

DEGRADACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE UN HAPLUSTOL TÍPICO BAJO DISTINTOS SISTEMAS DE MANEJO DE SUELO

GERARDO AGUSTÍN SANZANO; ROBERTO DANIEL CORBELLA; JOSÉ RAMÓN GARCÍA
y GUILLERMO SALVADOR FADDA

Cátedra de Edafología - Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán.

Avenida Roca 1900, San Miguel de Tucumán (4000)

E-mail: gasanza@manant.unt.edu.ar; rdcorbella@hotmail.com; jrg@manant.unt.edu.ar; gsfadda@manant.unt.edu.ar

Recibido: 18/02/05

Aceptado: 20/08/05

RESUMEN

En la provincia de Tucumán se produjo un fuerte proceso de expansión de la frontera agropecuaria sobre áreas secas subhúmedas y semiáridas, lo que condujo a la degradación física, química y biológica de los suelos. El objetivo del presente trabajo fue comparar, en una región seca subhúmeda, la influencia de diferentes sistemas de manejo en un Haplustol típico sobre el nivel de degradación física y química del mismo y su relación con propiedades hidráulicas que tienen importancia en el almacenaje de agua. En un ensayo de manejo de 20 años de antigüedad se compararon situaciones bajo monocultivo de soja con siembra directa (SD) y con laboreo convencional (LC); bajo pastura de gramíneas sin pastoreo directo (P) y bajo monte natural (MN). Las siguientes propiedades fueron evaluadas: carbono orgánico (CO), fósforo extractable (Pe), capacidad de intercambio catiónico (CIC), pH, densidad aparente (DA), estabilidad estructural (EE), conductividad hidráulica (Ksat), infiltración básica (Ibas), y poros mayores a 0,25 mm (macroporosidad). Hubo diferencias significativas en el carbono orgánico y la capacidad de intercambio catiónico entre los tratamientos SD y P con respecto a LC. Los contenidos de fósforo extractable fueron 28, 16 y 14% para SD, P y LC, respectivamente, comparados con MN. El pH del suelo no fue afectado significativamente por los sistemas de labranza. La estabilidad estructural fue la propiedad más sensible al manejo del suelo, siguiendo una secuencia decreciente desde el monte natural hasta el laboreo convencional, que representa el máximo nivel de degradación física entre las situaciones estudiadas. La estabilidad estructural estuvo fuertemente asociada al carbono orgánico en todas las situaciones, excepto en el suelo bajo pastura donde el efecto físico de las raíces fue más importante que el contenido de materia orgánica del suelo. La infiltración básica en los suelos con SD y P fue significativamente mayor que en LC. De todos modos, la infiltración del suelo virgen de MN fue significativamente mayor que en las otras tres situaciones. Un comportamiento similar tuvieron los suelos con respecto a la conductividad hidráulica. La macroporosidad no difirió entre tratamientos, pero también fue significativamente más alta en el monte natural virgen. La falta de recuperación de estos tres parámetros con respecto al monte natural indica el bajo nivel de recuperación de los suelos estudiados. Sin embargo, debido a la naturaleza seca subhúmeda y semiárida de la región, las diferencias en la infiltración entre los sistemas conservacionistas y convencionales producen un aumento en el almacenaje de agua, que es una variable vital para el desarrollo adecuado de los cultivos.

Palabras clave. Siembra directa, soja, degradación física, manejo.

PHYSICAL AND CHEMICAL DEGRADATION OF A TYPIC HAPLUSTOLL UNDER DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS

ABSTRACT

In the province of Tucumán there was a great process of expansion of the farming borders to dry sub humid and semi-arid areas. This process led to the physical, chemical and biological degradation of the soils. The objective of this work was to determine the long term effects of different tillage systems on physical and chemical degradation of a Typic Haplustoll and its relationship with hydraulic properties related to water storage. In a tillage experiment established 20 years ago soybean under no till and conventional tillage, gramineous pastures (P) and natural forest (MN), the following properties were studied: organic carbon (CO), extractable phosphorous (Pe), cationic exchange capacity (CIC), pH, bulk density (DA), structural stability (EE), hydraulic conductivity (Ksat), basic infiltration (Ibas) and pores greater than 0,25 mm. There were significative differences in CO and CIC between LC and treatments P and SD, but also between P and SD with MN. Pe contents were 28, 16 and 14% for SD, P and LC respectively in relation to MN. Soil pH was not affected by the different tillage systems. The structural stability was the property that appeared to be more sensitive to the soil tillage in a decreasing sequence from the natural forest to the conventional tillage, that represents the greatest level of physical degradation among the studied situations. This variable was strongly associated to the organic carbon except in the soil pasture, where the physical effect of the roots was much more important than the soil organic matter content. The basic infiltration in soils with no till and pastures was significantly higher than in conventional tillage even though in the three systems it was inferior to the values of the natural forest. Basic infiltration, hydraulic conductivity and macroporosity showed the low level of recuperation of the studied soils. However, due to the subhumid dry and semi- arid nature of the region, the difference in the values of infiltration between the soils with no till and pastures in relation to conventional tillage showed that the implementation of conservationist practices can increase the water storage that is a key variable to the appropriate crop development.

Key words. No tillage, soybean, physical degradation, management-

INTRODUCCIÓN

En la provincia de Tucumán, actualmente 200.000 hectáreas se destinan al monocultivo de soja, de las cuales 80% se ubican en áreas secas subhúmedas y semiáridas. En la región, especialmente en el sector de la Llanura Chacopampeana con precipitaciones inferiores a 700 mm anuales, existen dos elementos naturales que le confieren un alto grado de fragilidad al sistema: el clima y el suelo.

El clima varía de seco subhúmedo cálido a semiárido cálido, con 80% de las precipitaciones concentradas entre octubre y abril y con eventos pluviales de alta intensidad. Existe una estación seca con seis meses de marcada aridez (Torres Bruchmann, 1972). Los suelos zonales de la Llanura Chacopampeana, según Fadda (1968) y Zuccardi y Fadda (1972) están desarrollados sobre materiales de origen eólico y se clasifican como Haplustoles típicos y énticos. El comportamiento mecánico de los mismos está determinado por la presencia dominante de la fracción limo fino (de 2 a 20 micrómetros) en todo el perfil de suelo. El régimen hídrico de los suelos es subpercolativo y no alcanzan nunca su máxima capacidad de almacenaje de agua, por lo que las prácticas que aumenten este almacenaje son importantes para el buen desarrollo de los cultivos (Zuccardi *et al.*, 1994).

Zuccardi *et al.* (1988) señalaron procesos de degradación física, química y biológica de los suelos de la región con una importante disminución de los contenidos de carbono orgánico total y liviano, así como de los valores de estabilidad estructural, conductividad hidráulica e infiltración con respecto a los años de agricultura. Los productores de la región, buscando atenuar la disminución de rendimientos de los cultivos como consecuencia de la pérdida de productividad de los suelos, incorporaron gradualmente el laboreo mínimo y la siembra directa. Aunque está probada la superioridad de los sistemas conservacionistas sobre los convencionales en la mejora de la mayoría de las propiedades físicas, químicas y biológicas (Pilatti *et al.*, 1988; Angers *et al.*, 1993; Lal *et al.*, 1994); esta mejora está asociada a las condiciones climáticas y de suelo (Buschiazzo *et al.*, 1998).

Edwards *et al.* (1988) encontraron que la siembra directa, durante un período de 28 años, mejoró la agregación y aumentó la cantidad de macroporos continuos en un suelo franco limoso de Ohio. Este aumento en la proporción de macroporos implica una mayor infiltración. Dardanelli (1998) señaló una mejor captación de agua en siembra directa con respecto a laboreo convencional en un ensayo de labranza implementado en 1983 sobre un Haplustol entico de textura franco limosa de la provincia de Córdoba.

En suelos similares de la misma región de Tucumán, después de seis años de siembra directa se mejoró la

estabilidad estructural, el contenido de carbono orgánico, el almacenaje de agua y el rendimiento de la soja, comparada con el laboreo convencional. Sin embargo, se observó un aumento en la resistencia a la penetración y en la densidad aparente en la capa superficial del suelo (Sánchez *et al.*, 1998).

La hipótesis de este trabajo fue que, aunque la incorporación de prácticas conservacionistas en la región logró disminuir el impacto negativo sobre la mayoría de las propiedades edáficas, pero por la naturaleza del ecosistema, el nivel de recuperación de estos suelos, en comparación con los suelos vírgenes, es muy bajo.

Actualmente en el noroeste argentino, la frontera agropecuaria está avanzando sobre áreas aún más marginales, con regímenes hídricos más deficitarios y sobre suelos con menores contenidos de materia orgánica y con menor estabilidad estructural. Es por ello que resulta importante estudiar algunos parámetros edáficos indicadores de sustentabilidad luego de un largo período de tiempo de introducción de prácticas conservacionistas que se utilizan hoy como parte de un paquete tecnológico similar para las distintas zonas productoras de granos de la Argentina.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de 20 años de distintos sistemas de manejo en comparación con el suelo virgen sobre el nivel de degradación física y química del suelo y su relación con algunas propiedades hidráulicas que tienen importancia en el almacenaje de agua de un Haplustol típico de la región seca subhúmeda de la provincia de Tucumán.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un Haplustol típico de textura franco limosa en todo el perfil de suelo, que está ubicado a 26° 49' LS y 64° 51' LW en la región de la Llanura Chacopampeana seca subhúmeda de la provincia de Tucumán.

El ensayo de labranzas se inició en 1982 y el de pasturas 3 años más tarde. Los tratamientos evaluados fueron los siguientes:

SD: 20 años de siembra directa en monocultivo de soja. Estas parcelas se caracterizaron por el buen control de plagas, enfermedades y malezas.

LC: 20 años de laboreo convencional en monocultivo de soja. En los primeros años se utilizó el arado de discos y/o la rastra pesada como labor primaria y luego rastra liviana, y en los últimos años se usó cincel como labor primaria y luego rastra liviana para terminación de la cama de siembra.

P: 17 años de pastura de gramíneas (*Panicum maximum*, *Eragrostis curvula*, *Cenchrus ciliare* y *Chloris gayana*), sin pastoreo directo.

MN: monte natural, de vegetación xerófila, con las especies arbóreas de mayor porte escasas actualmente por años de extracción gradual de madera. Algunas de estas especies son el

Quebracho colorado (*Schinopsis quebracho colorado*) y el Quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho blanco*). Existe también un estrato arbustivo alto, numerosas cactáceas y una cobertura herbácea variable según la densidad del monte. Esta situación fue tomada como testigo porque es representativa de las áreas aún no incorporadas a la producción agrícola o ganadera en la región de la Llanura Chacopampeana de la provincia de Tucumán y se considera que tiene el mínimo nivel de degradación entre las situaciones estudiadas.

El diseño experimental fue en bloques al azar con cuatro repeticiones en parcelas de 20 x 35 m y entre las prácticas de manejo no se incluyó el uso de fertilizantes.

Se determinó densidad aparente (DA) (Blake & Hartge, 1986) extrayendo las muestras con cilindros de 230 cm³ en tres profundidades (0-10 cm; 10-20 cm y 20-30 cm) inmediatamente después de la cosecha de soja con un contenido de humedad de aproximadamente el 60% de la capacidad de campo. En la misma época se extrajeron muestras para determinar estabilidad estructural (EE) (0 a 10 cm) como cambio en el diámetro medio ponderado (CMDP) entre tamizado en seco y en húmedo (De Boodt & De Leenher, 1967), y cálculo analítico según metodología de Santanoglia y Fernández (1982). Descartados los agregados mayores a 8 mm, el tamizado en seco se hizo con tamices de 4,76 mm; 3,35 mm y 2 mm; mientras que para el tamizado en húmedo se adicionaron tamices de 1mm; 0,5 mm y 0,25 mm. También se determinó un índice de estabilidad (IE) a través del número de gotas necesarias para romper un agregado de entre 1 y 2 mm y con diámetro de gota de 4, 7 mm a una altura de 0,3 m (Mc Calla, 1944), para lo cual se hicieron 40 repeticiones dentro de cada bloque. La conductividad hidráulica saturada (Ksat) se determinó en laboratorio por carga hidráulica constante con seis cilindros por vez (Klute and Dirksen, 1986) sobre muestras no disturbadas extraídas de 0 a 10 cm de profundidad. La infiltración de agua se midió con infiltrómetro de doble anillo, utilizando una lámina inicial de 20 cm en ambos anillos y reponiendo la misma hasta alcanzar una infiltración constante. La infiltración básica fue calculada con la ecuación de Kostikov ($I_b = K \cdot t^n$, donde K y n se calculan a partir de las infiltraciones instantáneas producidas en los tiempos t). La macroporosidad fue determinada a partir de la diferencia entre la infiltración a succión cero y la tasa de infiltración a succión -3 cm (Watson and

Luxmoore, 1986) con un infiltrómetro de tensión, que tiene tres componentes principales: un tubo de entrada de aire que sirve para regular la tensión en el sistema, un tubo reservorio de agua y el disco permeámetro que está en contacto con el suelo. Conductividad hidráulica, infiltración y macroporosidad fueron determinadas con seis repeticiones dentro de cada bloque. Además se hicieron las siguientes determinaciones analíticas: carbono orgánico (CO) (Walkley and Black, 1934); capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Bower, 1952); fósforo extractable (PE) (Bray and Kurtz, 1945) y pH con electrodo de vidrio en muestras tomadas de 0-10 cm de profundidad. Para estas variables las medias de cada bloque estuvieron representadas por muestras compuestas constituidas cada una por 16 submuestras.

Para cuantificar la variabilidad se realizaron análisis de la varianza. La comparación de medias se realizó por medio del test de Tukey (P < 0,05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 contiene los valores absolutos de algunas propiedades químicas de la capa superficial del suelo (0-10 cm) para cada uno de los sistemas de manejo estudiados y los valores relativos expresados como porcentaje con respecto a MN, que es la situación tomada como testigo. Las parcelas en SD y P mostraron un nivel de CO significativamente mayor que las parcelas en LC. Aún así esto representó una reducción del 25% para SD y del 34% para LC comparados en el suelo de MN. Reducciones del orden del 21% de CO fueron reportados por García *et al.* (1993) para 10 años de agricultura con laboreo convencional con respecto a situaciones prístinas en suelos de la zona.

La CIC resultó fuertemente correlacionada con el nivel de CO ($r = 0,93$) por lo que las diferencias fueron significativas entre los mismos tratamientos.

TABLA 1. Carbono orgánico (C.O.), capacidad de intercambio catiónico (CIC), fósforo extractable (Pe) y pH en los distintos sistemas de manejo de suelo: monte natural (MN); pastura de gramíneas (P); siembra directa (SD); labranza convencional (LC). Letras diferentes indican diferencias significativas en cada columna (Tukey p < 0,05).

TABLE 1. Organic carbon (C.O.), cationic exchange capacity (CIC), extractable phosphorus (Pe) and pH in the different soil management systems (natural forest (MN); graminaceous pasture (P); no-till (NT); conventional tillage (LC)). Different letters in each column show significant differences (Tukey p < 0,05).

Manejo	C.O.		CIC		Pe		pH
	g. kg ⁻¹	%	cmol. kg ⁻¹	%	mg. kg ⁻¹	%	
MN	24,1 ^a	100	22,3 ^a	100	34,0 ^a	100	7,1 ^a
P	17,8 ^b	74	19,1 ^b	86	5,5 ^c	16	6,7 ^b
SD	18,1 ^b	75	18,2 ^b	82	9,4 ^b	28	6,6 ^b
LC	15,8 ^c	66	16,1 ^c	72	4,9 ^c	14	6,8 ^b

El PE en las parcelas MN resultó casi cuatro veces superior a SD, que a su vez fue significativamente mayor que LC y P, con valores relativos con respecto al testigo de 28, 16 y 14% para SD, P y LC, respectivamente. De cualquier manera los valores de PE en SD estuvieron por debajo de los niveles de respuesta a la fertilización fosfatada para soja en la región. Por el contrario, García *et al.* (1999) no encontraron diferencias significativas de PE entre SD y LC en un Haplustol típico de la región y se lo atribuyeron a que la duración del ensayo (seis ciclos agrícolas) no fue suficiente para expresar el efecto del manejo del suelo sobre los niveles de PE. Díaz Zorita *et al.* (2004) encontraron una menor concentración de PE en SD que en labranzas con rejas o cincelos luego de 12 años de estas prácticas en un Hapludol de la provincia de Buenos Aires. Esto se explicaría por el aporte de la fracción orgánica como consecuencia de la mayor tasa de mineralización.

Los valores de pH no resultaron diferentes entre SD, LC y P, pero sí entre estos y MN. La falta de efecto de la labranza sobre el pH fue señalada por Díaz Zorita (1999) para un Hapludol del noroeste de Buenos Aires, lo que atribuyó a que no se observaron cambios significativos en los contenidos y la distribución del CO total comparando seis años de SD vs LC con la situación inicial. Tampoco encontraron efectos de la labranza sobre la

acidez del suelo Sánchez *et al.* (1998) en un ensayo de seis años de antigüedad en un Haplustol típico franco limoso del este tucumano.

A la profundidad de 5 cm no hubo diferencias estadísticamente significativas en DA entre SD, LC y P, con valores que resultaron ser significativamente superiores al suelo de MN (Figura 1). Sin embargo, en suelos similares de la zona se reporta una mayor DA en SD que en LC lo que atribuyeron al «acomodamiento» natural de las partículas y agregados de suelo por la falta de laboreo durante un largo período (Sánchez *et al.*, 1998). Buschiazzo *et al.* (1998) no encontraron diferencias entre ambos sistemas de manejo en suelos de la Pampa semiárida argentina. Lal (1976) en cambio, reportó una DA menor en SD con respecto a LC, como consecuencia de la mayor actividad biológica generada en el sistema conservacionista, especialmente por acción de las lombrices. A la profundidad de 15 cm la DA aumentó significativamente en LC como consecuencia del «piso de rastra» provocado por el laboreo. Esta capa compactada fue señalada por García *et al.* (1996) como la principal causa de la disminución de la infiltración en los suelos del este tucumano. Entre SD y P no se detectaron diferencias a esta profundidad, mientras que MN mostró los valores más bajos en todo el rango de profundidad. Más abajo de la capa compactada (25 cm de profundidad) no

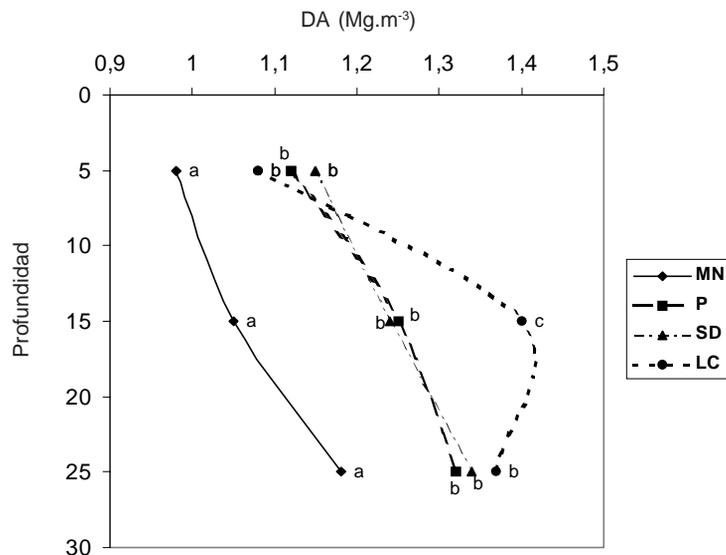


FIGURA 1. Efecto de los distintos sistemas de manejo del suelo (monte natural (MN); pastura de gramíneas (P); siembra directa (SD); labranza convencional (LC)) sobre la densidad aparente. Letras distintas en cada profundidad indican diferencias significativas (Tukey $p < 0,05$).

FIGURE 1. Effect of different soil management systems (natural forest (MN); gramineous pasture (P); no-till (NT); conventional tillage (LC)) in the bulk density. Different letters in each depth show significant differences (Tukey $p < 0,05$).

hubo diferencias estadísticamente significativas entre SD, LC y P, aunque sí de éstos con respecto a MN.

La estabilidad de los agregados expresada como CDMP, que es un índice inverso de estabilidad, fue sensiblemente menor en MN y P con respecto a los otros manejos, los cuales a su vez se diferenciaron significativamente entre ellos con una mayor estabilidad estructural para SD comparada con LC (Tabla 2). Una secuencia decreciente de estabilidad fue señalada por Gudelj y Masiero (2000) para un suelo de textura franco limosa de Marcos Juárez, determinando índices de estabilidad relativa de 54% para una pradera de 5 años y 25% para una combinación de 5 años de SD y 20 de LC en comparación con un suelo virgen al que se le asignó un índice de estabilidad de 100%.

TABLA 2. Cambio en el diámetro medio ponderado de los agregados para los distintos manejos de suelo. Letras diferentes indican diferencias significativas en cada columna (Tukey $p < 0,05$).

Table 2. Change in mean weight diameter of aggregates of different soil management. Different letters in each column show significant differences (Tukey $p < 0,05$).

Manejo	CDMP (mm)
MN	0,42 ^a
P	0,59 ^a
SD	0,81 ^b
LC	1,35 ^c

Sánchez *et al.* (1998) encontraron que, en el suelo virgen, después de seis años de incorporado el cultivo en sistemas de SD o LC, la estabilidad estructural se redujo a la mitad y hasta seis veces, respectivamente. Con el IE que mide la resistencia individual de un agregado al impacto de la gota de lluvia; en este caso los resultados fueron similares. Al suelo de MN se le asignó un valor de 1 y a los otros suelos un valor de EE relativo a este suelo virgen en función del número de gotas necesarias para romper un agregado. Los valores más altos indican mayor estabilidad de agregados frente al impacto de la gota. El suelo de P mostró un IE de 1,04 que no difirió significativamente de MN, mientras que entre estas dos situaciones y las de los suelos agrícolas si hubo diferencias con valores de 0,45 y 0,29 para SD y LC, respectivamente. La resistencia individual de los agregados al impacto de la gota depende de la energía cinética de la gota de lluvia (Bubenzer and Jones, 1971), de la humedad antecedente de los agregados y la estabilidad de los mismos (Farres, 1987). Bradford *et al.* (1987) encontraron que la resistencia a la energía cinética de la gota y el contenido de limo fueron los factores que mejor predijeron la ruptura trabajando sobre 19 series de suelo que variaron en un amplio rango de texturas en el horizonte superficial.

En la Figura 2 se observa que el índice de estabilidad estructural estuvo relacionado al nivel de CO del suelo, excepto en el suelo con P donde la estabilidad de agregados pareció ser mas una consecuencia de la acción física de las raíces que de la cantidad de materia orgánica presente. Este efecto de las raíces había sido estudiado por Sanzano *et al.* (1997) quienes determinaron una

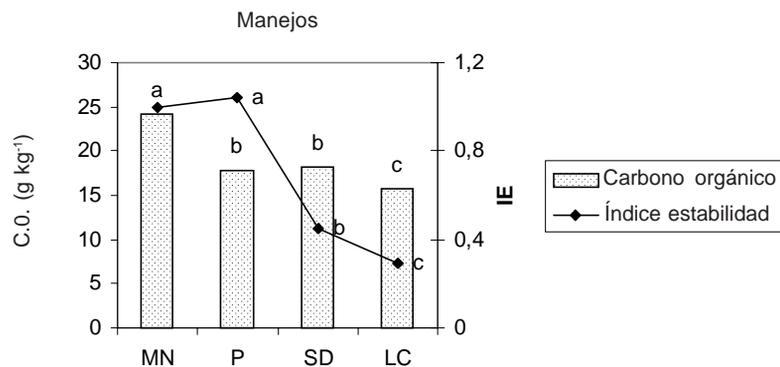


FIGURA 2. Contenido de carbono orgánico e índice de estabilidad estructural de las distintas situaciones de manejo de suelo. MN = monte natural; P = pastura de gramíneas; SD = siembra directa; LC = labranza convencional. Letras distintas indican diferencias significativas entre los distintos sistemas de manejo de suelo (Tukey $p < 0,05$).

FIGURE 2. Organic carbon content and structural stability indice of different soil management. MN = natural forest; P = gramineous pasture; SD = no-till; LC = conventional tillage. Different letters indicate significant differences (Tukey $p < 0,05$).

mayor EE para suelos de la región después de 15 años de pasturas permanentes de gramíneas con respecto al suelo virgen de monte natural. El sistema radicular de las gramíneas es eficiente en la estabilización de los agregados porque sostienen poblaciones importantes de micorrizas, cuyas hifas se cubren de polisacáridos que unen entre sí a las partículas de arcilla (Tisdall and Oades, 1979).

Las diferencias en la estabilidad de agregados entre sistemas conservacionistas y convencionales pueden ser atribuidas a varias razones: por un lado el mantenimiento de un nivel de CO en el suelo actúa como sustancia ligante de las partículas minerales que permite la existencia de un mayor porcentaje de agregados estables y por otro lado a que el sistema de SD en soja deja un rastro de baja relación C/N que permite un incremento en la agregación siempre que se depositen en la superficie volúmenes altos de residuo, aún cuando este efecto sea de corta duración por la gran tasa de mineralización de los mismos (Boyle *et al.*, 1989) y por las condiciones ambientales que favorecen esta rápida descomposición (Corbella *et al.*, 2000).

La estabilidad estructural fue la propiedad que se mostró más sensible al manejo del suelo en una secuencia decreciente desde MN como situación testigo con suelo virgen. Sanzano (2001) evaluando procesos de erosión hídrica en suelos de la misma región reportó que la EE expresada como la resistencia individual de los agregados al impacto de la gota de lluvia fue la variable

que mejor pudo explicar las pérdidas de suelo por salpicadura, mientras que las pérdidas de suelo por escurrimiento superficial también fueron explicadas principalmente por la estabilidad de los agregados y ello ocurrió independientemente de los métodos empleados para evaluarla.

La IB determinada con infiltrómetro de doble anillo varió significativamente entre los distintos sistemas de manejo (Figura 3). Aún cuando los valores de IB en SD y P (6,8 y 8,1 cm h⁻¹ respectivamente) resultaron significativamente superiores a los de LC (3,2 cm h⁻¹), fueron muy inferiores a MN (18,2 cm h⁻¹). El laboreo continuo del suelo en el este tucumano degradó la estructura superficial y generó capas subsuperficiales compactadas que constituyen un impedimento para el movimiento de agua hacia el interior del suelo (García *et al.*, 1996). La continuidad de los macroporos generada en suelos no laboreados aumenta la infiltración. Esos macroporos se transforman en importantes canales de flujo preferencial de agua (Edwards *et al.*, 1988;) y son muy estables (Lal and Vandoren, 1990). Los valores iniciales de infiltración fueron mayores en un suelo con labranza reducida de Marcos Juárez en comparación con SD, pero luego de transcurrido un tiempo esta relación se invirtió como consecuencia del estado estructural del suelo que se alcanzó con este sistema (Marelli, 1998).

La relación entre precipitación diaria-precipitación efectiva para sistemas de LC y SD obtenida en suelos de

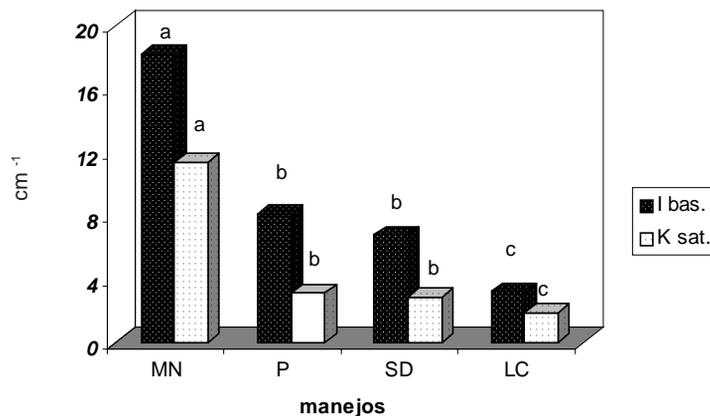


FIGURA 3. Infiltración básica (Ibas) y conductividad hidráulica (Ksat) en las distintas situaciones de manejo de suelo. MN = monte natural; P = pastura de gramíneas; SD = siembra directa; LC = labranza convencional. Letras distintas indican diferencias significativas entre los distintos sistemas de manejo de suelo (Tukey $p < 0,05$).

Letras distintas en barras iguales indican diferencias significativas para $p < 0,05$.

FIGURE 3. Basic infiltration (Ibas) and hydraulic conductivity (Ksat) in different soil management. MN = natural forest; P = gramineous pasture; SD = no-till; LC = conventional tillage.

Different letters in equal bars indicate significant differences for $p < 0,05$.

Manfredi, de características muy parecidas a las del este de Tucumán, indican que SD es capaz de captar más agua de lluvias que LC (Dardanelli, 1998). De cualquier modo la pérdida de la capacidad de captar agua en cualquier sistema de producción con relación al suelo virgen es una variable que se debe tener en cuenta en forma especial en esta región. El balance hídrico es deficitario y los suelos nunca alcanzan la máxima capacidad de almacenaje de agua, por lo tanto las prácticas que aumentan la infiltración y el almacenaje de agua son muy importantes en las regiones secas subhúmedas y semiáridas (Zuccardi *et al.*, 1994).

La Ksat fue menor en LC (1,91 cm h⁻¹) con respecto a P (3,12 cm h⁻¹) y SD (2,85 cm h⁻¹), sin embargo no hubo diferencias significativas entre ellos. La Ksat en MN (11,41 cm h⁻¹) fue estadísticamente diferente al resto de los tratamientos y estuvo correlacionada positivamente con la IB (r=0,91).

Las diferencias en Ksat entre la situación prístina y los suelos agrícolas de la región fue señalada por García *et al.* (1993), con una disminución promedio del 94% luego de 10 años de agricultura. Resultados similares fueron reportados por Aoki y Sereno (2000) en un Haplustol típico de textura franco limosa.

La macroporosidad fue considerada, en este estudio, como los poros comprendidos entre una succión de 0 y - 3 cm generada por el infiltrómetro de tensión (Lin and McInnes, 1995). El mayor porcentaje de macroporos en relación a la porosidad total correspondió a MN (9%), mientras que entre P, SD y LC no hubo diferencias significativas (5%). El % de macroporos no presentó una buena correlación con IB y Ksat. El laboreo del suelo durante 10 años de monocultivo de soja en un Haplustol típico franco limoso de la provincia de Córdoba disminuyó sensiblemente el número de macroporos, pulverizando el suelo y degradando su estructura (Aoki y Sereno, 2000). Para Edwards *et al.* (1988) los macroporos, especialmente los biocanales o bioporos generados por las lombrices, fueron importantes canales para la infiltración rápida del agua. En cambio, en este trabajo la mayor macroporosidad solo pudo explicar el aumento en la infiltración y la conductividad hidráulica de MN con respecto a P, SD y LC, pero no las diferencias observadas en estas variables entre los distintos sistemas de manejo del suelo.

CONCLUSIONES

Las prácticas conservacionistas, en el largo plazo, mejoraron las propiedades físicas y químicas de los suelos evaluados.

Los tratamientos de siembra directa y pastura tuvieron mayor infiltración del agua en el suelo que labranza convencional.

Estos suelos, comparados con el suelo virgen, mostraron un nivel de degradación significativa. La estabilidad estructural fue una variable muy sensible al manejo del suelo, por lo que se sugiere la determinación de la misma con carácter predictivo para futuras evaluaciones del nivel de degradación física y/o riesgo de erosión hídrica en suelos de similares características de la región.

La ampliación de la frontera agropecuaria en el noroeste argentino está incorporando al cultivo regiones semiáridas marginales, con suelos más pobres en materia orgánica y con menos estabilidad estructural, por lo cual es probable que las prácticas conservacionistas utilizadas como parte de paquetes tecnológicos adecuados a otras regiones no puedan mantener una producción sustentable.

Agradecimiento

Agradecemos a la Lic. Silvia Kind de Corbella por su colaboración en este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Angers, DA; A N dayegamiye & D Cote. 1993. Tillage- induces differences in organic matter of particle- size fractions and microbial biomass. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 512-516.
- Aoki, AM & R Sereno. 2000. Macro y mesoporosidad de un suelo Haplustol típico bajo diferente condición de manejo con infiltrómetro de tensión. C.A.C.S. Mar del Plata. C. N° 8.
- Blake, GR & KH Hartge. 1986. Bulk density. En Klute A. (ed) *Methods of Soil Analysis. Part. 1. Agronomy Monograph N° 9 Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin.* 363-375.
- Bower, CA; RF Reitemeier & M Fireman 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Sci* 73: 251-261.
- Boyle, M; WT Frankberger & LH Stolzy. 1989. The influence of organic matter on soil aggregation and water infiltration. *J. Prod. Agric.* 2, 290-298.
- Bradford, JM; JE Ferris & PA Remley. 1987. Interrill soil erosion processes: II. Relationship of splash detachment to soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 1571-1575.
- Bray RH & LT Kurtz 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorous in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.
- Bubbenzer, GD & BA Jones Jr. 1971. Drop size and impact velocity effects on the detachment of soils under simulated rainfall. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 14: 625-628.
- Buschiazzo DE; JL Panigatti & PW Unger. 1998. Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. *Soil & Tillage Research* Vol. 49 (1-2) pp. 105-116.
- Corbella, RD; GS Fadda & JR García. 2000. Pérdidas de residuos de soja y maíz en distintos sistemas de manejo en suelos de la provincia de Tucumán. *International Soil Conference Organization (ISCO).* Buenos Aires. Argentina.

- Dardanelli, J. 1998. Eficiencia en el uso del agua según sistemas de labranzas. *En*: JL Panigatti; H Marelli; D Buzchiazzo; R Gil. Siembra Directa. INTA. Ed. Hemisferio Sur. 107- 115.
- De Leenheer, L. & M De Boodt. 1967. Determination of aggregate stability by the change in mean weight diameter. *En*: Proc. Int. Symp. of soil structure. Gent. Belgica. 290-300.
- Díaz-Zorita, M. 1999. Efectos de seis años de labranzas en un Hapludol del noroeste de Buenos Aires, Argentina. *Ciencia del Suelo* 17 (1) 31-36.
- Díaz-Zorita, M; M Barraco & C Alvarez. 2004. Efectos de doce años de labranzas en un Hapludol del noroeste de Buenos Aires, Argentina. *Ciencia del Suelo* 22 (1) 11-18.
- Edwards, WM; LD Norton & CE Redmond. 1988. Characterizing macropores that affect infiltration into nontilled soil. *Sci. Soc. Am. J.* 52: 483-487.
- Fadda, GS. 1968. Etude d'une séquence climatique dans la province de Tucumán (Argentine). *Pedologie*, XVIII,3 : 301-321.
- Farres, PJ. 1987. The dynamics of rainsplash erosion and the role of aggregate stability. *Catena*, 14: 119-130.
- García, JR; C Bleckwedel; D Giménez; MR Cáceres & AM Pietroboni. 1993. La degradación de los suelos agrícolas del Este Tucumano. *Actas XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*. Salamanca-España. 1280-1285.
- García, JR; R Giménez; GA Sanzano & RD Corbella. 1996. Influencia en la infiltración de agua, de la capa superficial y subsuperficial de un Haplustol éntico de la Llanura Chacopampeana semiárida. XIII C.L.C.S. Aguas de Lindoia-Brasil. Com. 1 N° 35.
- García, JR; RD Corbella; GS Fadda; MR Cáceres & H Sánchez. 1999. Estudio del efecto de distintas labranzas y rotaciones sobre las propiedades físicas y químicas de un suelo de la Llanura Chaco Pampeana Tucumana. XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Pucón- Chile. Com VIII. N° 24.
- Gudelj, O & B Masiero. 2000 a. Efecto del manejo del suelo sobre su estabilidad estructural. C.A.C.S. Mar del Plata. Com. I. N° 40.
- Klute A & C Dirksen. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. *En* Klute A. (ed) *Methods of Soil Analysis*. Part. 1. Agronomy Monograph N° 9 *Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin*. 687-734..
- Lal, R. 1976. No-tillage effects on soil properties under different crops in western Nigeria. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40: 242-245.
- Lal, R & D Vandoren. 1990. Influence of 25 years of continuous corn production by three tillage methods on water infiltration of two soils in Ohio. *Soil Till. Res.* 16:71-74.
- Lal, R; AA Mahboubi & NR Fausey. 1994. Long-term tillage and rotations effects on properties of a Central Ohio soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 517-522.
- Lin HS & KJ McInnes. 1995. Water flow in clay soil beneath a tension infiltrometer. *Soil Sci.*, 159 (6), 375-382.
- Marelli, H. 1998. La siembra directa como práctica conservacionista. *En*: JL Panigatti; H Marelli; D Buzchiazzo; R Gil. Siembra Directa. INTA. Ed. Hemisferio Sur. 127-139.
- McCalla, TM. 1944. Water-drop method of determining stability of soil structure. *Soil Science* 58: 117-121.
- Pilatti, MA; JA Orellana; LJ Priano; OM Felli & DA Grenon. 1988. Incidencia de manejos tradicionales y conservacionistas sobre propiedades físicas, químicas y biológicas de un argiudol en el sur de Santa Fe. *Ciencia del Suelo*. Volumen 6 N°1, 19-29.
- Sánchez, HA; JR García; MR Cáceres & RD Corbella. 1998. Labranzas en la Región Chacopampeana Subhúmeda de Tucumán. *En*: JL Panigatti; H Marelli; D Buzchiazzo; R Gil. Siembra Directa. INTA. Ed. Hemisferio Sur. 245-256.
- Santanatoglia, OJ & N Fernández. 1982. Modificación del método de De Boodt y De Leenheer para el análisis de la distribución de agregados y efecto del tipo de embalaje y acondicionamiento de la muestra, sobre la estabilidad estructural. *Revista de Inv. Agrp.* INTA. Bs. As. Rep. Arg. Vol XVII N° 1. Pp: 23-31.
- Sanzano, GA; GS Fadda & MR Cáceres. 1997. Influencia de las pasturas en algunas propiedades de suelos del Noroeste Argentino. *Revista Ind. y Agrícola de Tucumán* 74 (1-2): 65-69.
- Sanzano, GA. 2001. Los procesos de erosión entresurcos y la selectividad del tamaño de partículas en un Haplustol típico en distintas situaciones de manejo de suelo. Tesis de Magíster UBA. 133 pp.
- Tisdall, JM & JM Oades. 1979. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. *Aust. J. Soil Res.* 17: 429-441.
- Torres Bruchman, EB. 1972. Mesoclimas de la provincia de Tucumán. *Rev. Agron. N.O. Argent.* IX (3-4): 527- 544.
- Walkley, A & A Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-38
- Watson, KW & RJ Luxmore. 1986. Estimating macroporosity in a forest watershed by use of a tension infiltrometer. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44, 892-898.
- Zuccardi, RB & GS Fadda. 1972. Regiones áridas y semiáridas de la provincia de Tucumán. Caracteres edafológicos y agrológicos. *Rev. Agron. N.O. Argent.* IX (2): 327- 341.
- Zuccardi, RB; JR García; C Molina; MCáceres; D Giménez & GA Sanzano. 1988. La expansión de la frontera agropecuaria y los impactos sobre el ecosistema de la provincia de Tucumán. (F.E.C.I.C editor). 225- 232.
- Zuccardi, RB; JR García; GA Sanzano & R Giménez. 1994. Dinámica del agua edáfica en dos ecosistemas de la región semi-árida Tucumana. *Rev. Agron. N.O. Argent.* XXVII (1-4). 77-90.