

## CONDICIÓN FÍSICA DE SUELOS EN DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO AGRÍCOLAS DEL CENTRO SUR DE CÓRDOBA

BALTAZAR JORGE PARRA<sup>1,2,3</sup>; ANALÍA ROSA BECKER<sup>1</sup> & MARIO PABLO CANTÚ<sup>1</sup>

Recibido: 22-06-10

Recibido con revisiones: 02-06-11

Aceptado: 04-06-11

### PHYSICAL CONDITION OF AGRICULTURAL SOILS UNDER DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS IN SOUTH-CENTRAL CÓRDOBA

#### ABSTRACT

Numerous degradation processes affect the soil in the south central province of Córdoba, being physical processes among the most important ones. Our objective was to characterize the physical condition of General Deheza Typic Haplustolls. Eleven sites from the area were selected, two under low disturbed conditions (NAT) and nine cultivated sites under the predominant soil use and management in the area. These nine sites were clustered through surveys in: SD: no tillage, SDMn1: no tillage except peanut, SDMn2: similar to SDMn1 with paratill or disk harrow tillage every two or three years, LR: disk harrow and chisel tillage. Soil properties measured in Ap and Bw horizons were: organic carbon (CO), bulk density (DA), maximum compaction (DAm<sub>ax</sub>) and critical water content (HC), basic infiltration rate (VIB), mean weight diameter of water stable aggregates (DMP) and their percentage (%AE). In SD, CO was concentrated in the Ap horizon. NAT had the lower DA and the rest of the treatments did not differ among each other. DA was lower in Ap horizons than in Bw horizons. DAm<sub>ax</sub> and HC were related negatively and positively respectively. The CO vs. DAm<sub>ax</sub> relationship was only significant at 10 g kg<sup>-1</sup> or higher CO values. Both DMP and %AE were higher in NAT; within the cultivated sites DMP and %AE were higher for SD, although %AE from SD did not differ statistically from LR. The VIB was significantly higher in NAT than in SDMn2 and SD, and LR with SDMn1 had the minimum value. Agriculture management systems affected the soil physical condition in south central Córdoba mainly through a change in the distribution of organic carbon.

**Key words.** Soil physics, compaction, Haplustolls, no tillage.

#### RESUMEN

El suelo del centro sur de la provincia de Córdoba es afectado por diferentes procesos de degradación destacándose entre ellos los físicos como la compactación. Nuestro objetivo fue caracterizar la condición física del suelo, comparándola con una situación de mínima alteración (NAT). Se seleccionaron once sitios: dos de referencia (NAT) y nueve que se agruparon en siembra directa (SD); Siembra directa con maní 1 (SDMn1): cultivos bajo SD excepto el maní. Siembra directa con maní 2 (SDMn2): como SDMn1 pero con remociones eventuales y Labranza Reducida (LR). Se determinó: carbono orgánico (CO), densidad aparente (DA), compactación máxima (DAm<sub>ax</sub>), contenido de humedad crítico (HC), velocidad de infiltración básica (VIB), diámetro medio ponderado de agregados estables en agua (DMP) y su porcentaje (%AE). Estas variables se analizaron en los horizontes A y Bw, excepto la estabilidad de agregados que solamente se determinó en el A. El CO en SD se concentró en el horizonte superficial. DA fue menor en NAT y en el horizonte Ap, no se observaron diferencias entre sistemas antropizados. En cuanto a la DAm<sub>ax</sub> y HC en general estuvieron vinculadas al CO. La relación entre CO y DAm<sub>ax</sub> se manifestaría solamente con CO mayores que 10 g kg<sup>-1</sup>. El DMP y el %AE fueron superiores en NAT, y dentro de los sistemas agrícolas en SD aunque el %AE de este sistema no fue estadísticamente diferente de LR. La VIB fue mayor en NAT difiriendo de SDMn2 y SD y estos a su vez de SDMn1 y LR. Los sistemas de manejo agrícolas evaluados afectaron la condición física del suelo del centro sur de Córdoba principalmente a través de un cambio en la distribución del carbono orgánico.

**Palabras clave.** Física de suelos, compactación, Haplustoles, siembra directa.

1 Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas, Físico-químicas y Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto.

2 Departamento de Ecología Agraria, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto.

3 CONICET. Autor para correspondencia: [bparr@ayv.unrc.edu.ar](mailto:bparr@ayv.unrc.edu.ar)

## INTRODUCCIÓN

El sistema de manejo de tierras afecta las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos por lo tanto es de esperar que ante cambios en el manejo estas se modifiquen. En la Argentina a partir de la década pasada surgió como principal método de manejo la siembra directa, y desde 1996/1997 la soja se transformó en el principal cultivo dentro de las rotaciones, en gran medida, debido a la liberación de cultivares transgénicos resistentes al glifosato (Satorre, 2005). El centro-sur de la provincia de Córdoba fue influenciado por estas tendencias, y el área productora de maní de la cuenca al oeste de las localidades de Gral. Cabrera y Gral. Deheza, en la década de los '90 comenzó a producirse un cambio paulatino en las tecnologías de manejo pasando de sistemas de labranza convencional y reducida y alto porcentaje de maní en sus rotaciones a otro de siembra directa con predominio de soja. Actualmente, este cultivo, es el dominante en las rotaciones y la siembra directa (SD) es el principal sistema de labranza aunque presenta gran diversidad en cuanto a rotaciones, ocurrencia y frecuencia de remociones y nivel de fertilización entre otras prácticas de manejo (Parra *et al.*, 2009). La larga historia de uso agrícola de más de 100 años (De Prada *et al.*, 1994) bajo prácticas no conservacionistas y el monocultivo de leguminosas (inicialmente maní luego de soja) asociados a la alta susceptibilidad del suelo a la degradación debida principalmente al escaso contenido de coloide mineral y orgánico han conllevado a que el deterioro físico del suelo sea una de las principales

limitantes para la producción (Cisneros *et al.*, 1992). En el área se han efectuado investigaciones anteriormente a la fuerte incursión de la siembra directa o en la transición hacia este tipo de labranza en relación a las propiedades físicas (Moreno, 1996; Bonadeo, 1997; Cisneros *et al.*, 1997; Cholaky, 2003) sin embargo, son muy escasos los estudios posteriores al establecimiento de estas nuevas variantes de sistema de manejo. Se plantea como hipótesis que la condición física del suelo es afectada por el uso agrícola y los sistemas de manejo en forma diferencial. El objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios en la condición física del suelo en diferentes sistemas de manejo agrícolas dominantes del área de General Deheza, provincia de Córdoba.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se efectuó en una cuenca de aproximadamente 15.000 ha ubicada al oeste de la ruta Nacional N° 158 que desagua desde el oeste en la localidad de Gral. Deheza (Fig. 1). El clima es templado subhúmedo con una marcada estación seca en invierno. La precipitación media anual es de 695 mm concentrada en primavera-verano. El régimen de temperatura es de tipo mesotermal (temperatura media anual 16,09 °C). El suelo sobre el que se encuentran todos los sistemas evaluados es un Haplustol típico, limoso grueso, illítico, térmico sin variaciones texturales (Blarasín *et al.*, 1996). La secuencia de horizontes Ap (0-6,5 cm), A2 (6,5-12,5 cm), Bw1 (12,5-21 cm), Bw2 (21-37,5 cm), BC (37,5-57 cm) y C (+57 cm) (Parra *et al.* 2009).



Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.  
Figure 1. Location of the study area.

A partir de una encuesta efectuada a los diferentes productores del área de estudio se seleccionaron nueve sitios agrícolas reales (sujetos a la administración técnica y manejo correspondientes a sus respectivos establecimientos productivos) representativos del uso y manejo dominantes de la región (Pedellini, comun.). Los distintos sitios fueron agrupados de acuerdo a los sistemas de manejo. Siembra directa (SD): cultivos principalmente de soja y soja de segunda sobre trigo (70% de la rotación en proporciones iguales) y Maíz (30%), sin remoción del suelo. Siembra directa con maní 1 (SD-Mn1): cultivos bajo SD (55% de soja, 30% de maíz y 15% maní) excepto con el maní donde se prepara la cama de siembra con rastra doble acción y rolo. Siembra directa con maní 2 (SDMn2): cultivos bajo SD (50% de soja, 35% de maíz y 15% maní) aunque se realizan labranzas con un descompactador subsuperficial (llegando hasta los 20-25 cm) o rastra de disco cada dos años. El maní se implanta previa pasada de rastra doble acción y rolo o descompactador subsuperficial y rolo. Labranza Reducida sin maní (LR): predominio de soja (70% soja y 30% maíz) y la cama de siembra se confecciona generalmente con rastra de discos. En la Tabla 1 se muestra el sistema y el cultivo antecesor al momento del muestreo para cada sitio.

Tabla 1. Sistema, cultivo antecesor y años con el manejo descrito al momento de muestreo para cada sitio.

Table 1. Cropping system and years under the described management system at the sampling moment for each site.

Sitio	Sistema	Cultivo antecesor	Años con el manejo descrito
1	LR	Soja	8
2	LR	Soja	9
3	SD	Maíz	7
4	SD	Trigo-Soja	11
5	SDMn1	Maíz	8
6	SDMn1	Soja	7
7	SDMn2	Soja	5
8	SDMn2	Maíz	6
9	SDMn2	Soja	11

Para poder dimensionar la magnitud del cambio en las propiedades físicas del suelo bajo los diferentes sistemas de manejo agrícolas, se tomaron dos sitios de referencia en el área de estudio (NAT). Estos sitios representan situaciones próximas al suelo prístino cubiertos por una vegetación herbácea con predominio de gramíneas.

Cada sistema de manejo quedó representado por dos sitios de muestreo excepto SDMn2 con tres. En cada sitio antes de la implantación de los cultivos estivales de la campaña 2006/2007 se efectuó el muestreo por triplicado en el horizonte superior Ap y A en los sitios naturales (NAT) y Bw, excepto para la estabilidad de agregados que solamente se realizó para el primer horizonte. El criterio adoptado para la selección de estos

horizontes fue que son los más alterados por la actividad antrópica habiéndose observado en trabajos previos serios problemas de degradación tanto superficialmente como en el nivel del Bw (coincidente con pisos de labor actuales o heredados). Se determinaron las siguientes propiedades: carbono orgánico (CO): por el método de Walkey y Black modificado (Jackson, 1970); densidad aparente (DA) por el método del cilindro (Blake & Hartgue, 1986); compactación máxima (DAm<sub>max</sub>) y contenido de humedad crítico (HC) por medio de la prueba Proctor (ASTM, 2003a); compactación relativa (CR): empleando la siguiente ecuación (Campbell, 1994):

$$CR = (DA - DA_{min}) / (DA_{max} - DA_{min}) \quad (1)$$

donde CR es la compactación relativa, DA: densidad aparente, DAm<sub>max</sub> la densidad aparente máxima, y DA<sub>min</sub> la densidad aparente de la situación de referencia de mínima alteración; porosidad total (PT) a través de la expresión  $PT = 1 - (DA/DR)$  donde DR es la densidad real de partículas; pérdida potencial de porosidad (PPP) se obtuvo restando a la PT la porosidad mínima (PM) la cual se obtendría reemplazando DA por DAm<sub>max</sub> en la expresión anterior; velocidad de infiltración básica (VIB) por el método del doble anillo (ASTM, 2003b); estabilidad de agregados mediante la metodología propuesta por Pla Sentic (1983) con las modificaciones realizadas por Becker *et al.* (2001). En esta metodología, se utilizan agregados entre 2 y 4 mm donde se seleccionan los agregados más estables, por lo que se sobreestimaría la estabilidad general de un sistema con una débil agregación. Por ello se determinó el porcentaje de suelo agregado mayor a 2 mm (%-AGR) de la siguiente manera: se tamizó suavemente a mano con un tamiz de 2 mm de abertura una muestra inalterada secada al aire, luego se pesó lo retenido en el tamiz y este peso se relacionó en forma porcentual al peso inicial de la muestra.

### Procedimiento estadístico

Cada variable se analizó por separado utilizando un modelo mixto estimado mediante la plataforma R utilizada a través de la Interfase «Modelos lineales generales y mixtos» de Infostat (UNC, 2010) donde los efectos fijos fueron el sistema de manejo (incluyendo a NAT como otro nivel de este factor), el horizonte y la interacción entre estos dos factores y los efectos aleatorios la repetición y los puntos de muestreo dentro de cada repetición. De esta manera se controla la interdependencia de los valores observados dentro de cada repetición y de los observados en los dos horizontes dentro de cada punto de muestreo. Se efectuaron comparaciones de medias *a posteriori* con el test LSD (alfa = 0,05). La dependencia entre variables fue analizada mediante regresiones lineales y no lineales. El software utilizado fue Infostat (UNC, 2010).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Carbono orgánico (CO)

Se observó interacción significativa entre los factores sistema y horizonte (Fig. 2). El sitio tomado como referencia (NAT) obtuvo el valor medio más alto para el horizonte A y Bw aunque solamente difirió significativamente de todos los sistemas agrícolas en el caso del segundo horizonte (en el primero no difirió significativamente de SD ni de SDMn2). Esto se debería a la tendencia en siembra directa (SD) a la concentración de materia orgánica en las capas superiores (Yang & Wander, 1999; Musso *et al.*, 2004; Hermle *et al.*, 2008; Parra *et al.*, 2009), lo que hace que estos tratamientos se aproximen al valor de NAT. En la Figura 2 se aprecia que los sistemas bajo SD, sin remoción en su secuencia de manejo, presentan mayor diferencia en cuanto a CO entre los dos horizontes evaluados, siendo menor en los sistemas con maní en la rotación y menor aún en LR que realiza remociones anuales. En este último caso la escasa diferencia entre Ap y Bw se debería principalmente a una mayor mineralización en el primer horizonte producto de las mencionadas remociones, más que a la mezcla de materiales del Ap y Bw ya que la labor se realiza con rastra de discos a no más de 12 cm de profundidad la cual estaría definiendo el espesor del Ap. En el caso de SD los bajos valores de CO en el horizonte Bw se podrían atribuir a que los sitios correspondientes a este sistema son los que tuvieron el mayor período previo al muestreo sin remociones

(7 y 11 años) afectándose la incorporación de residuos y por lo tanto el aporte de CO en este estrato (Yang & Wander, 1999).

### Densidad aparente (DA)

La DA no presentó interacción significativa entre sistema y horizonte por lo que estos factores se analizaron por separado (Tabla 2). La DA fue significativamente menor en la situación de referencia (NAT) y en el horizonte superficial de los sistemas agrícolas, esto indicaría el efecto del uso antrópico sobre la compactación del suelo. No se observaron diferencias significativas entre los sistemas agrícolas. La causa de la mayor compactación en el Bw respondería por un lado a la tendencia natural de los suelos a aumentar su densidad con la profundidad (USDA, 2008) y por otro, a la larga historia de labranza convencional de estos suelos que favoreció la formación de capas densificadas, como fuera señalado por Cisneros *et al.* (1997), a una profundidad equivalente a la de este estudio. Se observa una relación inversa y significativa entre la DA y el CO en el horizonte Bw (Fig. 3), no así en los horizontes A donde no fue estadísticamente significativa. Esto se debe a que los sistemas agrícolas con mayor remoción (LR) poseen poco CO y una DA baja. Eliminando estos sistemas del análisis se obtuvo un «r» de 0,6 con un «p» de 0,05 en la relación entre ambas variables en los horizontes A.

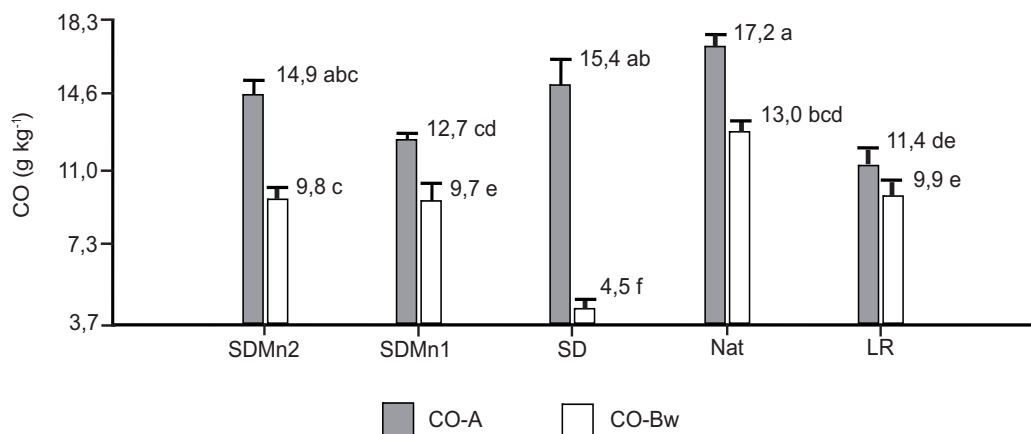


Figura 2 Carbono orgánico (CO) para los horizontes A y Bw en los diferentes sistemas evaluados. Letras distintas indican diferencias significativas (LSD  $\alpha = 0,05$ ).

Figure 2. Organic carbon (CO) for A and Bw horizons in every system. Values followed by same letter are not significantly different at  $\alpha = 0.05$  using the LSD test.

Tabla 2. Densidad aparente (DA), contenido de humedad crítico (HC), compactación relativa (CR), velocidad de infiltración básica (VIB) y pérdida potencial de porosidad (PPP) en los diferentes sistemas y en los horizontes A y Bw. Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas (LSD  $p < 0,05$ )

Table 2. Bulk density (DA), critical water content (HC), relative compaction (CR), basic infiltration rate (VIB) and potential porosity loss (PPP) in the different systems as well as in A and Bw horizons. Values followed by the same letter are not significantly different at  $p < 0.05$  using the LSD test.

Sistema	DA (g cm <sup>-3</sup> )	HC (%g g <sup>-1</sup> )	CR	VIB (cm h <sup>-1</sup> )	PPP (%)
LR	1,33 a	15,88 a	25,73	3,00 a	25,45 b
SD	1,35 a	16,90 ab	35,24	5,50 b	20,49 a
SDMn1	1,33 a	16,46 a	29,11	3,00 a	23,17 b
SDMn2	1,35 a	17,49 b	34,8	5,00 b	20,63 a
NAT	1,21 b	21,21 c	—	12,00 c	—
Horizonte					
A	1,24 a	18,31 b	26,02 a	—	24,15 b
Bw	1,39 b	16,86 a	36,42 b	—	20,72 a

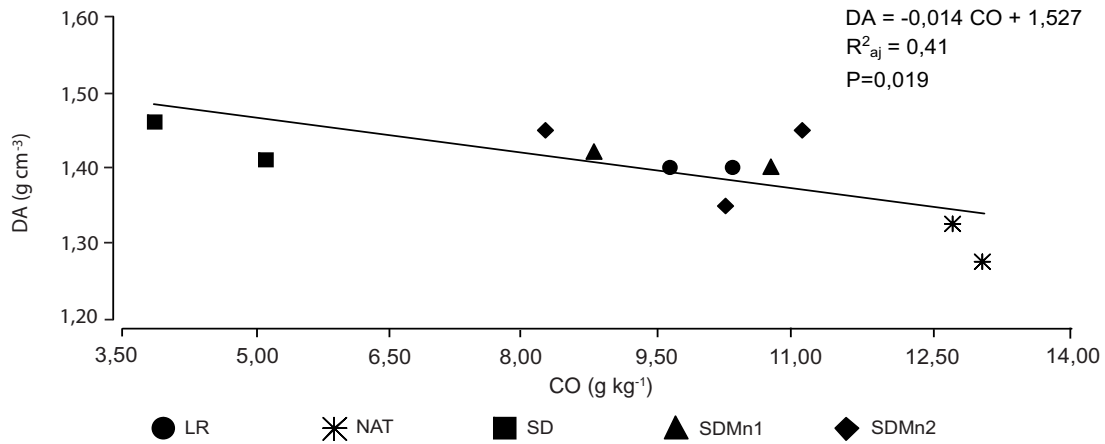


Figura 3. Relación entre la densidad aparente (DA) y el porcentaje de carbono orgánico (CO) en el horizonte Bw para los diferentes sistemas evaluados.  
Figure 3. Relationship between bulk density (DA) and organic carbon percentage for the Bw horizon in every system.

### Densidad aparente máxima (DAmáx)

En la Tabla 3 se presenta la comparación de DAmáx para la interacción de sistema con horizonte ( $p < 0,05$ ). Si se compara dentro de cada horizonte, NAT difirió significativamente para el A y el Bw en relación a los respectivos horizontes de los demás sistemas. Considerando solo los tratamientos agrícolas se aprecia que los horizontes Ap se diferencian significativa-mente de los Bw (Tabla 3). El sistema que más aporta a la interacción significativa es SD ya que para el Ap presenta el valor más bajo y para el Bw uno de los más altos. La relación inversa entre CO y DAmáx (Fig. 4) ha sido observada también por numerosos autores (Howard *et al.* 1981; Zhang *et al.* 1997; Quiroga *et al.* 1999; Aragón *et al.* 2000; Díaz-Zorita & Grosso 2000; Nhantumbo & Cambule 2006; Ferreras *et al.* 2007; Zhao *et al.* 2008; Parra *et al.* 2009).

Tabla 3. Densidad aparente máxima (DAmáx) en los horizontes A y Bw de los diferentes sistemas. Letras distintas indican diferencias significativas (LSD  $\alpha < 0,05$ ).

Table 3. Maximum bulk density (DAmáx) in A and Bw horizons. Values followed by the same letter are not significantly different at an  $\alpha = 0.05$  using the LSD test.

Sistema	Horizonte	DAmáx (g cm <sup>-3</sup> )
NAT	A	1,48 a
NAT	Bw	1,56 b
SD	Ap	1,58 b
SDMn2	Ap	1,58 b
SDMn1	Ap	1,62 c
LR	Ap	1,64 c
SDMn1	Bw	1,66 d
SDMn2	Bw	1,67 d
SD	Bw	1,67 d
LR	Bw	1,69 e



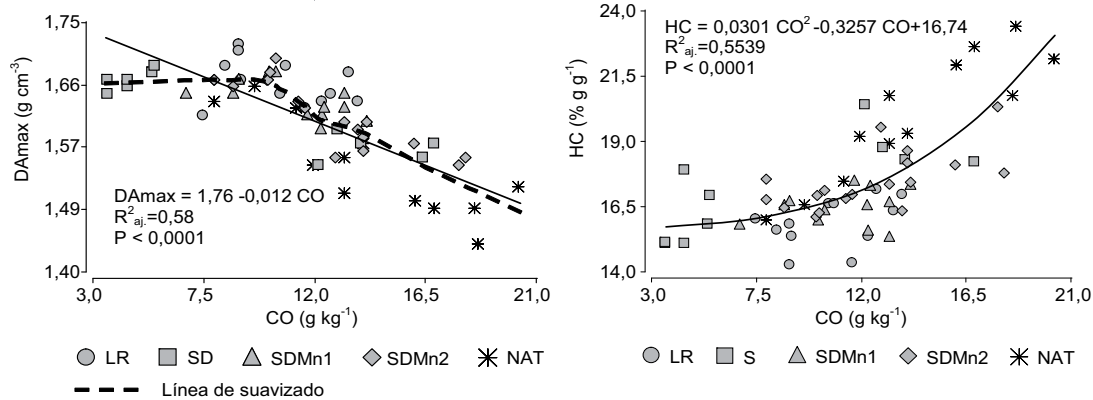


Figura 4. Relación de la densidad aparente máxima (DAmx) con el contenido de carbono orgánico (CO) incluyendo línea de suavizado por regresión localmente ponderada y del contenido de humedad crítico (HC) con el contenido de carbono orgánico.

Figure 4. Relationship between maximum bulk density (DAmx) and organic carbon (CO) showing a locally weighted smoothing line, and the relationship between critical water content (HC) and organic carbon (CO).

El efecto del CO sobre la disminución de la DAmx estaría dado por un incremento en la estabilidad estructural del suelo y a la mayor retención de agua que actuaría como amortiguador de las partículas minerales durante la compactación (Husein *et al.* 1999). Zhang & Hartge (1995) explican este fenómeno por la capacidad de la materia orgánica para incrementar la retención de agua del suelo, con lo cual, a determinado contenido hídrico aumenta la fricción y cohesión entre partículas y por lo tanto la resistencia a la compactación. De esta manera con mayores contenidos de CO la DAmx resulta menor y se alcanza a un contenido hídrico mayor.

Sobre la nube de puntos de la Figura 4 donde se representa la relación entre DAmx y CO se realizó una línea de suavizado por regresión localmente ponderada (LOWESS) con un ancho de ventana de 0,5. Esto permite observar que el efecto de CO sobre DAmx parece estar acotado aproximadamente a valores superiores a 10 g kg<sup>-1</sup> de CO. Este valor crítico podría ser de gran utilidad para establecer un umbral de CO al considerarlo como una variable indicadora de calidad.

La variabilidad de la DAmx entre tratamientos también podría ser explicada por la estabilidad de agregados, ya que el procedimiento para determinar la DAmx indica trabajar con muestras tamizadas por un tamiz de 2 mm las cuales contienen agregados menores a ese tamaño, y si estos son más resistentes la compactación resultante sería menor. Este efecto se puede apreciar en la relación inversa entre el diámetro medio ponderado de

los agregados (DMP) y el porcentaje de agregados estables (%AE) con la DAmx para el horizonte superficial de todos los tratamientos (Fig. 5). En este sentido Dexter (1975) vinculó la estabilidad de los agregados a la resistencia ante fuerzas compresivas. Por otro lado, Soane (1990) menciona una relación altamente significativa entre la estabilidad de agregados y la DAmx.

Otro aspecto que se desprende de la prueba de Proctor es el análisis de la pendiente ascendente de la curva de DA en función del contenido hídrico. Algunos autores proponen que esta pendiente (Mettauer *et al.*, 1983) o la diferencia entre DA y DAmx (García Pita, 1985) son estimadores de la susceptibilidad a la compactación. Sin embargo, en éste trabajo la pendiente de las funciones cuadráticas que se ajustaron a los puntos de DA en función de contenido hídrico no brindaron información más allá de la aportada por los valores de DAmx y CHC.

#### Contenido de humedad crítico (HC)

En la Tabla 2 se puede apreciar que la situación de mínima alteración (NAT) difiere significativamente de los sistemas agrícolas. Uno de los factores que más afectaría a esta variable es el CO (Fig. 4), por lo tanto se esperaría que NAT sea el tratamiento con mayor HC. Comparando los sistemas agrícolas la SDMn2 es el que presenta un mayor HC difiriendo de SDMn1 y LR los cuales tienen un menor CO (promedio de los dos horizontes).

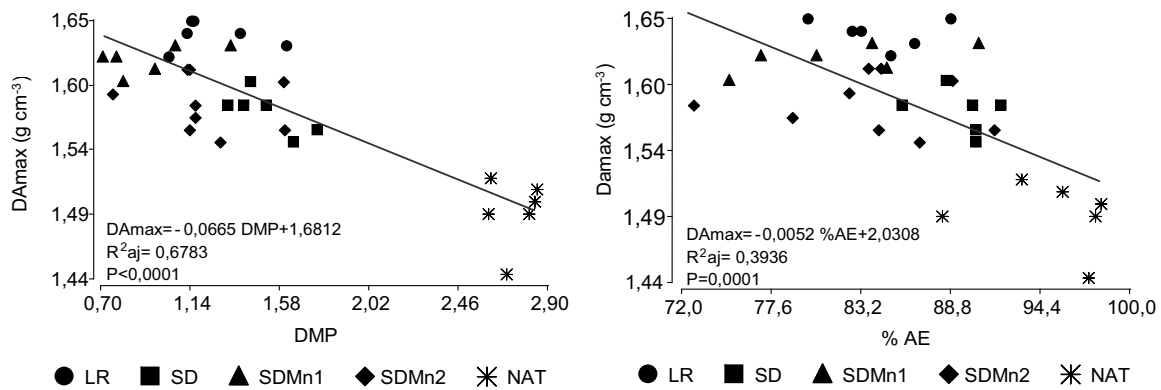


Figura 5. Relación de la densidad aparente máxima (DAmx) con el diámetro medio ponderado de agregados estables (DMP) y con el porcentaje de agregados estables (%AE) en el horizonte A de todos los sistemas.

Figure 5. Relationship between Maximum bulk density (DAmx), mean weight diameter (DMP) and stable aggregate percentage (%AE) for the A horizon in every system.

La relación entre CO y HC se podría explicar físicamente según lo expresado anteriormente para la relación de CO con DAmx ya que si una muestra de suelo tiene más CO retendrá más agua, por lo tanto, se compactará menos y alcanzará DAmx con un mayor contenido de agua. El hecho de que se retenga más agua con un mayor CO está avalado por los trabajos de Rawls *et al.* (2003); Aggelides & Londra (2000) que hallaron que a medida que aumenta el contenido de CO se incrementa la capacidad de retener agua para un mismo potencial mátrico.

#### Compactación relativa (CR)

Los resultados obtenidos de la compactación relativa se presentan en la Tabla 2, no figurando los datos de NAT ya que en el cálculo de CR al ser la situación de referencia obtiene valor cero. No se observaron diferencias entre sistemas debido a que tampoco existen diferencias con respecto a la DA (Tabla 2). Esta escasa diferenciación entre sistemas se debería al gran número de factores que no pueden ser controlados en un diseño realizado en condiciones reales de manejo.

Otra forma de expresar la pérdida relativa de la condición estructural podría ser mediante la pérdida potencial de porosidad (PPP) debido a la compactación (llamada porosidad estructural por Aparicio & Costa, 2007). En la Tabla 2 se presentan los valores de PPP en porcentaje de la porosidad total para cada situación agrícola. No se observó interacción estadística significativa entre los fac-

tores manejo y horizonte siendo siempre mayor en el horizonte Ap debido a un menor valor medio de DA. Los mayores valores en LR y SDMn1 se deben a que presentan mayores DAmx, y en el caso de LR otro factor que incrementa PPP es que posee un DA menor, debido al efecto de la remoción.

#### Estabilidad de agregados en agua

En la Figura 6 se aprecia la distribución de los diferentes tamaños de agregados para cada sistema. Las mayores diferencias se observan para el NAT que presentó la mayor parte de los agregados sin romperse (2-4mm), los sistemas agrícolas tienen una distribución más homogénea en todos los tamaños, una marcada disminución en los agregados de mayor tamaño y un incremento en los de menor tamaño producto de la ruptura de los mas grandes. Las mayores diferencias entre sistemas agrícolas se observaron al comparar los agregados mayores a 1 mm.

En la Tabla 4 se observa que para el diámetro medio ponderado (DMP), porcentaje de agregados estables (%AE), porcentaje de agregados estables mayores a 2 mm (%AE>2) y porcentaje de agregados estables mayores a 1 mm el sistema de mínima alteración se diferenció significativamente de los agrícolas. La SD en general se presenta como el sistema más cercano a NAT aunque siempre se diferencia significativamente de este último. La mayor estabilidad de los agregados de SD con respec-

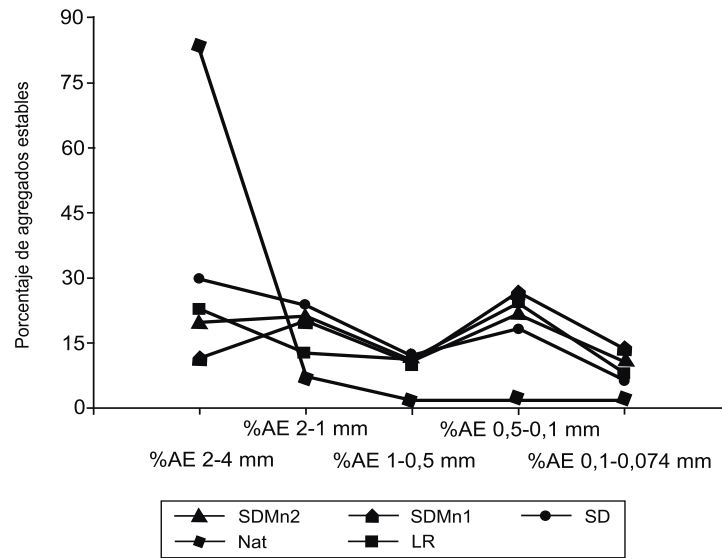


Figura 6. Distribución por tamaño de agregados estables al agua (AE) en los diferentes sistemas. %AE 2-4, %AE 2-1, %AE 1-0,5, %AE 0,5-0,1 y %AE 0,1-0,074 son los porcentajes de agregados estables de entre 2 y 4 mm, 2 y 1 mm, 1 y 0,5 mm, 0,5 y 0,1 mm y entre 0,1 y 0,074 mm, respectivamente. Figure 6. Size distribution of water stable aggregates (AE) for every system. The aggregate stable percentages between 2 and 4 mm, 2 and 1 mm, 1 and 0,5 mm, 0,5 and 0,1 mm, 0,1 and 0,074 mm represent the stable aggregate percentages (%AE) of 2-4, 2-1, 1-0,5, 0,5-0,1 and 0,1-0,074, respectively.

to a los demás tratamientos agrícolas se atribuiría en primera instancia a una mayor cantidad de carbono orgánico en el horizonte superior de este tratamiento, sin embargo no se halló una relación significativa entre ninguna de las variables relacionadas a la estabilidad estructural analizadas con el carbono orgánico. Probablemente alguna fracción o componente de la materia orgánica explique mejor las diferencias en cuanto a estabilidad de agregados como lo expresado por Roberson *et al.* (1991), que hallaron que la estabilidad de agregados no era

explicada por el carbono orgánico total sino por una fracción de este, los carbohidratos pesados. Jastrow (1996) relaciona la estabilidad de agregados a la fracción liviana de la materia orgánica particulada; Bronick & Lal (2005) mencionan además en una revisión otros componentes de la materia orgánica que inciden en la agregación como lignina, fenoles, lípidos, polisacáridos entre otros.

Un punto a considerar es que según la metodología empleada, se inicia la determinación con 30 g de agregados de entre 2 y 4 mm, los cuales son los que resistie-

Tabla 4. Diámetro medio ponderado (DMP), porcentaje de agregados estables (%AE), porcentaje de agregados estables mayores a 2 mm (%AE > 2) y porcentaje de agregados estables mayores a 1 mm (%AE > 1) para el horizonte A de los diferentes sistemas evaluados. Letras distintas indican diferencias significativas (LSD  $\alpha < 0,05$ ).

Table 4. Mean weight diameter (DMP), stable aggregate percentage (%AE), percentage of stable aggregates larger than 2mm (%AE > 2), and percentage of stable aggregates larger than 1mm (%AE > 1) for the A horizon. Values followed by the same letter are not significantly different at  $\alpha = 0.05$  using the LSD test.

Sistema	DMP	%AE	%AE > 2	%AE > 1
SDMn1	0,95 a	81,94 a	11,40 a	31,63 a
SDMn2	1,22 b	83,79 a	19,55 ab	37,11 a
LR	1,25 b	84,40 ab	22,61 bc	40,79 a
SD	1,52 c	89,57 b	29,50 c	52,86 b
NAT	2,74 d	95,16 c	83,38 d	90,57 c



ron el proceso de selección sin romperse. Siguiendo este procedimiento se seleccionarían los agregados más estables de cada punto de muestreo, por lo que se sobreestimaría la estabilidad general de un sistema con una débil agregación aunque con algunos agregados resistentes. Para solucionar este problema se determinó el porcentaje de suelo agregado mayor a 2mm. Con este porcentaje (%AGR) se afectaron las variables DMP y %AE>2 (Tabla 4) multiplicando a cada una por la proporción de agregados estables. Se observó con los valores corregidos que se redujeron las diferencias entre los grupos, especialmente entre los que tienen algún grado de remoción (LR, SDMn1 y SDMn2) (Tabla 5).

#### Velocidad de infiltración básica (VIB)

La Tabla 2 muestra los valores obtenidos para la VIB para cada sistema. Se observa una gran diferencia entre el valor de VIB de la situación de mínimo disturbio y los sistemas agrícolas (desde más de 2 a 4 veces mayor en NAT). Dentro de los sistemas agrícolas SDMn2 y SD son los que poseen una mayor VIB el primero posiblemente debido al efecto de las remociones profundas periódicas y en el segundo debido quizás a la mayor estabilidad de agregados del horizonte superficial (Martens & Frankenberg, 1992; Arshad *et al.* 1999) (Tabla 4) y al cultivo antecesor trigo/soja (Tabla 1) en unos de los sitios bajo SD ya que como indican Govaerts *et al.* (2007) el rastreo de trigo favorece la velocidad de infiltración ya que entre otros factores genera un mayor número de puntos de infiltración debido a su mayor densidad de siembra.

Se observó que los tratamientos que tuvieron mayores valores de VIB fueron los que presentaron: mayor

CO en el horizonte A ( $r = 0,64$ ,  $p = 0,03$ ); mayor HC en los horizontes A ( $r = 0,95$ ,  $p < 0,0001$ ) y Bw ( $r = 0,79$ ,  $p = 0,004$ ); mayor DMP ( $r = 0,73$  y  $p < 0,0001$ ); y menor DAMax en los dos horizontes ( $r = -0,89$  y  $p < 0,001$  para el horizonte A,  $r = 0,91$  y  $p < 0,001$  para el Bw). Todas estas relaciones se podrían explicar teniendo en cuenta la calidad estructural como variable central, lo que concuerda con la relación directa observada con DMP y con otras variables que favorezcan esta mejor condición estructural como el CO. Por otro lado, las variables que son consecuencia de lo contrario como una DAMax elevada se relacionan en forma inversa. En este sentido Aparicio & Costa, 2007 hallaron una alta relación entre la conductividad hidráulica a diferentes retenciones con la porosidad estructural dependiente de DAMax.

#### CONCLUSIONES

En todas las variables se observó una marcada diferenciación de los sitios NAT de aquellos bajo usos agrícolas evidenciando el alto grado de deterioro del suelo.

En variables como en la densidad aparente y compactación relativa no se encontraron diferencias importantes entre tratamientos agrícolas posiblemente debido a la heterogeneidad propia de los sistemas productivos reales en cuanto a variables de manejo que no pueden ser controladas en sitios agrupados bajo un mismo tratamiento.

El CO se relaciona con todas las otras variables siendo siempre más favorable la condición de mayor CO.

Dentro de los sistemas agrícolas la estabilidad estructural tendió a ser mayor en SD.

Tabla 5. Porcentaje de suelo agregado (% AGR) y porcentaje de suelo agregado afectando al diámetro medio ponderado (DMP x %AGR) y al porcentaje de agregados mayores a 2 mm (%AE>2x%AGR). Letras distintas indican diferencias significativas (LSD  $\alpha = 0,05$ ).

Table 5. Aggregated soil percentage (% AGR) and percentage of aggregated soil affecting both the mean weight diameter (DMP x %AGR) and the percentage of aggregates larger than 2 mm (%AE>2x%AGR). Values followed by the same letter are not significantly different at an  $\alpha = 0.05$  using the LSD test.

Sistema	% AGR		DMP x %AGR		%AE>2x%AGR
LR	68,05	a	0,87	a	15,94
SDMn2	75,97	ab	0,92	a	14,49
SD	79,70	bc	1,22	b	23,64
SDMn1	85,76	bc	0,81	a	9,6
Nat	90,38	c	2,52	c	78,56

La VIB fue muy afectada por la explotación del suelo y se relacionó significativamente con otras variables como la estabilidad estructural, HC y DAMax.

Los sistemas de manejo agrícolas evaluados afectaron la condición física del suelo del centro sur de Córdoba principalmente a través de un cambio en la distribución del carbono orgánico.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó en el marco de los proyectos financiados por la Universidad Nacional de Río Cuarto (PPI-146) y la Agencia Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (PICTR-605/06).

## BIBLIOGRAFÍA

- Aggelides, SM & PA Londra. 2000. Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. *Bioresource Technol.* 1(3): 253-259.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2003a. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort [12,400 ft-lbf/ft<sup>3</sup>(600 kN-m/m<sup>3</sup>)]. ASTM D 698, West Conshohocken, Pa.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2003b. Standard Test Method for Infiltration Rate of Soils in Field Using Double-Ring Infiltrometer. ASTM D 3385, West Conshohocken, Pa.
- Aparicio, V. & JL Costa. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 96: 155-165.
- Aragon, A; MG Garcia; RR Filgueira & YA Pachepsky. 2000. Maximum compactibility of Argentine soils from the Proctor test: The relationship with organic carbon and water content. *Soil Till. Res.* 56(3-4): 197-204.
- Arshad, MA; AJ Franzluebbers; & RH Azooz. 1999. Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in northwestern Canada. *Soil Till. Res.* 53: 41-47.
- Becker, AR; MP Cantú; HF Schiavo & JI Ossana. 2001. Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la región pedemontana del Suroeste de Córdoba, Argentina. XV Cong. Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. CD 4 pp.
- Blake, GR & KH Hartge. 1986. Bulk Density. In: A Klute (ed.) *Methods of soil Analysis*. Part 1. Agron. Monog. 9. Am. Soc. Agron. Madison, Wisconsin, EEUU. 363-375.
- Blarasín, MT; MP Cantú; SB Degiovanni; AR Becker & CF Eric. 1996. Estudio geoambiental de un área de llanura loessica con alta presión de uso agrícola. El caso de General Deheza, Córdoba, Argentina. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos. IV:283-292.
- Bonadeo, E. 1997. Efectos de la compactación subsuperficial de un Hapludol típico del sur de Córdoba, sobre el comportamiento del cultivo de maní (*Arachis hipogaea*). Tesis maestría. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
- Bronick, CJ & R Lal. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124: 3-22.
- Campbell, DJ. 1994. Determination and use of soil bulk density in relation to soil compaction. In: Soil compaction in crop production. Soane B.D., van Ouwerkerk C. (eds.). Elsevier.
- Cholaky, C. 2003. Efectividad y persistencia de una labor de descompactación con subsolador alado en función de la compactación y humedad antecedente. Tesis maestría. Universidad Nacional de Río Cuarto. Río Cuarto. Río Cuarto, Argentina.
- Cisneros, J; J De Prada; H Gil; J González; O Giayetto; J Marcos *et al.*, 1992. Ordenamiento y Manejo integral de la productividad para la cuenca de General Deheza, Córdoba-Argentina. Convenio UNRC-Municipalidad de General Deheza, 143 pp. Río Cuarto, Argentina.
- Cisneros, J; C Cholaky; E Bricchi; O Giayetto & J Cantero. 1997. Efectos del uso agrícola sobre las propiedades físicas de un Hapludol típico del centro de Córdoba. *Rev. UNRC* 17(1):13-22.
- De Prada, J; JF Boretto; A García; JE Olmos & M Sánchez. 1994. Proyecto de conservación y ordenamiento de las tierras - Gral. Deheza, Córdoba. Tesis maestría, tomo 1, UNC-CFI- Gobierno de la Prov. de Córdoba.
- Dexter, AR. 1975. Uniaxial compression of ideal brittle tilths. *J. Terramech.* 12: 3-14.
- Díaz-Zorita, M & GA Grosso. 2000. Effect of soil texture, organic carbon and water retention on the compactability of soils from the Argentinean pampas. *Soil Till. Res.* 54(1-2): 121-126.
- Ferreras, L; G Magra; P Besson; E Kovalevsky & F García. 2007. Indicadores de calidad física en suelos de la región pampeana norte de Argentina bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 25(2): 159-172.
- Govaerts, B; M Fuentes; M Mezzalama; JM Nicol; J Deckers; JD Etchevers; B Figueroa-Sandoval & KD Sayre. 2007. Infiltration, soil moisture, root rot and nematode populations after 12 years of different tillage, residue and crop rotation managements. *Soil Till. Res.* 94: 209-219.
- Hermle, S; T Anken; J Leifeld & P Weisskopf. 2008. The effect of the tillage system on soil organic carbon content under moist, cold-temperate conditions. *Soil Till. Res.* 98: 94-105.
- Howard, RF; MJ Singer & GA Grantz. 1981. Effects of soil properties, water content, and compactive effort on the compaction of selected California forest and range soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45(2): 231-236.
- Husein Malkawi, Al; AS Alawneh & OT Abu-Safaqah. 1999. Effects of organic matter on the physical and the physicochemical properties of an illitic soil. *Applied Clay Science* 14(5-6): 257-278.
- INTA. 1991. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3363-14 General Cabrera. Plan Mapa de Suelos Córdoba.
- Jackson, ML 1970. Análisis Químico de Suelos. Ed. Omega, Barcelona.
- Jastrow, JD. 1996. Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral-associated organic matter. *Soil Biology and Biochemistry* 28: 665-676.
- Martens, DA and WT Frankenberger. 1992. Modification of infiltration rates on a organically amended irrigated soil. *Agron J.* 84(4): 707-717.

- Mettauer, H; Y Tual; Ch Huck & R Trendel. 1983. De la connaissance du comportement physique et mécanique des sols de l'Est de la France. *Agronomie* 3: 141-152.
- Moreno, I; C Cholaky; M Lesser & J Marcos. 1996. Efecto de la labranza sobre el contenido de carbono orgánico y su implicancia en la estabilidad estructural. XV Congreso Argentino Ciencia del Suelo. pp. 26a-26b.
- Musso, TB; MP Cantú & AR Becker. 2004. Efecto de distintos sistemas de labranza y de fertilización sobre el contenido de carbono orgánico, N total y el pH de un Hapludol típico del sur de Córdoba, Argentina. XIX Congreso Argentino Ciencia del Suelo. CD 10 pp.
- Nhantumbo, ABJC & AH Cambule. 2006. Bulk density by Proctor test as a function of texture for agricultural soils in Maputo province of Mozambique. *Soil Till. Res.* 87(2): 231-239.
- Parra, B; A Becker; M Cantú & J Paz Ferreira. 2009. Physical Condition of Central Argentina Haplustolls under different no tillage variants. ISTRO 18th Triennial Conference. International Soil Tillage Research Organization. Turquía. CD 8pp.
- Pla Sentis I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Alcance. Revista Universidad Central de Venezuela. Maracay. 32pp.
- Quiroga, AR; DE Buschiazzi & N Peinemann. 1999. Soil compaction is related to management practices in the semi-arid Argentine pampas. *Soil Till. Res.* 52(1-2): 21-28.
- Rawls, WJ; YA Pachepsky; JC Ritchie; TM Sobecki & H. Bloodworth. 2003. Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma* 116(1-2): 61-76.
- Roberson, EB; MK Firestone & S Sarig. 1991. Cover Crop Management of Polysaccharide-Mediated Aggregation in an Orchard Soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 734-739.
- Satorre, EH. 2005. Cambios tecnológicos en la agricultura argentina actual. *Ciencia Hoy* 15(87): 24-31.
- Soane, BD. 1990. The role of organic matter in soil compactibility: A review of some practical aspects. *Soil Till. Res.* 16: 179-201.
- Uberto, ME; JM Cisneros; C Vignolo; C Cholaky & R Pedelini. 2002. Sistemas de labranza en Haplustoles énticos del área manisera de Córdoba (Arg.): I. Efecto sobre las propiedades físicas. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. CD 6 pp.
- UNC. 2010. Infostat Software estadístico. Versión 2010.
- USDA. Natural Resources Conservation Service. 2008. Soil Quality Indicators. Bulk density. [http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/bulk\\_density\\_sq\\_physical\\_indicator\\_sheet.pdf](http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/bulk_density_sq_physical_indicator_sheet.pdf).
- Wander, MM. & GA Bollero. 1999. Soil Quality Assessment of Tillage Impacts in Illinois. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63(4): 961-971.
- Yang, X-M & MM Wander. 1999. Tillage effects on soil organic carbon distribution and storage in a silt loam soil in Illinois. *Soil Till. Res.* 52(1-2): 1-9.
- Zhang, H; KH Hartge & H. Ringe. 1997. Effectiveness of organic matter incorporation in reducing soil compactibility. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61(1): 239-245.
- Zhang, HQ & KH Hartge. 1995. Mechanical properties of soils as influenced by the incorporation of organic matter. p. 93-108. *In: Advances in soil science: Soil structure, its development and function.* KH Hartge, BA Stewart (eds). CRC Press, Boca Raton, FL.
- Zhao, Y; M Krzic; CE Bulmer & MG Schmidt. 2008. Maximum bulk density of British Columbia forest soils from the Proctor test: Relationships with selected physical and chemical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72: 442-452.