

LA INCIDENCIA DE LA LABOR DE ESCARIFICADO EN EL AMBIENTE EDÁFICO: CULTIVO DE MAÍZ (*ZEAMAYS L.*)

VILCHE, M. S.¹; ALZUGARAY, C.¹; MONTICO, S.¹; DI LEO, N.¹ & FALCONE, R.¹

RESUMEN

Se evaluó, en una rotación maíz-soja bajo siembra directa, la condición físico -mecánica, la ocurrencia y distribución de flujos preferenciales, el sistema de raíces y materia seca a la cosecha del cultivo de maíz, en un Argiudol vértico (Zavalla, S. Fe). Se escarificó un lote con 14 años de siembra directa en agosto de 2005 y a los 45 días se sembró maíz. Los tratamientos: siembra directa sin escarificar (SD) y siembra directa escarificada (SDE). El aflojamiento provocado por el paratill favoreció el movimiento del agua como flujos preferenciales (FP), indujo una exploración radical más temprana de los horizontes subsuperficiales y una mayor producción de materia seca. Esto destaca el rol de la fractura en el movimiento del agua, aun después de 10 meses de haber sido efectuada la labor. El patrón de humedecimiento en SD reveló una circulación relacionada con la red de macroporos vinculada a la actividad biológica.

Palabras clave: labor profunda, siembra directa, flujos preferenciales, maíz.

SUMMARY

The impact of the scarifier in the soil environment: Maize (*Zea mays L.*)

In a corn-soybean rotation under no tillage, the physical and mechanical condition, the occurrence and distribution of preferential flow, the root system and dry matter at harvest of maize crop were evaluated in a vertic Argiudol (Zavalla, S. Fe). Tillage with paratill took place in a plot with 14 years with no tillage in 2005 and after 45 days the maize was seeded. The treatments were no tillage without scarified (NT) and no tillage scarified (SNT). The loosening caused by paratill favored the movement of water as preferential flow (PF), induced an early radical exploration of subsurface horizons and greater dry matter production. PF emphasize the roll of the fracture in the movement of the water, even after ten months of having been made the work. The pattern of wetting in NT revealed a network-related movement of macropores linked to biological activity

Key words: deep tillage, no tillage, preferential flow, maize.

1.- Facultad de Ciencias Agrarias (UNR). Campo Experimental Villarino. C.C. 14. (S2125ZAA) Zavalla, provincia de Santa Fe. Tel. (0341) 970080. Email: marizovilche@yahoo.com.ar
Manuscrito recibido el 25 de agosto de 2010 y aceptado para su publicación el 10 de noviembre de 2010.

INTRODUCCIÓN

El sistema de siembra directa afianzó el proceso de agriculturización que se inició décadas atrás en la región pampeana, contribuyendo en parte a solucionar los problemas de productividad ligados al modelo anterior, basado en el uso agrícola generalizado bajo labranza convencional. Sin embargo, diversos autores (Marelli y Arce, 1989; Nardone, 1994; Domínguez *et al.*, 2000) señalan que el sistema de siembra directa tiende a generar compactación superficial del suelo por consolidación natural de las partículas, por el tráfico de la maquinaria o el pisoteo de los animales, principalmente cuando el suelo se encuentra con un alto contenido hídrico (Gregorich *et al.*, 1993). La restricción mecánica producida por la compactación tiene un efecto directo sobre el crecimiento de las raíces (Montico y Bonel, 2005) y puede llegar a generar una disminución en el rendimiento de los cultivos. Una de las técnicas para eliminar las zonas compactadas es realizar una labranza profunda, que genera disrupciones en la orientación de los bloques del suelo e incrementa la infiltración (Al Adawi & Reeder, 1991; Abadi Ghadim *et al.*, 1991, Taboada, 1998).

La labranza profunda con escarificadores genera una perturbación en el suelo sin realizar una importante modificación de la cobertura, optimizando el desarrollo de las raíces e incidiendo en la dinámica del aire y del agua (Clark *et al.*, 1993; Secco y Reinert, 1997). El aflojamiento mecánico del suelo previo a la siembra promueve una penetración radical más profunda, un mejor uso del agua del perfil y un incremento de la producción de materia seca en diferentes cultivos (Chaudhary *et al.*, 1985; Erbach *et al.*, 1992; Martino, 1998; Vilche *et al.*, 2004).

Un Argiudol vértico bajo siembra directa que fue escarificado presentó una mayor

capacidad de conducción hidráulica que el suelo sin escarificar y la circulación se realizó predominantemente como flujos preferenciales (Vilche *et al.*, 2004). Esto hace suponer que el disturbio provocado por la labranza profunda en siembra directa puede generar cambios en el sistema de galerías y en la exploración radical, condicionando los recorridos del flujo de agua en el suelo y originando cambios en sus patrones de distribución. Además, esas fragmentaciones en la matriz edáfica contribuyen a modificar el ambiente del suelo y en consecuencia la respuesta de los cultivos.

Con el objeto de obtener mayor conocimiento respecto del impacto de la labor profunda sobre un conjunto de propiedades del suelo y su persistencia en el tiempo se plantea evaluar, en una rotación maíz-soja bajo siembra directa sobre un Argiudol vértico, la condición físico-mecánica, la ocurrencia y distribución de los flujos preferenciales y la producción de materia seca aérea y sistema de raíces en el cultivo de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se llevó a cabo en el Campo Experimental de la Universidad Nacional de Rosario, Zavalla, Sta. Fe (60° 53' L O y 33° 01' L 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. El ensayo se realizó en un lote donde el sistema de siembra directa fue implementado durante 14 años. Los cultivos utilizados fueron maíz, soja y trigo en la fase agrícola y alfalfa pura en la ganadera. Se

efectuó una labor de escarificado en agosto de 2005 con paratill, con un distanciamiento entre púas de 35 cm y cuya profundidad efectiva de trabajo varió entre 27 y 30 cm. A los 45 días de realizada la labor profunda se sembró maíz NK 940, utilizando una densidad de 4,2 semillas por metro lineal y 0,52 m entre líneas, que se fertilizó con 60 kg.ha-1 de fosfato diamónico más 80 kg.ha-1 de urea (25/09/05). Se realizó el control de malezas con herbicidas preemergentes. El experimento consistió en dos tratamientos - siembra directa sin escarificar (SD) y siembra directa escarificada (SDE) - con dos repeticiones cada uno, para lo cual se establecieron 4 parcelas de 20 x 10 m.

A la cosecha del cultivo de maíz se evaluó:

1- Condición físico mecánica

Dentro de cada parcela se ubicaron al azar dos subparcelas de 7 x 2 m determinándose:

a) la tasa de infiltración, utilizando anillos de 15,24 cm de diámetro insertos en el suelo y registrando el tiempo de ingreso al suelo de una lámina de 25 mm (USDA, 1998) (N= 8 por tratamiento); b) la resistencia a la penetración (RP) cada 5 cm hasta los 0,35 cm de profundidad en la pared expuesta del perfil (n= 8), sobre una grilla de 0,70 m de lado por 0,35 m con celdas de 5 cm de lado, mediante un penetrómetro de cono con ángulo de 30°. Se midió la humedad gravimétrica en cada espesor de 5 cm. Los datos de RP fueron corregidos a un contenido de humedad de 18% mediante la recta de ajuste $y = -0,1212x + 3,7141$ ($R^2 = 0,58$), donde y es la RP corregida y x es el contenido de humedad al momento de extracción de la muestra (Vilche, 2005). Con los valores obtenidos para cada espesor de 5 cm, se calculó el índice de cono (IC) promediando las RP corregidas dentro de cada rango de profundidad.

Además, se midió la cobertura superficial por el método de la línea transecta (Molloy y Moran, 1991) (n= 20 por tratamiento).

2- Flujos preferenciales

Dentro de cada parcela se ubicaron al azar otras 2 subparcelas de 0,70 m de lado con bordes de 7 cm de altura. Los residuos de las plantas de maíz fueron cortados a una altura de 7 a 10 cm sobre el nivel del suelo y luego se irrigó con una solución acuosa de 1 g.l-1 de azul de metileno (C16 H18 CIN3S. 2H2O). Esta solución ha sido utilizada en numerosos experimentos realizados para visualizar los recorridos de los flujos, proveyendo un buen contraste con el color del suelo (Droogers *et al.*, 1998; Hangen *et al.*, 2002; Vilche *et al.*, 2004). En el área de estudio la máxima intensidad de las precipitaciones con recurrencia de 10 años es de 132,2 mm en 24 horas (Estación Agrometeorológica Zavalla, UNR- SMN). Por esta razón, se aplicaron con un pulverizador 130 mm de la solución mencionada manteniéndose una carga hidráulica de 5 cm hasta que se infiltró toda la solución, generándose un flujo saturado. El tiempo insumido fue aproximadamente entre 5 a 6 horas.

Transcurridas 24 horas de la aplicación se realizaron las excavaciones en las subparcelas irrigadas, obteniéndose por tratamiento alrededor de 20 secciones verticales sucesivas y separadas entre sí por una distancia aproximada de 15 cm. En cada sección se colocó un marco de 0,70 de lado por 0,40 m de profundidad sobre la pared del perfil y se fotografió con una cámara digital Nikon 3.2, ubicada a una distancia fija de 50 cm.

Las fotografías digitales se registraron usando las coordenadas locales en un sistema común (0,70 x 0,40 m) y se procesaron utilizando el soft ENVI 4.0. Se calculó en cada una de ellas el área correspondiente a los perfiles de humedecimiento.

3- Sistema de raíces y producción de materia seca

En el mismo número de parcelas y en sitios adyacentes a las subparcelas antes mencionadas y, en un área de 1,3 m de lado, se determinó: a) la materia seca: peso de tallos y hojas y peso del grano, en cinco plantas por subparcela (n=24 por tratamiento); b) la longitud del sistema de raíces (Tenant, 1975) en las mismas plantas extraídas.

Las variables, salvo el área coloreada por la solución de azul de metileno, no tuvieron una distribución normal y fueron analizadas estadísticamente como una distribución de Poisson (Shapiro- Wilk, 1965). El diseño estadístico fue anidado, las mediciones efectuadas están dentro de las pequeñas parcelas que a su vez lo están en las parcelas de mayor tamaño (SAS Institute, 1987).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de la condición físico-mecánica

La tasa de infiltración fue significativamente superior en SDE, coincidiendo con otros autores (Montico *et al.*, 2004; Bonel *et al.*, 2005; Introcaso *et al.*, 2008) que

implementaron labores similares a las aquí utilizadas y, si bien la humedad edáfica en SD fue mayor ($p < 0,05$), el corte vertical generado por el paratill condicionó el ingreso y la transmisión del agua en el suelo (Cuadro 1). Clark *et al.* (1993) atribuye el menor contenido de humedad utilizando paratill, al mayor consumo de agua realizado por las plantas en esas condiciones. Pero además, el aflojamiento mecánico del suelo puede contribuir a un mayor desecamiento edáfico en la profundidad de labor como encontraron Vilche y Alzugaray (2008), más aun teniendo en cuenta las pérdidas extras de humedad que pueden ocasionarse por una alteración en la cobertura superficial (SD: 97 % y SDE: 90 %).

El área fragmentada por la labor profunda muestra valores de IC menores ($p < 0,05$) que en SD coincidiendo con lo que se señala en experiencias del mismo tipo (Clark *et al.*, 1993; Montico *et al.*, 2004; Bonel *et al.*, 2005; Dragui *et al.*, 2007; Vilche *et al.*, 2008), aún después de 10 meses de haber efectuado la labor de escarificado, excepto para las profundidades 25, 35 y 40 cm (Fig. 1).

Análisis de los patrones del área teñida

La solución no se extendió más allá de la zona de aplicación y mostró un movimien-

Cuadro 1: Contenido de humedad y tasa de infiltración al momento de la irrigación con azul de metileno.

Tratamiento	I	H		
	(mm/h)	0-5 cm	5-15 cm	15-30 cm
SD	91,4 b	29,58 a	26,62 a	27,22 a
SDE	159,5 a	27,68 b	25,34 b	25,31 b

Las letras distintas en las columnas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).

SD: siembra directa sin escarificar; SDE: siembra directa escarificada; I: tasa de infiltración (mm/hora); H: humedad gravimétrica.

to vertical descendente mayoritariamente como flujos preferenciales (FP) en ambos tratamientos. Si bien un mayor contenido de humedad en el suelo induce a una mayor profundidad de penetración, tanto bajo condiciones de campo como de laboratorio (Perillo *et al.*, 1999), este aspecto probablemente quedó enmascarado por el tipo de disturbio que genera la labranza profunda, coincidiendo con lo comunicado anteriormente en un ensayo de características similares realizado en alfalfa (Vilche *et al.*, 2004). Algunas fotografías revelaron patro-

nes intrincados de suelo teñido y no teñido, sobre todo en SD; esto se debió posiblemente a aspectos no fácilmente observables como la distribución de la humedad antecedente, el probable efecto del agua repelida y la estabilidad de los agregados.

Las configuraciones de los patrones pueden observarse en la Fig. 2, donde se muestran las imágenes clasificadas de los perfiles más representativos de cada tratamiento. Estos patrones de humedecimiento no presentaron diferencias significativas respecto del área coloreada ni en la profun-

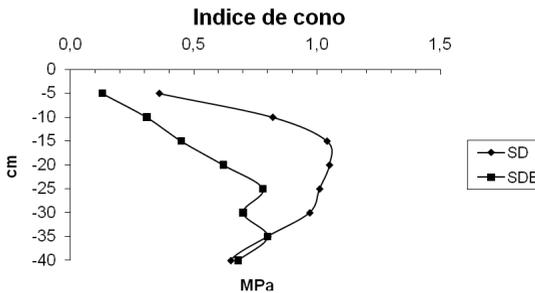
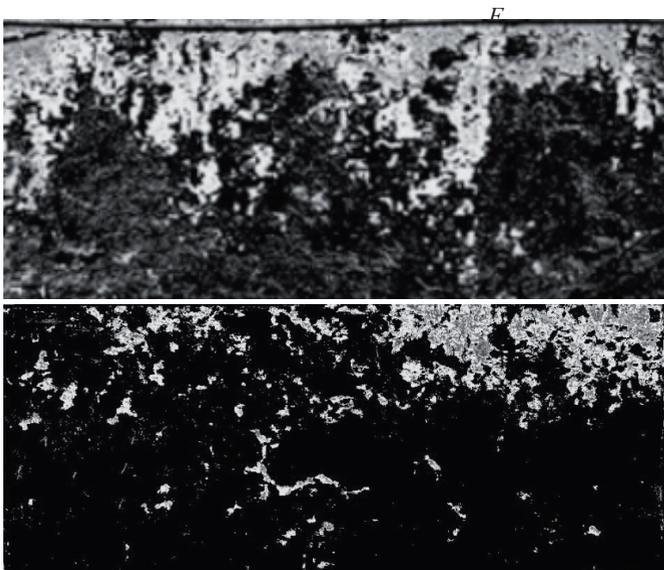


Fig. 1: Índice de cono en siembra directa (SD) y siembra directa escarificada (SDE). Hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) en todos los espesores considerados a excepción de 25 cm, 35 cm y 40 cm.



a)

b)

Fig. 2: Distribución espacial del área coloreada por el azul de metileno (en blanco y gris claro) en perfiles representativos de siembra directa escarificada (a) y siembra directa sin escarificar (b). (Imágenes clasificadas)

didad máxima alcanzada por los FP, pero sí entre los tipos de iniciaciones de los mismos (Cuadro 2). En los perfiles se observaron más de un tipo de iniciación de FP; hay que destacar que hubo una alta variabilidad entre los perfiles sucesivos de cada subparcela.

La impronta biológica se manifestó como una característica del sistema bajo SD estabilizada que el escarificador alteró, generando disrupciones en los canales creados por las raíces, la fauna del suelo y las grietas. Las iniciaciones de los FP, originadas por las galerías de las raíces antecesoras y la fauna del suelo, así como por las raíces vivas del cultivo de maíz y de las malezas del año, junto con las grietas fueron significativamente mayores en SD que en SDE. Las fisuras o grietas fueron las principales iniciaciones de los flujos preferenciales en los dos tratamientos.

En SD gran parte del área teñida se debió a la circulación vertical del azul de metileno por los planos de clivaje del perfil. En SDE, si bien el flujo se concentró en el área fragmentada por el paratill, las grietas funcionaron como efectivas conductoras de la solución aplicada. Blackwell *et al.*

(1990) informan que si bien grietas y bioporos favorecen el movimiento del agua, lo hacen por un tiempo más breve debido a la reducción que sufren cuando se incrementa el contenido hídrico del suelo. El 30% de la imágenes analizadas en SDE mostró que los FP generados por la labor pasaron por alto gran parte de la matriz del suelo dejando amplios sectores sin humedecer.

Las denominadas galerías de raíces (GR) son los espacios abiertos por las raíces de los cultivos antecesores, que en este caso fueron sucesivamente alfalfa - soja y que son mantenidos por el tejido vascular descompuesto. Estas leguminosas, como menciona Blackwell *et al.* (1990), tienden a generar tubos estables donde pueden encontrarse, como ocurrió en algunos sitios analizados en este trabajo, restos tisulares, deposiciones de la fauna y colonización por parte de las raíces del año. Estas últimas, provenientes del maíz y de las malezas, jugaron un rol importante en la direccionalidad y conducción del agua en el suelo, principalmente bajo SD. En este último sistema de labranza se localizaron raíces de maíz recorriendo bioporos, aspecto que está relacionado con la facilidad de pene-

Cuadro 2: Características de los flujos preferenciales observados en siembra directa (SD) y siembra directa escarificada (SDE).

Tratamiento	Tipos de iniciaciones de los flujos preferenciales							
	A (cm ²)	Pmax (cm)	R	G	GR	GF	C	Kro
SD	530,59 a	37 a	67 a	138 a	53 a	24 a	49 a	6 b
SDE	561,06 a	37,3 a	25 b	70 b	9 b	6 b	35 b	1 b

Los números indican la cantidad de veces en que ese tipo de iniciación del flujo fue observada en el total de los perfiles. Las letras distintas en sentido vertical señalan diferencias significativas ($p < 0,05$).

A: área coloreada; GR: galerías formadas por las raíces; Pmax: profundidad máxima del flujo; GF: galerías generadas por la fauna; R: raíces (cultivo y malezas); C: cuevas creadas por la fauna; G: grietas en la matriz del suelo; Kro: krotovinas

tración que ofrecen esos sectores respecto de la matriz circundante. Según Perillo (1999) esa combinación podría continuar por varios años iniciando los FP, de no intervenir algún agente que la perturbe. Conviene mencionar que también se encontraron raíces no asociadas a los flujos preferenciales en ambos tratamientos.

Las galerías de la fauna (GF) se mostraron como eficaces conductoras del agua, contribuyendo en SD a alcanzar la máxima profundidad de los FP, coincidiendo con lo informado por Shuster *et al.* (2002) para una situación bajo labranza vertical. Las cuevas (C), poco comunes, fueron intensamente coloreadas. Estas se encontraron dentro del B1, generalmente curvas y de un diámetro igual o superior a 2 cm. Su presencia puede restringir más que favorecer el desplazamiento hídrico en el perfil si los sectores cercanos se presentan con potenciales demasiado bajos como para transferirles agua. Al realizar la experiencia, el contenido de humedad (Cuadro 1) fue lo suficientemente alto como para alcanzar prontamente la saturación y en consecuencia permitir el flujo a través de las mismas, a pesar de la manifiesta compactación de sus paredes. Se observó una escasa presencia de krotovinas, todas ellas asociadas a los FP pero sin presentar diferencias significativas entre tratamientos.

El patrón de humedecimiento en siembra directa reveló una circulación más vinculada con la red de macroporos, cuya continuidad y conectividad podría ser atribuida a la actividad de la fauna.

Cabe acotar que la entrada de la solución al suelo en general puede estar condicionada con el estado de la superficie. Así, las características propias del cultivo de maíz, anual y en líneas a 52 cm, pudieron haber incidido en general en el patrón de humedecimiento, ya que el microrrelieve generado por el cultivo originaría variabilidad en la distribu-

ción espacial del agua aplicada. Otro factor importante a considerar en la penetración del agua en el suelo es la altura de corte del rastrojo de maíz porque los tallos en general concentran el flujo de agua y favorecen el escurrimiento a través de los mismos creando variaciones en el flujo sobre la superficie del suelo. El efecto de embudo de los tallos y de los canales de las raíces también tendría un rol importante en la penetración inicial del agua en el suelo, según Mitchell *et al.* (1991).

El patrón de humedecimiento obtenido resultó menos intrincado que el de un cultivo continuo y perenne como es el de alfalfa (Vilche *et al.*, 2004) que tiene pulsos de crecimiento radical relacionados con el sistema de pastoreo y la estacionalidad.

Respuesta de las plantas de maíz

En el estadio V5 las raíces del maíz en SDE alcanzaron una profundidad de alrededor de 32 cm, mientras que bajo SD llegaron aproximadamente a los 26 cm. A la cosecha, hasta la profundidad de escarificado la longitud total del sistema fue de 577,5 cm y 590,3 cm en SDE y SD, respectivamente y sin presentar diferencias significativas. La condición físico-mecánica parece haber inducido a una diferente configuración radical, así, en el espesor 0-7 cm en el caso de SD se observaron abundantes raíces en el diámetro de rango 1-3 mm, mientras que en SDE predominaron las raíces iguales o mayores a 3 mm. Veen (1982) informa que las raíces laterales del maíz fueron más largas y ramificadas que los ejes principales del sistema cuando los suelos se presentaron con una relativamente alta compactación.

Aproximadamente en el límite entre los horizontes A y B1 (25 cm), el cultivo bajo SD mantuvo un sistema radical profuso en raíces finas, reduciendo escasamente su extensión lateral. En la situación bajo escarificado las raíces atravesaron el lí-

mite con mayor facilidad mostrando una configuración predominantemente vertical. Esto indicaría una provisión de humedad y nutrientes de un volumen más profundo de suelo; es conocido que las raíces de las plantas prefieren crecer por los sectores abiertos con menor resistencia mecánica que a través de los suelos compactados (Tardieu, 1994). En realidad, el desarrollo radical obedeció al patrón de resistencia mecánica propio de los tratamientos analizados, esta respuesta coincidió con lo reportado por Vilche *et al.* (2000), Tubeileh *et al.* (2003) y Osuna-Cejas *et al.* (2005) sobre el comportamiento de las raíces del maíz respecto de la heterogeneidad mecánica espacial que es particular de los sistemas de labranzas implementados.

La producción de materia seca aérea de rastrojo y la altura de las plantas de maíz fueron significativamente superiores ($p < 0,05$) en SDE respecto de SD (153 g.pl⁻¹ y 130 g.pl⁻¹; 1,95 m y 1,7 m, respectivamente), sin embargo el peso de los granos por planta fue similar para ambos sistemas (140 y 150 g.pl⁻¹). El rendimiento general del lote fue de 7800 kg.ha⁻¹.

Algunos autores reportan que la labor profunda incide favorablemente en la producción de grano en distintos cultivos de la región pampeana (Mon e Irurtia, 2001; Bonel *et al.*, 2005; Colareda *et al.*, 2006), sin embargo Vilche y Alzugaray (2008) encontraron que la SD almacenó más agua edáfica que la situación con labor profunda, en un año de escasas precipitaciones, lo que se tradujo en un aumento significativo del rendimiento en grano del maíz. En este caso, las lluvias ocurridas durante el ciclo del maíz fueron inferiores en un 40% a la media histórica (serie 1973-2001, Estación Meteorológica de Zava-Illa, SMN), lo que podría explicar la dificultad en la expresión máxima de los rendimientos y sus diferencias entre tratamientos.

CONCLUSIONES

La labor profunda impactó sobre un conjunto de propiedades edáficas estudiadas y su efecto sobre la condición físico mecánica persistió pasada la finalización del ciclo del maíz.

El aflojamiento provocado por el escarificador favoreció el movimiento descendente del agua como flujos preferenciales, disminuyendo la circulación a través de la matriz del suelo y facilitó el desarrollo del sistema radical, induciendo una exploración más temprana de los horizontes subsuperficiales. Las fracturas cumplieron el rol más importante en el movimiento del agua, aun después de 10 meses de haber sido efectuada la labor. Las fisuras o grietas fueron las principales conductoras de los flujos preferenciales en ambos tratamientos.

La labor profunda no tuvo efecto significativo sobre el rendimiento en grano, relacionado posiblemente con las escasas precipitaciones producidas durante el ciclo del cultivo.

BIBLIOGRAFÍA

- ABADI GHADIM, A.; R. KINGWELL & D. PANNELL.** 1991. An economic evaluation of deep tillage to reduce soil compaction on livestock farms in Western Australia. *Agr. Syst.* 37: 291-307.
- AL ADAWI, A. & R.C. REEDER.** 1991. Compaction subsoiling effects on corn and soybean yields physical properties. *T. Am. Soc. Eng.* 39:1641-1649.
- BLACKWELL, P.S.; T.W. GREEN & W.K. MASON.** 1990. Responses of biopore Channels from roots to compression by vertical stresses. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1088- 1091.

- BONEL, B.A.; S. MONTICO; G. SPONDA & N. SPURIO.** 2005. Descompactación del suelo mediante el uso de escarificadores en Argiudoles típicos del sur de Santa Fe. En: Reología del suelo agrícola bajo tráfico. Ed EDULP. 1 - 12.
- CHAUDHARY, M.P.; G.P.R. AJRI; S.S. PRIHAR & R. KHERA.** 1985. Effect of deep tillage on soil physical properties and maize yield on coarse texture soils. *Soil and Tillage Research* 6: 31-44.
- CLARK, R.L.; D.E RADCLIFFE; G.W LANGDALE & R.R. BRUCEL.** 1993. Soil strength and water infiltration as affected by paratillage frequency. *Trans. ASAE* 36: 1301-1305.
- COLAREDA, G.O.; R.H BALBUENA; A.M. TERMINIELLO & J.A. HILBERT.** 2006. Descompactación de suelos bajo sistema de siembra directa de cultivos. Persistencia de la labor. Resúmenes de la XIV Jornadas de Jóvenes Investigadores. "Emprendedorismo, Inovaxo Tecnológica e Desenvolvimento Regional. Universidad Estatal de Campinas, Brasil, 155. Trabajo en CD-Rom.
- DOMÍNGUEZ, J.; J. RESSIA; D. JORAJURIA; R. BALBUENA & G. MENDIVIL.** 2000. Reología del suelo bajo tres diferentes tratamientos mecánicos. Avances en Ingeniería Agrícola. II Congreso Americano de Ingeniería Agrícola. 110-115.
- DRAGHI, L.; TERMINIELLO, A.; CLAVERIE, J.; PALANCAR, T.; BOTTA, G.; BALBUE-NA, R.; JORAJURIA, D.** 2007. Tráfico y descompactación en siembra directa. www.inta.gov.ar/iir/info.
- DROOGERS, P.; A. STEIN; J. BOUMA & G. BOER.** 1998. Parameters for describing soil macroporosity derived from staining patterns. *Geoderma* 83: 293-308.
- ENVI 4.0.** Research Systems, Inc. 2003. User's guide. Boulder, USA
- ERBACH, D.C.; R.M. CRUSE; M.A. ELAMIN; S. MUKHTAR & C.H. CHOI.** 1992. Soil and crop response to tillage with paraplow. *Trans. ASAE* 35: 1347-1354.
- GREGORICH, E.G.; W.D. REYNOLDS; J.L. CULLEY; M.A. M.C GOVERN & W.E. CURNOE.** 1993. Changes in soil physical properties with depth in a conventionally tilled after no-tillage. *Soil Till. Res.* 26: 289-299.
- HANGEN, E; B.U. UCZKO; O. BENS; J. BRUNOTTE & 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 Till. Res.* Vol 63, 3-4: 181-186.
- INTROCASO, R; J. GUECAMBURU; E. WASINGER; C. IRURTIA.** 2008. Acción de la descompactación en siembra directa. CD. XXI Congreso. Arg. C. del Suelo.
- MARELLI, H & J. ARCE.** 1989. Siembra directa de soja sobre trigo. Actas IV Conferencia Mundial de Investigación en Soja. Tomo II. 604-614.
- MARTINO, D.L.** 1998. Alleviation of soil physical constraint in direct -seeding in Uruguay. Tesis PhD University pf Manitoba, Canadá. En: Manejo de restricciones físicas del suelo en sistemas de siembra directa. INIA La Estanzuela, Colonia 70000, Uruguay. Martino Daniel www.fagro.edu.uy/~eemac/siembra_directa.
- MITCHELL, A.; T.R. ELLSWORTH & D.B. MEEK.** 1991. Plant Root systems' effects on preferential flow in swelling soil. In: Gish, T.J., A. Shirmohammadi. Eds. Preferential flow 2. Proceedings of national Symposium, Dec. 16- 17 1991, Chicago, IL. American Society of Agricultural Engineering, ST. Joseph, MI, pp 376- 382.
- MOLLOY J & C. MORAN.** 1991 Compiling a field manual for estimating crop residue cover. *Soil Use Manage.* 7 (4). 177-183.
- MON, R. & C. IRURTIA.** 2001. Recuperación de la productividad en suelos degradados.

- Informe del Instituto de Suelos. INTA Castellar. En: URL. www.insuelos.org.ar/informes
- MONTICO, S.; N. DILEO & G. ZERPA.** 2004. Evaluación de la compactación en un suelo escarificado, a través de lógica difusa. En: Metodologías físicas para la investigación del suelo: Penetrometría e infiltrometría. Filgueira R.R y Micucci F.G. (editores). Ed. EDULP, La Plata, Buenos Aires. pp.: 83-96.
- MONTICO, S. & B.A. BONEL.** 2005. Influencia de la descompactación por tránsito sobre la arquitectura de las raíces. En: Reología del suelo agrícola bajo tráfico. Ed EDULP. 13 - 20.
- NARDONE, M.** 1994. La siembra directa en la agricultura sostenible. Encuentro hacia una agricultura sostenible. INTA-PAC. pp 29-33.
- OSUNA CEJAS, E.S.; B. FIGUEROA SANDOVAL; K. OLESCHKO; M. FLORES DELGADILLO; M. MARTINEZ MENES & F. GONZALEZ COSSIO.** 2005. Efecto de la estructura del suelo sobre el desarrollo radical del maíz con dos sistemas de labranzas. *Agrociencia* 40:27-38.
- PERILLO, C.A.; S.C. GUPTA; E.A. NATER & J.F. MONCRIEF.** 1999. Prevalence and initiation of preferential flow paths in a sandy loam with argilic horizon. *Geoderma*. 89: 307-331.
- STATISTICAL ANALYSIS INSTITUTE. Inc. SAS/STATIM.** Guide for Personal Computers, Version 6 Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc. 1987. pp. 1028
- SECCO, D. & D. J. REINERT.** 1997. Eficiencia operacional de escarificadores em latossolo vermelho-escuro sob plantio direto. *Eng. Agric. Jaboticabal* 16:34:42.
- SHAPIRO, S. & M.B. WILK.** 1965. An analysis of variance test for normality. *Biometrika* 52: 591-611.
- SHUSTER, W.D; S. SUBLER & E.L. MCCOY.** 2002. The influence of earthworm community structure on the distribution and movement of solutes in a chisel-tilled soil. *Appl. Soil Ecol.* 21,2: 159-167.
- 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.
- 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.
- TENANT, D.** 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *J. Ecol.* 63: 995-1001.
- TUBEILEH, A.; V. GROLEAU-RENAUD & S. PLANTUREUX.** 2003. Effect of soil compaction on photosynthesis and carbon partitioning within a maize-soil system. *Soil Till. Res.* 71:151-161.
- USDA.** 1998. Soil Quality Test Kit Guide. ARS and NRCS.
- VEEN, B.W.** 1982. The influence of mechanical impedance on the growth of maize roots. *Plant Soil* 66: 101-109.
- VILCHE, M.S.; C. ALZUGARAY & S. MONTICO.** 2000. Relación entre la heterogeneidad de un suelo y la distribución de las raíces. *Rev. Fac. Agron.* 20 (1): 75-81.
- VILCHE, M.S.** 2005. Tesis de Maestría. Diagnóstico de las propiedades edáficas y las prácticas de manejo que condicionan la respuesta de la soja a ala fertilización azufrada. FC Agrarias-UNR. pp 112.
- VILCHE, M.S.; S. MONTICO & N. DILEO.** 2004. Escarificado en siembra directa. Distribución espacial de los flujos preferenciales. *Rev. FCA UNCuyo.* 35(2):73-80.
- VILCHE, M.S. & C. ALZUGARAY.** 2008. Efecto de la labranza profunda sobre el rendimiento y uso del agua del cultivo de maíz. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias -UNR.* 14:11-16.