo induce a una mayor profundidad de penetración, tanto bajo condiciones de campo como de laboratorio; esto no coincidió con los resultados aquí obtenidos, diferencias probablemente enmascaradas por el tipo de disturbio que genera la labranza implementada.

La altura de corte de la alfalfa fue similar a la del estudio realizado por Vogeler et al. (16). Según estos autores, mayores alturas en los tallos pueden inducir un flujo escurriendo a través de los mismos y crear variaciones en la densidad de flujo sobre la superficie del suelo.

Un aspecto que podría tener influencia en esta experiencia es cierta desuniformidad observada en el stand de plantas probablemente causada por la prolongada sequía que caracterizó el período que antecedió al ensayo e incidió en su implantación. El número de plantas promedio en el momento del muestreo fue 116 por m^2 (± 30.5).

En general, la solución se desplazó verticalmente y se extendió poco horizontalmente más allá de la zona aplicada. El desplazamiento se originó predominantemente a través de flujos preferenciales. La configuración de los patrones observados se muestra en las fotos (pág. 77) donde se exhiben los perfiles más representativos de cada tratamiento. Se distinguieron diferentes recorridos de flujos según fueran iniciados por: la fragmentación originada por el escarificado, la complejidad constituida por el eje principal del sistema radical de la alfalfa creciendo dentro del área fragmentada, restos de raíces muertas y raíces vivas de alfalfa localizadas fuera de la fractura y grietas del suelo (tabla 2, pág. 77). Más de un tipo de iniciaciones fueron encontradas en un mismo perfil.

La actividad de la fauna no fue debidamente observada a campo en todos los perfiles, de manera que no se consignan en el presente trabajo. Cabe destacar que en todos los tratamientos, una alta proporción de perfiles presentó signos de una intensa actividad biológica y se encontraron pequeños canales y deposiciones, principalmente en los primeros 20 cm del suelo. El escarificado bien pudo haber creado disrupciones en los canales abiertos por la fauna (5).

Tabla 1. Contenido de humedad anterior a la irrigación con la solución de azul de metileno.

Profundidad (cm)	Humedad edáfica (%)		
	T_0	T_1	T_2
0 a 5	20.78 a	18.57 b	17.85 c
5 a 20	20.82 a	20.06 b	19.97 b
20 a 35	21.5 b	21 a	20.5 b

Los valores son promedio de tres mediciones por nivel de profundidad. Letras distintas en el sentido horizontal indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

Tabla 2. Tipo de iniciación de los flujos preferenciales.

Tratamiento	Número de perfiles Flujos preferenciales				Pmax (cm)	Total
	F	R	FR	G		
T ₀	0 b	10a	0 c	1a	28	11
T ₁	10a	5 b	12a	3a	32	30
T ₂	8a	11a	6 b	2a	35	27

F. Fragmentación causada por el escarificador
 R. Raíces ubicadas fuera del área fragmentada (vivas y muertas)
 FR. Raíces creciendo en el área fragmentada
 G. Grietas en la masa del suelo
 Pmax. Profundidad máxima del flujo

El número indica la cantidad de perfiles en que fueron observados. Las letras distintas en el sentido vertical señalan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos considerando la cantidad total de los flujos observados por tipo de iniciación.



Distribución espacial del área coloreada de un perfil de la siembra directa sin escarificar (T₀)



Distribución espacial del área coloreada de un perfil de la siembra directa escarificada en 2002 (T₁)



Distribución espacial del área coloreada de un perfil de la siembra directa escarificada en 2003 (T₂)

En T₀ se encontró una cantidad menor de perfiles con flujos preferenciales que en los tratamientos escarificados y la mayor proporción de ellos fue iniciada por las raíces creciendo y explorando el horizonte A (tabla 2). En general, en este tratamiento el flujo se comportó más como un frente uniforme, movimiento que puede interpretarse que ocurre en gran proporción a través de los poros de la matriz del suelo. Por otra parte, las profundidades máximas de los flujos preferenciales y del frente uniforme en T₀ fueron 28 y 16 cm, respectivamente, menores a las alcanzadas en T₁ y T₂.

También se observó en T₀ -con mayor nitidez que en T₁ y T₂- una capa superficial de 5 cm de espesor de residuos parcialmente descompuestos y sin descomponer, intensamente coloreada, que pudo haber actuado como material absorbente de la solución aplicada con la consecuente reducción de su ingreso al suelo. Dicha situación fue observada por Hangen et al. (6) para ensayos similares bajo siembra directa.

Conviene aclarar que hubo raíces no asociadas a los flujos preferenciales en todos los tratamientos, pero principalmente en T₀. La mayor cantidad de flujos preferenciales en los perfiles de T₁ y T₂ no sólo se debería a la labor de escarificado, sino que también puede ser atribuida a las variaciones en la infiltra-

ción que estarían relacionadas con el estado de la superficie. El microrrelieve generado por la labor más los pequeños desniveles creados por el tránsito, inducirían a una redistribución superficial de los flujos (10).

Los flujos preferenciales creados por el escarificador destacan el rol de la fisura en el movimiento del agua en el suelo y las diferencias no significativas entre tratamientos escarificados refieren a la persistencia de la labor, poniendo de manifiesto su funcionalidad después de 1½ año de haber sido efectuada.

Las áreas coloreadas aisladas, algunas de ellas más profundas que el nivel medio alcanzado, señalan sectores con condiciones de transporte hidráulico relativamente más rápidas que el resto del horizonte.

Los flujos iniciados por el eje principal del sistema radical de la alfalfa creciendo dentro del área de fragmentación son mayoritarios en T_1 . Esto estaría relacionado con el escarificado previo a la siembra que creó localmente un ambiente favorable para el desarrollo inicial del sistema radical de la alfalfa; en cambio, el área recientemente fisurada de T_2 se encuentra colonizada por nuevas y pequeñas raíces. Pareciera que este tratamiento indujo a ramificaciones recientes como efecto de la remoción de sectores densificados del suelo, lo que se correspondió con un incremento de alrededor del 20 % en la altura en las plantas de estas parcelas. Es bien conocido que las raíces de las plantas prefieren crecer siguiendo caminos abiertos con menor resistencia mecánica, como canales de la fauna u otros, que a través de suelos compactados (15).

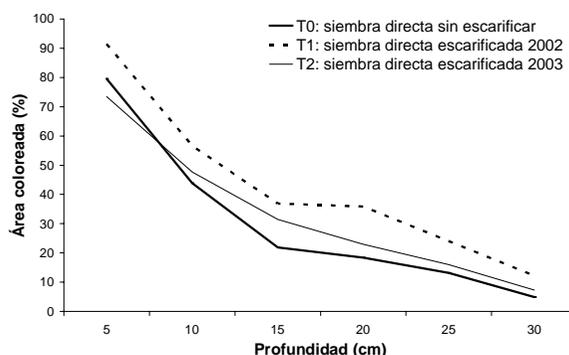
Se observaron grietas en un solo perfil bajo siembra directa, probablemente relacionado con el porcentaje más alto de humedad edáfica que presentó este sistema de labranza respecto de los tratamientos con escarificado. T_1 con 1½ año de labor profunda, perdió más humedad que T_0 durante el período de sequía previo al momento de las observaciones, por la fragmentación oportunamente realizada. El tratamiento T_2 presentó una cantidad menor de perfiles con grietas que T_1 (tabla 2, pág. 77), y si bien esto puede ser adjudicado a un efecto de heterogeneidad espacial de las parcelas, es también probable que este tratamiento haya profundizado la pérdida de humedad en el lapso desde que se realizó la labor a la fecha de observación favoreciendo la formación de las grietas, si bien no hubo diferencias significativas entre tratamientos (tabla 2).

En todos los tratamientos los flujos atravesaron el límite A / B1, pero en ningún caso alcanzaron el B2 bajo las condiciones de estudio.

En la siguiente figura puede observarse el área coloreada promedio fraccionada por niveles de profundidad para cada tratamiento, la cual puede interpretarse como una medida de la capacidad hidráulica de la macroporosidad (1).

En las profundidades 5, 20 y 25 cm el área coloreada en T_1 fue significativamente mayor ($p < 0.05$) que T_0 y T_2 . A los 30 cm, horizonte B1, T_1 y T_2 fueron superiores a T_0 .

Distribución del área coloreada promedio en función de la profundidad en los tratamientos considerados.



Quizás T_1 haya resultado más efectiva por aspectos vinculados con la humedad del suelo en el momento del laboreo lo que pudo haber generado una fragmentación más consolidada y por lo tanto, con mayor capacidad de conducción, pero fundamentalmente por su funcionalidad a través del tiempo, estaría vinculada al desarrollo vigoroso de las raíces de alfalfa en el sector removido. Las raíces labran canales y son capaces de conservarlos resultando iniciadores de recorridos de flujos preferenciales por varios años (8).

Es altamente probable que los aspectos morfológicos que no fueron descriptos hayan incidido en la distribución de la solución trazadora en el suelo.

Es importante plantearse si las condiciones físicas y biológicas generadas durante 11 años de siembra directa continua pudieron haber contribuido a la persistencia del escarificado.

CONCLUSIONES

- ❖ El movimiento descendente tuvo lugar mayoritariamente como flujos preferenciales.
- ❖ La configuración de los patrones de distribución permitió comprobar la mayor capacidad de conducción hidráulica y persistencia de la labor de escarificado sobre siembra directa.

BIBLIOGRAFÍA

1. Beven, K. and P. Germann. 1982. Macropores and water flow in soils. *Water Resour. Res.* 18, 1311-1325.
2. Clark, R. L.; D. E. Radcliffe; G. W. Langdale and R. R. Bruce. 1993. Soil strength and water infiltration as affected by paratillage frequency. *Trans. ASAE* 36: 1301-1305.
3. Droogers, P.; A. Stein; J. Bouma and G. Boer. 1998. Parameters for describing soil macroporosity derived from staining patterns. *Geoderma* 83 (293-308).
4. Edwards, W. M. 1982. Predicting tillage effects on infiltration. In: Unger, P.; D. Van Doren; F. Whisler; F. Skidmore. (Eds.) *Predicting tillage effects on soil physical properties*. ASA Special Publication 44, ASA, SSSA, Madison. 105-115.

5. Gjettermann, B.; K. Nielsen; C. Petersen; H. Jensen and S. Hansen. 1997. Preferential flow in sandy loam soils as affected by irrigation intensity. *Soil Technology* 11: 139-152.
6. Hangen, E.; U. Buczko; O. Bens; J. Brunotte and R. Huttl. 2002. Infiltration pattern into two soils under conventional and conservation tillage: influence of the spatial distribution of plant root structures and soil animal activity. *Soil and Tillage Research*. Vol 63, 3-4: 181-186.
7. Marelli, H.; E. Weir; A. Lattanzi y R. Díaz. 1983. Técnicas de conservación de suelos. Prácticas conservacionistas para el sector este de la cuenca del Río Carcarañá. INTA EEA M. Juárez. 32 pp.
8. Perillo, C. A.; S. C. Gupta; E. A. Nater and J. F. Moncrief. 1999. Prevalence and initiation of preferential flow paths in a sandy loam with argillic horizon. *Geoderma*. 89: 307-331.
9. Research Systems, 1999. Boulder, USA. 129 pp.
10. Ritsema, C. J. and L. W. Dekker. 1995. Distribution flow: a general process in the top layer of water repellent soils. *Water Resour. Res.* 31: 1187-1200. In: Hangen, E; U. Buczko; O. Bens; J. Brunotte and R. Huttl. 2002. Infiltration pattern into two soils under conventional and conservation tillage: influence of the spatial distribution of plant root structures and soil animal activity. *Soil and Tillage Research*. Vol 63, 3-4: 181-186.
11. Sacchi, O.; N. Dalla Marta; M. Costanzo y A. Coronel. 2002. Caracterización de las precipitaciones en la localidad de Zavalla. *Rev. Investigaciones de la FCA-UNR*. 2: 91-103.
12. SAS Institute, Inc. 1985. SAS User's guide. Statistics Version. 5th ed. SAS Institute, Inc., Cary, NC. 1028 pp.
13. Secco, D. y D. J. Reinert. 1997. Eficiência operacional de escarificadores em latossolo vermelho-escuro sob plantio direto. *Eng. Agric. Jaboticabal*, 16:34:42.
14. Taboada, M. A. 1998. Compactación superficial causada por la siembra directa y regeneración estructural en suelos franco limosos pampeanos. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Carlos Paz, Argentina. p.3-18.
15. Tardieu, F. 1994. Growth and functioning of root systems subjected to soil compaction. Towards a system with multiple signalling. *Soil and Tillage Research* 30:217-243.
16. Vogeler, I.; D. R. Scotter; S. Green and B. E. Clothier. 1997. Solute movement through undisturbed soil columns under pasture during unsaturated flow. *Aust. J. Soil Res.* 35: 1153-63.
17. Wesenbeeck, I. J. and R. Kachanoski. 1994. Effect of variable horizon thickness on solute transport. *Soil Sci. Soc. Am.J.* 58,1307-1316.