



RIA.Revista de Investigaciones Agropecuarias
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
revista_ria@correo.inta.gov.ar
ISSN (Versión impresa): 0325-8718
ISSN (Versión en línea): 1669-2314
ARGENTINA

2005
M. C. Sasal / A. Andriulo
CAMBIOS EN LA POROSIDAD EDÁFICA BAJO SIEMBRA DIRECTA POR LA
INTRODUCCIÓN DE RAPHANUS SATIVUS L. (NABO FORRAJERO)
RIA.Revista de Investigaciones Agropecuarias, diciembre, año/vol. 34, número 003
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
Buenos Aires, Argentina
pp. 31-150

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

Universidad Autónoma del Estado de México

<http://redalyc.uaemex.mx>



CAMBIOS EN LA POROSIDAD EDÁFICA BAJO SIEMBRA DIRECTA POR LA INTRODUCCIÓN DE *Raphanus sativus* L. (NABO FORRAJERO)

SASAL, M. C.; ANDRIULO, A.¹

RESUMEN

Los objetivos del trabajo fueron evaluar la capacidad del nabo forrajero (*Raphanus sativus* L.) para regenerar porosidad edáfica a corto plazo bajo siembra directa (SD) continua y explorar la factibilidad de introducirlo en la rotación agrícola predominante en la región Pampa Ondulada. Se ensayó el efecto del nabo sobre algunas propiedades físicas edáficas en un lote con bajo nivel de degradación (A). Luego, se evaluó su introducción a la rotación agrícola en un lote con alto nivel de degradación edáfica (B). Los tratamientos consistieron en nabo y testigo, con barbecho químico. En A, las raíces de nabo produjeron cambios en la porosidad mayor a 30 mm de los horizontes A y BA que mejoraron la circulación del agua. En B, el nabo redujo la porosidad total del horizonte A, amortiguó el efecto degradante de las lluvias sobre la macroporosidad y la porosidad estructural del horizonte BA e incrementó un 70% la estabilidad estructural a 0-5 cm (efecto de corta duración). La introducción de nabo a la rotación se presenta como una alternativa viable para contribuir al desarrollo de sistemas sustentables bajo SD continua.

Palabras clave: *cultivo de cobertura, agricultura continua, porosidad edáfica.*

¹ INTA. EEA Pergamino. Ruta 32, km 4.5 (2700).
Buenos Aires. Correo electrónico: csasal@pergamino.inta.gov.ar

ABSTRACT

SOIL POROSITY CHANGES UNDER NO TILL BY THE INTRODUCTION OF *Raphanus sativus* L. (FORAGE RADISH)

The objectives of this work were to evaluate soil porosity regeneration, in the short term, under no till (NT) using forage radish (*Raphanus sativus* L.) as a cover crop, and to explore the possibility of introducing this crop into the typical crop rotation of the Argentinean Pampa Ondulada. The effect of the forage radish on some physical soil properties was studied in a slightly degraded field plot (Experiment A). Then, a second trial was carried out to introduce forage radish in the crop rotation using a field plot with high soil degradation (Experiment B). The treatments were forage radish and control, with chemical fallow. In experiment A, forage radish roots increased the quantity of >30 mm pores in the upper horizons (A and BA), improving soil water movement. Forage radish maintained TP and aggregate stability, and produced an 8% increase of OM in the upper 5 cm. In experiment B, forage radish reduced TP in A horizon, maintained soil macroporosity and structural porosity of the BA horizon despite the degrading effect of rain, and increased aggregate stability in the upper 0-5 cm (short term effect). The introduction of forage radish to the typical crop rotation is a good alternative to contribute to the development of sustainable production systems under continuous NT.

Key words: *cover crop, continuous agriculture, soil porosity.*

INTRODUCCIÓN

El comportamiento físico de los suelos limosos de clima húmedo ha sido ampliamente estudiado por innumerables autores (Voorhees, Lindstrom 1984; Alakukku 1998; Topp *et al.* 2002). En general, se caracterizan por su susceptibilidad a compactarse y a formar estructura masiva y homogénea. Estos suelos, predominantes en la Pampa Ondulada argentina, en sitios con larga historia agrícola, se asocian con bajos contenidos de materia orgánica, pobre estabilidad de agregados y reducida capacidad de infiltración.

Las características mineralógicas de estos suelos impiden la regeneración de estructuras degradadas bajo SD continua (Taboada 1998; Sasal *et al.* 2005): ni los medios abióticos (expansión-contracción) ni los biológicos (lombrices, raíces) han probado ser efectivos. También, se han ensayado medios mecánicos con consecuencias ambientales negativas (Pilatti, Antille 1985; Montico 1993; Quiroga *et al.* 1998; Unger, Vigil 1998): la realización de una labor luego de varios años sin remoción de suelo, ace-

lera la mineralización de la materia orgánica acumulada en superficie, acrecienta las emisiones de gases de efecto invernadero y favorece la lixiviación de nitratos al agua subterránea. En consecuencia, se invalidan inmediatamente los efectos benéficos de largo plazo de la SD.

La utilización de cultivos de cobertura (CC) para mejorar biológicamente estados estructurales degradados bajo SD continua es una práctica usualmente utilizada en el sur de Brasil y en Paraguay (Calegari *et al.* 1993; Campos *et al.* 1999; Derpsch 1999); pero en la Argentina, al presente, no ha sido ensayada y menos aún transferida a los productores agrícolas.

Dabney (1998) define CC como aquella vegetación usada para proteger y mejorar el suelo, los cultivos y la calidad del agua. Generalmente, los CC no se cosechan y se dejan sobre la superficie como un *mulch*. La utilización de un CC con un sistema radical potente, capaz de atravesar capas compactadas y crear porosidad estable, podría constituir una alternativa de corto plazo, válida para regenerar estructura sin recurrir a la remoción del suelo.

Los CC tienen impacto positivo sobre el control de la erosión cuando se utilizan durante los períodos sin cultivo: la inmovilización de nutrientes solubles (nitratos) previniendo su lixiviado, la reducción de la evaporación, la adición de materia orgánica y la mejora en la agregación; pero tienen una consecuencia negativa: usan el agua del suelo (Unger, Vigil 1998; Reicosky, Forcella 1998). En general, los cultivos de cobertura reducen la cantidad de agua almacenada en el perfil del suelo cuando están creciendo y la conservan cuando se interrumpe su ciclo. Este uso puede reducir la provisión de agua para el próximo cultivo si las precipitaciones no son adecuadas y también disminuir los rendimientos del cultivo rentable (Cordone *et al.* 1995). Sin embargo, en los últimos años, el régimen hídrico de la Pampa Ondulada se caracteriza por balances hídricos excesivamente positivos en otoño y primavera que posibilitarían la introducción de cultivos invernales de cobertura con menor riesgo para limitar la productividad de los cultivos estivales, aunque esto no ha sido probado.

Los objetivos de este trabajo fueron evaluar la capacidad del nabo forrajero (*Raphanus sativus L.*) para la regeneración biológica de porosidad edáfica y explorar la factibilidad de introducirlo en la rotación agrícola predominante en la Pampa Ondulada bajo las condiciones climáticas actuales practicada en suelos degradados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos ensayos con diseño experimental en bloques completos al azar con cuatro repeticiones y dos tratamientos: *Nabo forrajero* y *Testigo* sin cultivo en suelos bajo SD continua degradados por compactación. El primero de los ensayos fue exploratorio y se inició en el año 2000. Tuvo por objeto evaluar el efecto del nabo sobre algunas propiedades físicas edáficas. A partir de los resultados obtenidos se inició el segundo ensayo en el año 2001 que tuvo por objeto introducir este cultivo en la rotación agrícola. En adelante, los ensayos se denominarán A y B, respectivamente.

A: lote agrícola con 7 años bajo SD continua, situado en la localidad de Carabelas en el norte de la provincia de Buenos Aires a 34° 9' de latitud sur y 60° 40' de longitud oeste. El suelo se clasifica como Argiudol típico, familia fina, illítica, mélica, de textura franco limosa, serie Rojas, moderadamente erosionado (INTA 1974). Los valores medios de arcilla y limo para el horizonte A son 23 y 48%, respectivamente. En la Tabla 1 se presentan las características edáficas del sitio al inicio del ensayo. Estas propiedades del horizonte A, son características de suelos franco limosos bajo siembra directa continua, con historia agrícola y bajo grado de degradación.

B: lote de larga historia agrícola con 6 años bajo SD continua, situado en la Estación Experimental Agropecuaria de INTA Pergamino en el norte de la Provincia de Buenos Aires a 33° 51' de latitud sur y 60° 40' de longitud oeste. El suelo se clasifica como Argiudol típico, familia fina, illítica, mélica, de textura franco limosa, serie Pergamino, moderadamente erosionado (INTA 1972). Los valores medios de arcilla y limo para el horizonte A son 23 y 64%, respectivamente. En la tabla 2 se presentan las características edáficas del sitio al inicio del ensayo. Las propiedades del horizonte A son características de suelos con grado de degradación elevado.

El clima de esta zona es templado húmedo, la precipitación y la temperatura medias anuales son de 910 mm y 16°C, respectivamente (INTA 1972). Sin embargo, estos ensayos se llevaron a cabo en períodos particularmente lluviosos. El ensayo A se sembró en Junio de 2000 y durante el período de estudio (un año) se registraron 1411 mm de lluvia, superando en 55% la media anual. En el período de estudio del ensayo B, que co-

Tabla 1: Valores medios de las propiedades edáficas iniciales del ensayo A.

Horizonte	Espesor cm	DA g cm	Macroporosidad	Mesoporosidad	Microporosidad	MO %	IEA %	IB ₀ mmh ⁻¹
			>60 m	60 15 m	<15 m			
A	0-5	1,09	24,3	6,4	27,5	3,38	69,8	40,0
	5-15	1,33	22,2	4,3	22,2	2,85	28,6	16,2
BA	15-23	1,36	21,6	4,0	22,1		2,48	
Bt ₁	23+	1,33	24,8	2,0	22,1		1,84	

DA: densidad aparente; MO: materia orgánica; IEA: índice de estabilidad de agregados; IB : infiltración básica a tensión 0.

Tabla 2: Valores medios de las propiedades edáficas iniciales del ensayo B.

Horizonte	Espesor cm	DA g cm	PE %	IEA %	MO %	Macroporosidad	Mesoporosidad	Microporosidad
						> 60 m	60-15 m	< 15 m
A	0-5	1,20	18,4	10,5	3,16	18,1	7,9	26,2
	5-16	1,29	13,4	5,6	2,05	13,6	6,2	30,5
BA	16-22	1,38	14,2	4,5	1,99	13,6	5,7	27,6

DA: densidad aparente; PE: porosidad estructural; IEA: índice de estabilidad de agregados; MO: materia orgánica.

menzó en mayo de 2001 (siembra del cultivo), se registraron 1458 mm de lluvia, superando en 60% la media anual.

El manejo del cultivo fue similar en ambos ensayos. Las parcelas utilizadas fueron de 40 m². El nabo forrajero se sembró a una profundidad de 3 cm. La distancia entre hileras fue de 32 cm y la densidad de siembra fue de 20 kg ha⁻¹. La fertilización se realizó en la línea de siembra con 60 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico. La siembra se realizó en forma manual el 20 de junio de 2000 en el ensayo A y con una sembradora de grano fino; el 4 de mayo de 2001, en el B. El control de malezas se realizó químicamente utilizando Glifosato 46% (3 l ha⁻¹) en presiembra. Durante el ciclo del cultivo se realizaron dos aplicaciones de Cletodim 24% (2 l ha⁻¹) para control de gramíneas en el nabo y dos aplicaciones de Glifosato 46% (3 l ha⁻¹) en el testigo.

La duración del ciclo de cultivo fue diferente en cada ensayo. En el ensayo A se dejó finalizar el ciclo del cultivo. En enero de 2001 se cortaron las plantas desde la base y se extrajeron del ensayo. Luego de 6 me-

ses, se realizó un muestreo en el que se analizaron las mismas propiedades edáficas que en el muestreo inicial. La elección del momento de muestreo respondió a dos razones: evitar el efecto de variación estacional sobre las propiedades edáficas, muestreando en la misma época del año en que se realizó la caracterización inicial, y evitar la oclusión de macroporos, dándole tiempo a las raíces del nabo para que se descompongan.

En el ensayo B, el ciclo del cultivo se interrumpió en septiembre de 2001 utilizando Glifosato 46% (3 lha⁻¹). El 1.º de noviembre se sembró maíz (híbrido DK 752 MG-CL) con una densidad de 6 plantas por metro y a 0.70 m de distanciamiento entre hileras. La fertilización fosforada se realizó, en la línea de siembra, con 60 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico. En cuarta hoja del cultivo, se realizó la fertilización nitrogenada con 75 kg de urea granulada aplicada al voleo en el tratamiento que había tenido nabo y 110 kg en el testigo, según la provisión de MO medida al momento de la aplicación. El control de malezas se realizó en preemergencia con Atrazina 50% (2.5 lha⁻¹) y Acetoclor 84% (2 lha⁻¹). En diciembre, cuando el cultivo se encontraba con cuatro hojas expandidas, se realizó un muestreo en el que se analizaron las mismas propiedades edáficas que en el muestreo inicial. Los sitios de toma de muestras se ubicaron en el espacio comprendido entre las líneas de siembra, evitando las huellas de rodados.

En ambos ensayos se midieron las siguientes propiedades edáficas: infiltración básica a 0 mm de tensión (IB₀) y a 30 mm de tensión (IB₃₀) por el método tensioinfiltrométrico (Ankeny 1992); densidad aparente (DA) por el método del cilindro (Burke *et al.* 1986); humedad gravimétrica (w) a las tensiones de 1, 5, 10 y 20 kPa, por el método de la mesa de tensión (Bezerra de Oliveira 1968); densidad aparente textural (DA_t) por el método de Stengel (1983); índice de estabilidad de agregados (IEA), en porcentaje, por tamizado en agua por el método de Douglas y Goss (1982) y MO, en porcentaje, por combustión húmeda con el método de Walkley-Black (Page *et al.* 1982) en suelo tamizado a 2 mm (MO = 1.72 x carbono orgánico).

En cada parcela se eligió un sitio al azar y se realizó una calicata de 50 cm de profundidad. En ella se midió el espesor de los horizontes genéticos A, BA y Bt₁, se extrajeron dos muestras con cilindro (volumen 59 cm³) y otra muestra disturbada del centro de cada horizonte A y BA y de los primeros 10 cm del Bt₁ (este último espesor sólo en el ensayo A). Con los cilindros, se construyeron curvas de retención hídrica, se calculó la densi-

dad aparente, la humedad volumétrica a cada tensión y la porosidad total. Luego se calculó la distribución del tamaño de los poros.

Las determinaciones de IB_0 e IB_{30} se realizaron en el mismo sitio, por duplicado, sobre la superficie y en el centro del horizonte A (aproximadamente entre 8 y 10 cm de profundidad). En el mismo sitio donde se realizó cada medición de infiltración, 24 h después, se extrajo una muestra con cilindro y se realizó la curva de retención hídrica.

La determinación de Dat se utilizó para clasificar la porosidad por origen: la porosidad textural (Pt) surge de restar a la porosidad total (PT), la porosidad estructural (PE). Los valores de PT fueron considerados coincidentes con los de humedad volumétrica a saturación.

En junio de 2002, en el ensayo B, tres meses después de la cosecha de maíz y seis meses después del último muestreo se extrajeron muestras del espesor 0-5 cm y se determinó el contenido de MO y el IEA para evaluar la duración del efecto del tratamiento sobre estas propiedades.

Se analizaron las varianzas de los datos obtenidos con el procedimiento GLM de SAS (SAS Institute 1989). También, se realizaron regresiones lineales simples entre IB_0 e IB_{30} y la porosidad diferenciada por tamaños de las muestras obtenidas debajo del infiltrómetro. No se realizó un análisis conjunto de los ensayos debido a que son distintos los momentos de muestreo y la duración de los ciclos del nabo forrajero.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayo A:

En la Tabla 3 se presentan los valores medios de IEA, MO, DA, IB_0 e IB_{30} de los espesores 0-5 cm, resto del horizonte A, horizonte BA y los primeros 10 cm del horizonte Bt_1 . Con respecto a IEA, se observa que en el tratamiento testigo fue aproximadamente un 50% menor en los primeros 5 cm y un 70% menor en el resto del horizonte A que el tratamiento con nabo. Sin embargo, el nabo forrajero mantuvo la estabilidad estructural inicial del lote (Tabla 1). Los cambios en la estabilidad de la estructura pueden estar asociados fundamentalmente a enriquecimientos en carbono. Sin embargo, en el tratamiento con nabo, sólo se produjo un incremento significativo de MO en los primeros 5 cm. Este incremento se debe al aporte no controlado de las hojas en la superficie, ya que la biomasa aérea fue extraída completamente al final del ciclo. El espesor restante

Tabla 3: Valores medios de algunas propiedades edáficas medidas 6 meses después de finalizado el ciclo del cultivo. Ensayo A.

Tratamiento	Profundidad cm	IEA %	MO %	DA g cm ⁻³	IB ₀ mmh ⁻¹	IB ₃₀
Nabo	0-5	56,5 a	5,22 a	0,99	33.0	7.5
	Resto de A	25,6 A	2,80	1,32	16.8	3.1 a
	BA	.	2,47	1,36 a	.	.
Forrajero	10 cm de B _{t1}	.	1,70	1,36	.	.
	0-5	23,8 b	4,76 b	1,04	29.8	7.6
Testigo	Resto de A	7,9 B	2,75	1,38	11.2	2.1 b
	BA	.	2,24	1,43 b	.	.
	10 cm de B _{t1}	.	1,73	1,42	.	.

IEA: índice de estabilidad de agregados; MO: materia orgánica; DA: densidad aparente ; IB₀: Infiltración básica a 0 mm de tensión; IB₃₀: Infiltración básica a 30 mm de tensión. Letras distintas indican diferencia significativa entre horizontes de distinto tratamiento ($p < 0.05$).

del horizonte A no presentó incrementos de MO. Probablemente, el sistema radical del nabo y las hifas fúngicas asociadas agregaron el suelo, incrementando su estabilidad (Andreola et al. 2000).

Es necesario enfatizar que el período ocurrido entre la cosecha del nabo y el muestreo final fue muy húmedo: concentró el 61% de la precipitación anual. Estas lluvias, importantes en cantidad e intensidad, produjeron considerables alteraciones de las propiedades edáficas que habrían enmascarado los efectos del sistema radical del nabo sobre las propiedades físicas del suelo. La determinación de densidad aparente no resultó suficientemente sensible para detectar cambios en la PT entre tratamientos (Tabla 3).

Sin embargo, se evidenció que el nabo forrajero mantuvo la PT que tenían inicialmente todos los horizontes mientras que, en el tratamiento testigo, se produjo una reducción significativa de la porosidad total del BA (Figura 1). El horizonte BA es un horizonte de transición con contenidos de arcilla y limo de 25.5 y 48.3%, respectivamente (INTA 1974). La composición granulométrica y el bajo contenido de materia orgánica de este horizonte le confieren una importante susceptibilidad a la compactación y una gran resistencia a la penetración de raíces (Cerana 1969, citado por Stengel 1988). Esto, sumado a la cercanía de este horizonte a la superficie en lotes erosionados, lo constituye como una de las

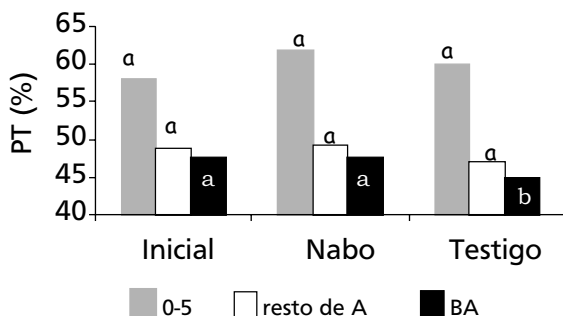


Figura 1: Comparación de porosidad total (en %) entre los tratamientos testigo y nabo forrajero y la situación inicial de los primeros 5 cm, el resto del horizonte A y los horizontes BA. Ensayo A. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos.

principales limitantes físicas de producción de cultivos (Stengel 1988). En consecuencia, el incremento en su porosidad resulta particularmente relevante.

En el figura 2, se presenta la distribución de la porosidad por tamaños. Puede observarse, a excepción del espesor 0-5 cm, una marcada reducción de la macroporosidad de todos los horizontes y un consecuente incremento de la microporosidad en ambos tratamientos, con respecto a la situación inicial (Tabla 1).

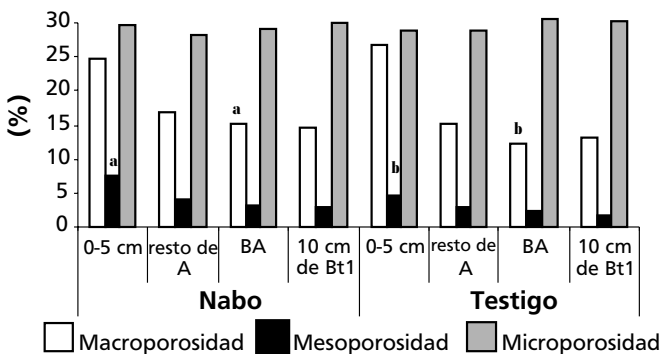


Figura 2: Distribución media de la porosidad por tamaño (en %) en los primeros 5 cm, el resto del horizonte A y los horizontes BA y Bt₁ en los tratamientos testigo y nabo forrajero. Ensayo A. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos.

Esta alteración puede deberse a las abundantes e intensas precipitaciones registradas. Sin embargo, con significancia estadística variable, el nabo forrajero afectó la distribución de tamaño de poros en los horizontes superficiales del suelo:

- Por un lado, el porcentaje de mesoporos se incrementó notablemente, con respecto a los valores iniciales, en los primeros 5 cm (Figura 2).

Este incremento no se debió a la ruptura de poros de mayor tamaño por acción de la lluvia ya que, únicamente en superficie y favorecidos por la cobertura constante de rastrojos, la proporción de macroporos no se alteró en ninguno de los tratamientos. En este caso, la generación de los mesoporos puede atribuirse al efecto de actividad biológica estimulado por el aporte de materia orgánica de las hojas con baja relación C/N (Campos *et al.* 1999).

- El resto del horizonte A, no presentó diferencias en la distribución de poros por tamaño ni por origen entre los tratamientos. Sin embargo, los porcentajes de macro y mesoporos tendieron a incrementarse ($p < 0.15$).

- En el horizonte BA, independientemente del valor inicial, se evidenció una diferencia significativa entre la macroporosidad bajo nabo con respecto a la situación testigo. Esto se debió posiblemente a la acción estabilizadora del sistema radical del nabo que impidió una abrupta disminución de la macroporosidad por efecto de las lluvias. Este mismo efecto se observó al analizar la porosidad por origen: sólo en el horizonte BA del tratamiento con nabo forrajero se observó un incremento de la porosidad estructural (Figura 3).

Los efectos producidos por el sistema radical del nabo forrajero en este ensayo, posiblemente estuvieron enmascarados por efecto de las precipitaciones, pero permitieron evidenciar qué tamaño de poros afectan y hasta qué profundidad lo fueron. Por un lado, los mesoporos menores a 30 mm y los microporos no se diferenciaron entre tratamientos en ninguno de los horizontes evaluados, indicando que solo los poros mayores que 30 mm pueden alterarse por acción de las raíces de nabo forrajero. Por otro lado, el horizonte Bt₁ no presentó diferencias en la distribución del tamaño de los poros entre tratamientos, indicando que el efecto del nabo no supera los 23 cm de profundidad. Kilk y otros (1999) probaron 8 combinaciones de gramíneas y leguminosas como CC durante 10 años. Todos los CC incrementaron significativamente el volumen de poros en los espesores 0-5 y 5-10 cm y, preferentemente, incrementaron los poros mayores 10 mm. Debajo de los 10 cm no hallaron diferencias signifi-

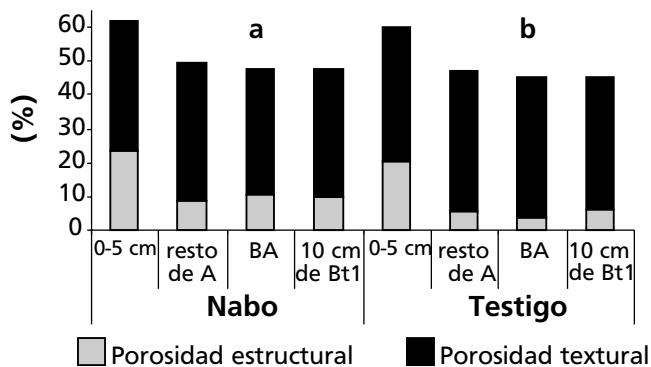


Figura 3: Distribución media final de la porosidad por origen (en %) en los primeros 5 cm, el resto del horizonte A y los horizontes BA y Bt₁ en los tratamientos testigo y nabo forrajero. Ensayo A. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos.

ficativas. También, Pilatti y otros (1987) evaluaron las mejoras al estado físico del suelo producidas por forrajeras semiperennes, encontraron que las raíces pivotantes mejoraron la macroporosidad del BA y que este efecto no se evidenciaba en el horizonte Bt₁.

En la Tabla 3, se presentan los valores medios de infiltración básica a 0 y 30 mm de tensión medidos sobre la superficie y a 8 cm de profundidad. Los resultados obtenidos son típicos para la textura y el sistema de cultivo analizados, aunque también se produjo una reducción en la tasa de infiltración con respecto a los valores iniciales. Los valores de IB_0 , que están fuertemente influenciados por la presencia de canales y grietas, no difirieron entre tratamientos. En cambio, la IB_{30} , que sólo mide el flujo de agua que se transmite por los poros menores a 1 mm, permite reducir los errores metodológicos y evidenciar específicamente los efectos debidos al manejo (Ankeny, 1992). El análisis de la IB_{30} a 8 cm de profundidad, mostró que el nabo la aumentó significativamente.

Para identificar el tamaño de poros asociado al movimiento del agua en el suelo, se hicieron regresiones simples entre IB_{30} y la distribución de poros por tamaño de las muestras obtenidas debajo del infiltrómetro en superficie y a 8 cm de profundidad (Figura 4).

Los resultados encontrados fueron diferentes en cada tratamiento. En los sitios que habían tenido nabo, se observó que en la superficie, el ingre-

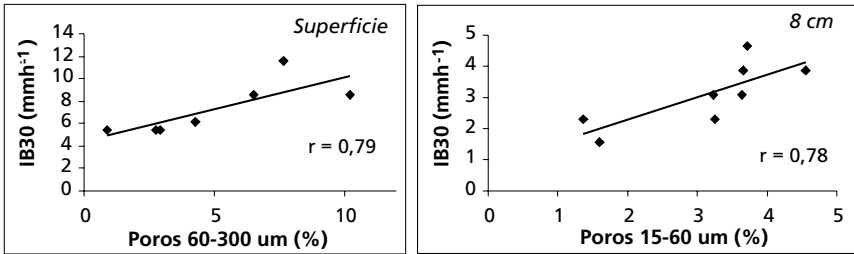


Figura 4: Regresión lineal simple entre IB₃₀ (mm h⁻¹) y porosidad entre 60 y 300 mm de diámetro en superficie y porosidad entre 15 y 60 mm de diámetro a 8 cm de profundidad en el tratamiento nabo forrajero. Ensayo A.

so de agua está relacionada con los macroporos comprendidos entre 60 y 300 mm y en el centro del horizonte A, el movimiento del agua está asociado a los mesoporos ($p < 0.05$). Estas relaciones no se presentaron en el tratamiento testigo.

Los resultados indican que el nabo forrajero produce una mejora en la dinámica del agua en el suelo y que, en el horizonte A (8 cm) se reduce el diámetro de poros responsables de la conducción del agua. Así, puede hipotetizarse que: en superficie, el ingreso de agua al suelo se produce preferentemente por los macroporos entre 60 y 300 mm. Debido a que el efecto del nabo forrajero sólo se identificó en los mesoporos entre 30 y 60 mm, la IB no fue diferente entre tratamientos.

Por otro lado, el movimiento del agua dentro del horizonte A, fue diferente entre tratamientos. La circulación del agua significativamente mayor en el tratamiento con nabo debería poder atribuirse a una mayor mesoporosidad. Sin embargo, esto no ha sido demostrado. Una posibilidad sería que el aumento de IB se relacione con la macroporosidad más elevada del horizonte subyacente que se encuentra a 7 cm (Radcliffe *et al.*, 1990).

Ensayo B:

En la Tabla 4, se presentan los valores medios de DA, PE, IEA, MO y distribución de poros iniciales y los obtenidos tres meses después de la interrupción del ciclo del nabo forrajero en los espesores 0-5 cm, resto del horizonte A y en el horizonte BA. Puede observarse que el nabo forrajero no tuvo efecto sobre la DA del horizonte A: en los primeros 5 cm, no

Tabla 4: Valores medios de densidad aparente (DA), porosidad estructural (PE), índice de estabilidad de agregados (IEA), materia orgánica (MO) y macro, meso y microporosidad de los espesores 0-5 cm, resto de horizonte A y horizonte BA al inicio del ensayo y en diciembre de 2001. Letras distintas indican diferencias significativas entre situaciones para un mismo espesor ($\alpha=0.05$). Ensayo B.

Horizonte		Espesor cm	DA g cm ³	PE %	IEA %	MO %	Macroporosidad %	Mesoporosidad %	Microporosidad %
Inicial (mayo 2001)	A	0-5	1,20	18,4	10,5 a	3,16 a	18,1 a	7,9	26,2 a
		5-16	1,29 a	13,4 a	5,6	2,05	13,6 a	6,2	30,5
	BA	16-22	1,38 a	14,2	4,5	1,99	13,6 a	5,7	27,6 a
Testigo (diciembre 2001)	A	0-5	1,22	18,3	13 ab	2,50 b	11,2 b	7,2	33,6 b
		5-15	1,38 b	9,9 b	6,0	1,88	9,8 b	6,4	30,6
	BA	15-20	1,44 b	8,0	4,5	1,45	8,8 b	4,7	32,4 b
Nabo (diciembre 2001)	A	0-5	1,19	19,0	17,8 b	3,32 a	13,1 ab	8,0	33,3 b
		5-15	1,39 b	10,9 ab	5,9	1,93	8,8 b	6,6	31,0
	BA	15-20	1,39 a	10,6	4,7	1,68	9,9 ab	5,5	31,3 b

se produjeron cambios en ninguno de los tratamientos y en el resto del horizonte A se produjo un incremento de la DA en ambos tratamientos con respecto a la situación inicial. Este incremento se debe a una reducción significativa de la macroporosidad en estos espesores (Tabla 4).

Esta reducción puede atribuirse a las importantes lluvias que, posteriormente a la interrupción del ciclo del nabo y con anterioridad a la siembra de maíz, produjeron el colapso de los poros grandes (Collison *et al.* 2001). Este proceso no se produjo en superficie por la protección de la cobertura y el mayor contenido de MO de los primeros centímetros que le confiere estabilidad estructural ($r=0.87$). Por otro lado, en el horizonte BA, el tratamiento testigo tuvo una reducción importante de porosidad. Sin embargo, el nabo logró mantener la DA de este horizonte. Los cambios en DA se deben a la disminución de macroporos en el tratamiento testigo. En este mismo sentido, la PE del horizonte A presentó una reducción significativa en el tratamiento testigo y en el nabo forrajero se mantuvo la PE inicial. Esto indica que el sistema radical del nabo produjo una amortiguación del efecto degradante de las lluvias en este horizonte.

Con respecto al IEA, solo el espesor 0-5 cm presentó diferencias significativas entre tratamientos: el testigo mantuvo el IEA inicial y el nabo forrajero lo incrementó en un 70%. Esta mejora en la estabilidad de la estructura no estuvo en relación directa a los cambios en el contenido de MO que produjeron los tratamientos: el nabo mantuvo el contenido de

MO y el testigo lo redujo. También Campos *et al.* (1995) observaron una mejoría de la estabilidad estructural en los primeros 5 cm del suelo con cultivos de cobertura, antecediendo al cultivo de maíz en SD, sin incrementos significativos en carbono cuando se los comparó con barbecho. El proceso de estabilización de los macroagregados es producido por el entretrejido de las raicillas del cultivo de cobertura con el suelo y por efecto de las hifas fúngicas asociadas a las raíces de esta especie (Dabney 1998; Andreola *et al.* 2000). Sin embargo, el impacto en superficie se debe, también, al aporte de las hojas con baja relación C/N debido a la interrupción química del ciclo de cultivo en floración (Andreola *et al.* 2000). En el tratamiento testigo, la reducción de MO no fue acompañada por una disminución significativa del IEA debido, probablemente, a que en el momento en que se realizó el muestreo la actividad de microorganismos y de las raíces del maíz mantuvieron constantes estos valores.

La mejora en la estabilidad de la estructura fue de corto plazo: seis meses después y bajo una importante cobertura de rastrojos de maíz, este efecto desapareció y ambos tratamientos presentaron los IEA iniciales (Figura 5).

Las altas temperaturas del verano y la elevada humedad edáfica favorecieron la mineralización de esta MO joven haciendo que su efecto fuera efímero. En la figura 6 se presenta la evolución de los contenidos de MO en los primeros 5 cm. La importante disminución del contenido de MO en el espesor 0-5 cm del testigo puede explicarse por las siguientes razones:

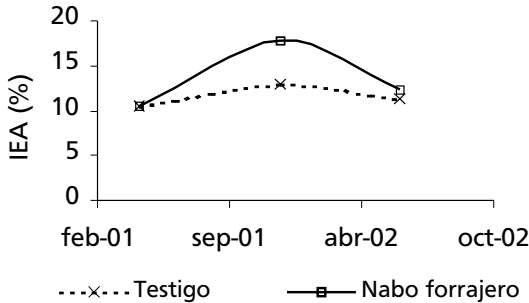


Figura 5: Evolución del IEA de los primeros 5 cm de ambos tratamientos en tres fechas de muestreo. Ensayo B.

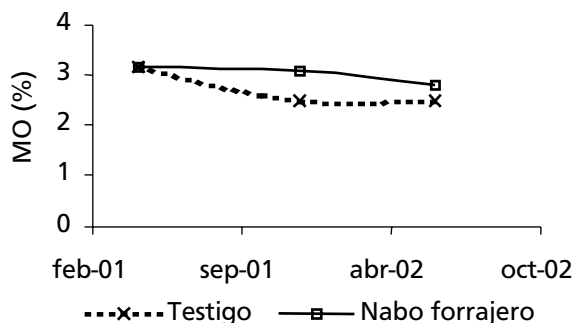


Figura 6: Evolución del contenido de MO de los primeros 5 cm de ambos tratamientos en tres fechas de muestreo. Ensayo B.

- elevado contenido inicial de compuestos fácilmente mineralizables provenientes de los residuos de la reciente cosecha de soja (abril de 2001);
- temperatura media del período particularmente elevada que supera la temperatura media histórica en 1,1°C (INTA 1972);
- precipitación media del período superior a la histórica.

En función de la reducción en la porosidad total obtenida en los dos tratamientos en el horizonte A, se esperaba una reducción de infiltración. Sin embargo, los valores medios de IB_0 e IB_{30} obtenidos en diciembre, fueron significativamente superiores a los del inicio del ensayo (Tabla 5) en ambos tratamientos.

Posición		IB_0	IB_{30}
$mm\ h^{-1}$			
Inicial (mayo 2001)	Superficie	14,7 a	3,9 a
	10 cm	6,9 a	1,9 a
Testigo (diciembre 2001)	Superficie	38,9 b	18,3 b
	10 cm	19,1 b	8,8 b
Nabo (diciembre 2001)	Superficie	33,0 b	19,0 b
	10 cm	19,6 b	9,1 b

Tabla 5: Valores medios de IB_0 e IB_{30} medidos en superficie y a 10 cm de profundidad al inicio del ensayo y en diciembre de 2001 en el ensayo B. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para una misma posición ($\alpha=0.05$).

Esto puede deberse a que las condiciones hídricas del período de estudio, favorables a un desarrollo del cultivo cercano a su potencial, al favorecer la transpiración, causaron baja humedad edáfica en el momento de muestreo (humedad gravimétrica media en el espesor 0-5 cm = 24.9% al inicio vs. 8.9% en diciembre). Felton (1992) encontró que el contenido de humedad inicial altera fuertemente el gradiente bajo el tensio infiltrómetro. Pero independientemente de la tasa de IB inicial, si comparamos los resultados obtenidos en cada uno de los tratamientos, observamos que no hubo diferencias. Esto indica que ninguno de los cambios estructurales registrados (ni el aumento de estabilidad registrado en superficie bajo nabo, ni la reducción de porosidad en el horizonte BA) fueron suficientemente relevantes para afectar la tasa de infiltración.

Se realizaron regresiones lineales simples entre esta propiedad y la porosidad diferenciada por tamaños para identificar el tamaño de poros que tiene mayor incidencia en el ingreso y la circulación de agua en el suelo (Tabla 6).

Tamaño de poros	IB ₀	IB ₃₀
>300 m	ns	ns
300-60 m	r=0.70 (p<0.01)	r=0.70 (p<0.01)
60-30 m	ns	ns
30-15 m	ns	ns
<15 m	ns	ns

Tabla 6: Significación estadística de las regresiones lineales simples entre la distribución por tamaño de los poros y la IB₀ e IB₃₀.

Solamente, los poros de diámetro comprendido entre 60 y 300 mm tuvieron regresión significativa. Como el porcentaje de poros de este tamaño no fue alterado por ninguno de los tratamientos, se explica que estos no hayan modificado la tasa de infiltración.

Los cambios físicos mencionados, producidos bajo cada uno de los tratamientos, no afectaron el rendimiento del cultivo de maíz que fue de 10000 kg ha⁻¹. La provisión en cantidad y momento adecuados de agua, nitrógeno y fósforo permitió que el cultivo expresara su potencialidad. Esto indica que las restricciones físicas difícilmente se visualizan en años sin limitaciones hídricas.

Durante los dos años en los que se llevaron a cabo los ensayos, se presentaron fenómenos de precipitaciones muy elevadas. Los efectos producidos por este fenómeno climático sobre algunas propiedades físicas de los tratamientos testigo fueron de mayor magnitud que los ocasionados por el nabo forrajero. Este efecto inesperado abre una nueva línea de futuros trabajos que profundicen el estudio del impacto del cambio en el régimen hídrico sobre la porosidad edáfica, en suelos sin remoción. Sin embargo, y condicionado por el nivel de degradación inicial del lote y por la duración del ciclo del cultivo, el nabo forrajero presentó mejoras de algunas de las propiedades estudiadas. Esto indica que el cultivo de cobertura de nabo forrajero podría constituir una alternativa de corto plazo, válida para regenerar estructura sin recurrir a la remoción del suelo, aunque este estudio debe profundizarse.

CONCLUSIONES

La introducción de nabo forrajero en la rotación agrícola bajo SD continua en las condiciones edafoclimáticas de la Pampa Ondulada es factible. Sin embargo, en situaciones de alto nivel de degradación edáfica no es suficiente para producir una mejora neta de los parámetros edáficos analizados.

La introducción de nabo forrajero con su sistema radical robusto, y su utilización como cultivo de cobertura, para incrementar los aportes de materia orgánica, resulta eficaz para mejorar la estructura del suelo con bajo nivel de degradación bajo SD continua. Ello demuestra que es posible mejorar temporalmente la geometría porosa a través del crecimiento radical e indirectamente con el aporte de materia seca en superficie. Se debería profundizar este estudio para cuantificar la importancia y el aporte proporcional de cada una de estas dos cualidades a la generación de porosidad.

La acción de las raíces de nabo forrajero afecta a los poros mayores a 30 mm de los horizontes superficiales, sin alterar la porosidad del horizonte Bt₁. Estos cambios producidos en la porosidad, mejoran la dinámica del agua en el suelo en la situación de baja degradación. En la situación con alto nivel de degradación, el colapso de los poros grandes inestables por las importantes lluvias ocurridas posteriormente a la interrupción del ciclo del cultivo y con anterioridad a la siembra de maíz no afecta la

proporción de macroporos, responsables del movimiento del agua en el horizonte superficial.

Las condiciones climáticas del período en estudio impiden evaluar con precisión el efecto del nabo forrajero sobre las propiedades físicas analizadas. Sin embargo, esta experiencia es útil para demostrar que bajo las condiciones climáticas actuales de la Pampa Ondulada argentina es posible incluir cultivos invernales sin afectar los rendimientos de los cultivos estivales.

BIBLIOGRAFÍA

- ALAKUKKU L. 1998. Properties of compacted fine-textured soils as affected by crop rotation and reduced tillage. *Soil Tillage Res.* 47:83-89.
- ANDREOLA, F.; COSTA L.M.; OLSZEWSKI, N. 2000. Influencia da cobertura vegetal de invierno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada. *R. Bras. Ci. Solo*, 24, pp. 857-865.
- ANKENY, M.D. 1992. Methods and theory for unconfined infiltration measurements. En: Topp GC, Reynolds WY, Green RD (Eds.). *Advances in measurement in soil physical properties: bringing theory into practice.* Soil Sci. Soc. Am. Special Publication N. 30.
- BEZERRA DE OLIVEIRA, L. 1968. Determinação da macro e microporosidade pela «mesa de tensão» em mostras de solo com estrutura indeformada. *Pesquisa Agrop. Bras.*, 3, pp. 197-200.
- BURKE, W.; GABRIELS, D.; BOUMA, J. (Eds.). 1986. *Soil structure assessment.* Rotterdam, A.A. Balkema. 92 p.
- CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E.A.; WILDNER, L.P.; COSTA, M.B.B.; ALCÂNTARA, P.B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T.J.C. 1993. *Adubação verde no sul do Brasil.* Rio de Janeiro, AS-PTA, 2.ª ed. 346 p.
- CAMPOS, B.C; REINERT, D.J; NICOLODI, R; CASSOL, L.C. 1999. Dinâmica da agregação inducida pelo uso de plantas de invierno para cobertura do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 23, pp. 383-391.
- CAMPOS, B.C; REINERT, D.J; NICOLODI, R; RUEDELL, J; PETRERE, C. 1995. Estabilidade estrutural de um latossolo vermelho-escuro distrofico apos sete anos de rotacao de culturas e sistemas de manejo de solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 19, pp. 121-126.
- COLLISON, A; SIMOS, ASCOUGH II, J.C (ED.); FLANAGAN, D.C. 2001. Modeling gully head-cut recession processes in loess deposits. En: *Soil erosion research for the 21st century.* Proceedings of the international Symposium, Honolulu, Hawaii, USA. ASAE, pp. 87-90.
- CORDONE, G.E; FERRARI, M; OSTOJIC, J; PLANAS, G. 1995. Post-harvest amount, quality and distribution of crop residues in the 'Pampa Húmeda' (Argentina).

- En: Annual Meeting, St. Louis Missouri Agronomy Abstracts, ASA, CSSA, SSSA, p. 301.
- DABNEY, S.M. 1998. Cover crop impacts on watershed hydrology. *Soil and Water Cons.*, 53, pp. 207-213.
- DERPSCHE, R. 1999. Expansión mundial de la siembra directa. *Avances tecnológicos*. En: V Reunión de la Red Latinoamericana de Agricultura Conservacionista, Florianópolis, Santa Catarina.
- DOUGLAS, J.T.; GOSS, M.J. 1982. Stability and organic matter of surface soil aggregates under different methods of cultivation and in grassland. *Soil Till. Res.* 2, pp. 155-175.
- FELTON, G.K. 1992. Soil water response beneath a tension infiltrometer: computer simulation. *Soil Sci.* 154, pp. 14-24.
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA. 1974. Argentina. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja Colón (3360-31). 103 p + anexos.
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA. 1972. Argentina. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja Pergamino (3360-32). 106 p + anexos.
- KILK, A.; ROSNER, J.; LOISKANDL, W. 1998. Effects of temporary and permanent soil cover on grape yield and soil chemical and physical properties. *Soil and Water Cons*, 53, pp. 249-253.
- MONTICO S. 1993. Estudio del efecto de la labor del subsolado en una rotación agrícola. Rosario, Facultad de Ciencias Agrarias. UNR editora. 12 p.
- PAGE, A.L (ed.). 1982. *Methods of soils analysis*. Parts I and II. Madison, Wis., American Society of Agronomy.
- PILATTI MA, ANTILLE RL. 1985. Labores profundas en Argiudoles del noreste santafecino. Incidencia sobre las propiedades edáficas y comportamiento de girasol. *TecnicREA* 5, pp. 16-22.
- PILATTI, M.A; PRIANO, L.J.J; DE ORELLANA, J.A. 1987. Modificaciones producidas en el suelo por plantas forrajeras. *Ciencia del Suelo*. [publications/health/chapter06.html](#), 5, pp. 150-157.
- QUIROGA A, ORMEÑO O, PEINEMANN N. 1998. Efectos de la siembra directa sobre las propiedades físicas de los suelos. En: Panigatti, Marelli, Buschiazzo, Gil (eds.) *Siembra directa* pp. 29-33.
- RADCLIFFE, D.E; WEST, L.T; WARE, G.O; BRUCE, R.R. 1990. Infiltration in adjacent Cecil and Pacolet soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54, pp. 1739-1743.
- REICOSKY, D.C; FORCELLA, F. 1998. Cover crop and soil quality interactions in agroecosystems. *Soil and Water Cons.* 53, pp. 224-229.
- SAS INSTITUTE INC. 1989. *SAS/STAT User's guide*, Versin 6. 4th edition. Vol. 2. Cary, NC: SAS Institute Inc. 846 p.
- SASAL C, ANDRIULO A, TABOADA MA. 2005. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in argentinian pampas. *Soil and Tillage Res.* *Soil Tillage Res.* (en prensa).

- STENGEL, P. 1983. Analyse de la porosité. En: Séminaire CEE-Agrimed. Avignon.
- STENGEL, P. 1988. Análisis de la porosidad en horizontes de un suelo brunizem en distintas condiciones de manejo y su relación con el crecimiento de las raíces del maíz. Pergamino. EEA. Informe Técnico N. 211.
- TABOADA, M.A; MICUCCI, F.G; COSENTINO, D.J; LAVADO, R.S. 1998. Comparison of compaction induced by conventional and zero tillage in two soils of the Rolling Pampa of Argentina. Soil and Till. Res. 49, pp. 57-63.
- TOPP GC, WIRES KC, ANGERS DA, CARTER MR, CULLEY JLB, HOLMSTROM DA, KAY BD, LAFOND GP, LANGILLE DR, MCBRIDE RA, PATTERSON GT, PERFECT E, RASIAH V, RODD AV, WEBB KT. 2002. Changes in Soil Structure. 19 de Noviembre. <http://sis.agr.gc.ca/cansis/publications/health/chapter06.html>
- UNGER, P.W; VIGIL, M.F. 1998. Cover crop effects on soil water relationships. Soil and Water Cons. 53, pp. 200-207.
- VOORHEES WB, LINDSTROM MJ. 1984. Long-term effects of tillage method on soil tilth independent of wheel traffic compaction. Soil Sci. Soc. Am. J. 48, pp. 152-156.

Original recibido en octubre de 2005