

## EFEECTO DE DIFERENTES ENMIENDAS SOBRE ALGUNAS PROPIEDADES EDAFICAS EN SISTEMAS DE PRODUCCION HORTICOLA DEL CENTRO NORTE DE LA REGION PAMPEANA HUMEDA

C SASAL<sup>1</sup>, A ANDRIULO<sup>1</sup>, J ULLE<sup>2</sup>, F ABREGO<sup>1</sup>, M BUENO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INTA. EEA Pergamino. Ruta 32, km 4.5, C.C. 31- (2700) Pergamino, e-mail: persuel@pergamino.inta.gov.ar

<sup>2</sup>INTA. EEA San Pedro. Ruta 9, km 170, C.C.43- (2930) San Pedro, e-mail: julle@inta.gov.ar

Recibido 5 de septiembre de 1999, aceptado 15 de noviembre de 2000.

### EFFECT OF DIFFERENT AMENDMENTS ON SOME SOIL PROPERTIES UNDER HORTICULTURE PRODUCTION IN THE HUMID PAMPAS

The effect of different amendments on some soil properties was studied in the humid Pampas. Soil conditioners (mature farmyard manure, fresh oat, fresh farmyard manure plus fresh oat and calcitic-dolomitic limestone) were applied to a well-structured fertile soil under horticulture production. The following properties were studied after two years of experiment start: bulk density, volumetric moisture (at 0, 1, 5, 10, 20 kPa of water suction), textural bulk density, maximal bulk density, compactation susceptibility, infiltration rate (at 0 and 10 mm of water suction), structure stability index, organic matter content, pH and electrical conductivity and earthworm density. Results showed that organic amendments improved permeability and water retention capability by enhancing the stability of soil aggregates. Limestone treatment maintained the values of the chemical, physical and biological properties in the initial situation. For organic amendments, there was an increase of soil carbon content related to the annual amount of carbon added. An increase of a  $\text{Mg ha}^{-1}$  of carbon decreased bulk density by about  $0,0065 \text{ Mg m}^{-3}$ . Fresh treatments (fresh oat, fresh farmyard manure plus fresh oat), with high contents of fibre, decreased the average values of maximal bulk density in 5 and 7% respectively, increasing the corresponding moisture levels in 4 and 5%.

**Key words:** Amendments, Soil Properties, Horticulture Production, Humid Pampas.

### INTRODUCCION

La reciente intensificación de los sistemas de producción agrícolas, pecuarios, agroindustriales o industriales, genera cantidades de residuos en aumento. Estos residuos constituyen un problema de contaminación potencial para la población si la gestión de los mismos no está correctamente planificada. Una posibilidad de valorización es utilizarlos como enmiendas en el suelo.

La utilización de residuos como enmiendas es una práctica muy antigua y se halla ampliamente extendida en diversos lugares del mundo. Las enmiendas pueden tener un impacto positivo como fertilizantes y como mejoradoras de la estructura y del contenido de materia orgánica edáficas (Wallace 1994 a y b).

Los sistemas de producción hortícolas de la región se han caracterizado por la extracción continua de nutrientes del suelo,

la disminución del contenido de materia orgánica y del pH y la degradación de la estructura superficial. La adición de nutrientes mediante la utilización de fertilizantes minerales, además de resultar una práctica poco rentable, no puede resolver el problema de degradación de la estructura de los suelos (Premuzic *et al* 1998).

La producción hortícola orgánica, reemplaza el uso de fertilizantes minerales sintéticos por materiales biodegradables (IFOAM 1998). El uso de estas enmiendas puede constituir un factor clave en el proceso de intensificación productiva sostenible regional. En efecto, González *et al* (1989) demostraron la acción positiva de los estiércoles de aves de postura y de la corteza de salicáceas sobre la producción de hortalizas después de 11 años de experimento en un Argiudol Vértico de la serie Ramallo.

Por otro lado, la utilización de material

calcáreo-dolomítico provoca efectos benéficos sobre las propiedades físicas del suelo debidos a la acción del ión calcio sobre el aumento de la fuerza iónica en la solución del suelo y al dominio del calcio intercambiable sobre los otros iones del complejo de intercambio catiónico. Estos dos efectos actúan floculando los coloides, favoreciendo la agregación y la estabilidad de la estructura. Estos resultados están ampliamente documentados en la bibliografía especializada. Una síntesis de la misma puede encontrarse en Norton *et al* (1993).

Para implementar de forma sustentable el uso de enmiendas en los sistemas de producción hortícolas intensivos, es necesario conocer, entre otros, el grado de modificación de las propiedades edáficas producido, según la naturaleza y la cantidad de la enmienda aplicada, así como también la duración del efecto modificador. Estos aspectos no han sido suficientemente estudiados en la región.

El objetivo del presente trabajo fue estudiar el impacto de diferentes enmiendas sobre algunas propiedades de un suelo productivo en un sistema de producción hortícola del centro-norte de la región pampeana húmeda.

## MATERIALES Y METODOS

El experimento se implementó en un suelo Arguidol Vértico de la serie Ramallo. Es un suelo oscuro, pesado, muy profundo y moderadamente bien drenado, que domina los planos altos próximos a la rivera del Paraná en el partido de San Pedro. La pendiente general no supera el 0.5%. El horizonte superficial, medianamente ácido, se extiende hasta 0,25-0,30 m, es de textura franco arcillo-limosa y está bien provisto de materia orgánica (MO). La transición hacia el horizonte arcilloso  $B_{21}$ , es gradual y suave. Este horizonte es de textura arcillosa (58% de arcilla) y de gran espesor, con estructura prismática fuerte (INTA 1978).

La experiencia se conformó de 5 parcelas de una superficie de 130 m<sup>2</sup> cada una. Cada parcela recibió uno de los siguientes tratamientos (ULLÉ 1998):

1) 1,5 t de estiércol bovino proveniente de un sistema de producción de invernada en confinamiento (feed-lot), "madurado" en condiciones de intemperie durante un año. La humedad promedio del estiércol fue del 40% y el contenido de MO del 20%.

2) 1,5 t estiércol fresco de bovino + 1,5 t de

plantas de avena triturada agregada inmediatamente después de la cosecha. La humedad promedio fue del 85% y 70% para el estiércol y la avena, respectivamente. El contenido de MO del estiércol fue del 70%.

3) 40 kg de producto comercial de un material calcáreo dolomítico.

4) 1,5 t de plantas de avena triturada. Se aplicó el material recién cortado, poco antes de la floración. La humedad promedio fue del 70%.

**Testigo)** Area sin agregado de enmiendas, con vegetación predominante de gramíneas, característica de una situación de parque. Se considera la situación de partida de todos los tratamientos debido a que en los últimos años se mantuvo como tal. Toda el área recibió una enmienda calcárea antes de la situación de parque.

Las enmiendas fueron distribuidas e incorporadas superficialmente con rotobator, antes del trasplante, en mayo de 1997 y en octubre de 1998, aplicando la mitad en cada fecha. El aporte de C contenido en las enmiendas orgánicas se calculó considerando que el porcentaje de C de los estiércoles es 50% de la materia orgánica y 40% de la materia seca para la avena. Las masas de C aportadas anualmente se expresaron en base seca y se estimaron en 6,9, 13,9 y 19,9 Mg C ha<sup>-1</sup> para los tratamientos 1, 4 y 2, respectivamente. En el tratamiento 3 se aplicaron 3 Mg ha<sup>-1</sup> de producto comercial.

Las labranzas de preparación del sitio para el trasplante, consistieron en triturado de gramíneas, laboreo primario con cincel y dos operaciones de rastra excéntrica dos meses antes del trasplante. El número de ciclos de cultivo recibidos en todo el período fue 3, 2, 1 y 1, para los tratamientos 1, 2, 3 y 4, respectivamente. Los cultivos implementados fueron lechuga, espinaca, acelga y repollo en el período de mayo a diciembre y en verano con tomate y cucurbitáceas. Todas las parcelas recibieron riego con aguas bicarbonatadas sódicas (RAS=10; CE=0.75 dS m<sup>-1</sup>; carbonato de sodio residual=6.6 me l<sup>-1</sup>).

En mayo de 1999 las propiedades edáficas estudiadas en el espesor de 0-0,12 m fueron las siguientes:

- densidad aparente (DA), en Mg.m<sup>-3</sup>, por el método del cilindro (Page 1982 a),
- humedad volumétrica ( $\theta_v$ ) a las tensiones de 0, 1, 5, 10 y 20 kPa, por el método de la mesa de tensión (Bezerra de Oliveira 1968),
- densidad aparente textural (DAT), en Mg.m<sup>-3</sup>, por el método de Monnier *et al* (1973),
- compactación dinámica, con las determinaciones de densidad aparente máxima (DAm<sub>ax</sub>) en Mg cm<sup>-3</sup> y susceptibilidad a la compactación (SC) (Proctor 1933),
- infiltración básica a 0 (I<sub>b</sub>) y 10 mm (I<sub>b</sub>10) de

tensión, en mm h<sup>-1</sup>, por el método tensioinfiltrométrico (Ankeny 1992)

- índice de estabilidad de agregados (IEA), en porcentaje, por tamizado en agua por el método de Douglas y Goss (1982),
- MO, en porcentaje, por combustión húmeda por el método de Walkley-Black (Page, 1982 b),
- pH actual y conductividad eléctrica, en dS m<sup>-1</sup>, por el método potenciométrico (relación suelo:agua 1:2.5),
- densidad de lombrices, en número m<sup>-2</sup>, por conteo directo.

Se realizaron 5 repeticiones de cada variable y para cada tratamiento, excepto para la prueba de compactación dinámica, en la que se tomó una muestra compuesta de 15 repeticiones por tratamiento.

Los datos de DA y DAt se transformaron en porosidad total (PT) y en porosidad textural (Pt) utilizando un valor de la densidad de la fase sólida de 2,6 Mg m<sup>-3</sup> para todos los tratamientos. La porosidad estructural (PE) fue obtenida por diferencia entre los valores de PT y Pt. Los valores de PT fueron considerados coincidentes con los de  $\theta_v$  a saturación. Con los valores medios de  $\theta_v$  obtenidos para cada tensión se construyeron las curvas características de humedad del suelo. Luego se calculó la distribución del tamaño de los poros utilizando la relación entre la tensión  $h$  (en m) y el diámetro de los poros  $\phi$  (en  $\mu\text{m}$ ) siguiente (Hillel 1980):

$$h(m) = 30 / f(mm)$$

A la porosidad de diámetro superior a 20  $\mu\text{m}$  se la llamó macroporosidad (MAP) y a la comprendida entre 0,2 y 20  $\mu\text{m}$  microporosidad (MIP).

Para la construcción de la curva de compactación dinámica se trabajó con muestras tamizadas a 2 mm, utilizándose 6 humedades en el rango de humedad gravimétrica de 5-40%. La SC se calculó como la pendiente de la recta establecida entre el punto de inflexión de la curva de densidad aparente y la densidad aparente máxima alcanzada (..).

La infiltración básica se obtuvo en condiciones de flujo estacionario, el cual fue alcanzado en un tiempo de 20', según:

$$Ib = \frac{\Delta l \times f}{\Delta t \times A}$$

donde :

$Ib$  = Infiltración básica (mm h<sup>-1</sup>),

$\Delta l$  = diferencia de altura (cm) en el tiempo  $\Delta t$ ,

$f$  = factor de calibración del reservorio (34,98),

$A$  = área del disco de diámetro de 0,20 m.

El contenido de C del suelo se transformó en stock de C ha<sup>-1</sup> de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$C(\text{Stock}) = C(\%) \times DA \times \text{espesor}$$

donde:

$C(\text{Stock})$  = Mg C ha<sup>-1</sup> año,

$DA$  = densidad aparente en Mg m<sup>-3</sup>,

$\text{espesor}$  = profundidad del suelo en cm.

Los resultados se analizaron estadísticamente mediante el test "t" de Student ( $0,10 \leq P \leq 0,01$ ). Se utilizó regresión lineal simple para estudiar la relación entre las variables de interés.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los valores medios de las propiedades físicas estudiados en el espesor 0-0,12 m para los diferentes tratamientos se presentan en la Tabla 1. Los valores medios de las DA y DAt resultaron bajos en todos los tratamientos; los rangos de variación fueron 1,03-1,15 y 1,27-1,44 Mg.m<sup>-3</sup>, respectivamente. Como consecuencia, los de porosidad estructural resultaron elevados (rango 17-21%). También la microporosidad fue elevada (rango 34-39%). Las DAMax y las SC alcanzadas en condiciones de laboratorio fueron bajas en todos los tratamientos (rango 1,29-1,39 Mg.m<sup>-3</sup> y 0,75-1,37, respectivamente). Los valores medios de IEA indicaron la presencia de una estructura estable en todos los tratamientos (rango 37- 67%). Las tasas de infiltración básica a 0 y -10 mm de tensión resultaron elevadas en todos los tratamientos (rango a tensión 0: 45-74 mm h<sup>-1</sup>, a tensión 10 mm: 21-35 mm h<sup>-1</sup>). Estos resultados expresan claramente la existencia de un sistema estructural estable, cuyo número y distribución de poros resultan adecuados para el ingreso, la conducción y el almacenamiento de agua en todos los tratamientos (Topp et al. 1997).

La DA del tratamiento 2 resultó significativamente mas baja que los tratamientos restantes y la del tratamiento 4 fue inferior a la del tratamiento Testigo, no existiendo diferencias entre la DA de los tratamientos restantes. La DAt del tratamiento 2 resultó estadísticamente mas baja que la de los tratamientos restantes. Los tratamientos 1 y 4 no difirieron entre sí pero resultaron inferiores a las DAt de los tratamientos 3 y testigo,

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas y densidad de lombrices de los primeros 12 cm de un Argiudol Vértico luego del agregado de diferentes enmiendas.

Table 1. Physical and chemical properties, and worm's density in the first 12 cm of a Vertic Argiudoll with different organic amendments.

ata- ento	DA (Mg m <sup>-3</sup> )	DAt	PE	MAP	Pt	MIP	SC	DAmáx (Mg m <sup>-3</sup> )	IEA (%)	Ib (mm h <sup>-1</sup> )	Ib10	MO (Mg ha <sup>-1</sup> )	pH	CE (dS m <sup>-1</sup> )	Lombrices (N <sup>m</sup> m <sup>-2</sup> )
1	1,11 bc	1,34 b	17,0 a	22,0 b	40,2	35,3 a	1,37	1,38	37,2 a	73,8 a	34,9 b	55,8 b	6,8 a	0,27 b	586 a
2	1,03 a	1,27a	18,9 a	21,5 b	41,5	38,8 b	0,82	1,29	52,1 b	48,9 b	29,8 a	74,7 d	7,2 bc	0,54 d	382 b
3	1,2 bc	1,42c	21,0 a	22,5 b	35,7	34,3 a	1,37	1,39	66,6 c	49,6 b	20,9 a	53,8 a	7,2 bcd	0,20 a	382 b
4	1,09 b	1,36 b	19,6 a	20,1 b	38,3	37,8 b	0,75	1,32	51,9 b	44,5 b	24,2 a	59,7 c	7,1 bcd	0,32 c	331 b
testigo	1,15 c	1,44c	19,8 a	16,5 a	35,9	39,2 b	1,17	1,37	61,7 d	48,5 b	22,3 a	54,1 a	7,1 d	0,19 a	286 b

1: suelo+estiércol de bovino; 2: suelo+estiércol fresco de bovino+plantas de avena triturada; 3: material calcáreo dolomítico; 4: plantas de avena triturada. DA: densidad aparente; DAt: densidad aparente textural; PE: porosidad estructural; MAP: macroporosidad; Pt: porosidad textural; MIP: microporosidad; SC: susceptibilidad a la compactación; Damáx: densidad aparente máxima; IEA: índice de estabilidad de agregados; Ib: infiltración básica; Ib10: infiltración básica a 10 mm de tensión; MO: stock de materia orgánica, CE: conductividad eléctrica.

no existiendo diferencias entre la de estos dos últimos. La PE no difirió entre tratamientos. La MAP del tratamiento testigo resultó estadísticamente mas baja que en los restantes, sin existir diferencias entre los demás tratamientos. Los IEA de los tratamientos 1 y 3 resultaron estadísticamente el mas bajo y el mas alto, respectivamente, en relación a los tratamientos restantes. Los tratamientos 2 y 4 no difirieron entre sí y tuvieron valores intermedios. Las Ib e Ib10 del tratamiento 1 fueron estadísticamente superiores a las de los tratamientos restantes, sin existir diferencias entre estos últimos.

El contenido de MO resultó elevado en todos los tratamientos (de 3,9 a 6,0%) Tabla 1. El pH presentó valores próximos a la neutralidad y la CE resultó característica de suelos enmendados (de 0,19 a 0,54 dS m<sup>-1</sup>). La densidad de lombrices (DL) resultó muy elevada en todos los tratamientos (de 286 a 586 m<sup>-2</sup>). Estos resultados expresan claramente la existencia de un contenido orgánico del suelo favorable para la nutrición de las plantas, los microorganismos y la mesofauna en todos los tratamientos (Heil y Sposito, 1997).

Los contenidos y stocks de MO en los tratamientos 1, 2 y 4 resultaron diferentes entre sí y todos ellos fueron estadísticamente mas altos que los de los tratamientos 3 y testigo. El orden de disminución fue el siguiente: 2>4>1>3=Testigo. Los valores de pH del tratamiento 1 fueron los mas bajos. Los tratamientos 2, 3 y 4 no difirieron entre sí. El Testigo no difirió del 4. La CE del tratamiento

2 resultó estadísticamente mas elevada que la de los tratamientos restantes. Los valores medios de CE de los tratamientos Testigo y 3 fueron los mas bajos y no tuvieron diferencias entre sí. Los tratamientos 1 y 4 tuvieron valores intermedios y resultaron diferentes a los tratamientos restantes. La DL fue superior en el tratamiento 1, sin existir diferencias entre los restantes.

Los efectos producidos por la enmienda calcárea se observaron después de dos años de experiencias. El encalado mantuvo las propiedades físicas, químicas y biológicas de la situación de partida. Sin embargo, la DAmáx se alcanza con un contenido de humedad mas bajo que en cualquier otro tratamiento.

Los efectos producidos por las enmiendas orgánicas fueron los siguientes:

La DAt fue más sensible que la de microporosidad (MIP) para detectar diferencias entre tratamientos. El aumento de porosidad textural (disminución de DAt) del orden del 2 al 5%, se correspondió con el aumento del contenido de MO del suelo producido por las enmiendas orgánicas y estuvo de acuerdo con los resultados obtenidos por Pagliai *et al* (1983) para suelos de textura similar. Seguramente, este aumento se debió a un incremento en la microagregación y trajo como consecuencia un aumento en la capacidad de retención de agua del suelo. Similares resultados están sintetizados por Larson y Clapp (1984) y Sommers (1977).

La MAP fue más sensible que la de PE

para detectar diferencias entre tratamientos. Las enmiendas orgánicas produjeron un aumento de la MAP del orden del 4-6%. Este aumento se debió a probablemente un incremento de la macroagregación (bioporos), probablemente producido por la actividad de las raíces y de la fauna y trajo como consecuencia un aumento en el número de poros encargados de la transmisión de agua (Figura 1). Los resultados estuvieron de acuerdo con los obtenidos por Pagliai y Vittori Antisari (1993).

Si bien los tratamientos que recibieron enmiendas orgánicas fueron, en general, estables frente a la acción dispersante del agua (la estructura se considera estable a partir de un valor de IEA de 40), resultaron menos estables que la situación de partida y el tratamiento que recibió enmienda cálcica. Esto puede explicarse porque la situación de partida había sido enalada antes de comenzar el ensayo y porque el tratamiento 3 recibió adicionalmente 3 t de producto comercial  $\text{ha}^{-1}$ . Esto hizo que este último tratamiento presentara un valor medio de IEA superior al del Testigo. El orden decreciente del valor medio de IEA de los tratamientos que recibieron enmiendas orgánicas (tratamiento 2 = tratamiento 4 > tratamiento 1) puede explicarse porque disminuyó la masa de C aportada, aumentó el número de operaciones de laboreo y aumentó la cantidad total de agua

de riego bicarbonatada sódica aplicada.

Algunos autores (Guerif, Faure 1979; Guerif 1979, Andriulo, Pecorari 1989) utilizaron con éxito la prueba de Proctor (Proctor 1933) para evaluar el papel de la MO en el comportamiento de los suelos a la compactación. El uso de la prueba de Proctor en este estudio mostró que la adición de estiércol bovino y de avena no maduros (tratamientos 2 y 4, respectivamente), produjeron una disminución marcada en la densidad máxima alcanzada y en la susceptibilidad a la compactación del horizonte superficial: la  $D_{\text{max}}$  pasó de 1,38 a 1,29-1,32  $\text{Mg m}^{-3}$  y la SC de 1,17-1,37 a 0,8 (Figura 2).

Sin ninguna duda, la adición de heces frescas o de vegetal recientemente cosechado y trozado, con un gran porcentaje de fibras, actuaron de manera pseudo elástica, confiriéndole al suelo una mayor resistencia ante presiones mecánicas de naturaleza diversa. Además, en estos dos tratamientos, se necesitó mayor humedad para alcanzar la compactación máxima, hecho que puede ser atribuido a un aumento en la capacidad de hidratación. La adición de estiércol maduro prácticamente no produjo efecto ni sobre la  $D_{\text{max}}$  ni sobre la SC con respecto a la situación de partida. Probablemente, el aumento de MO del suelo con esta enmienda no fue suficiente. Por otro lado, la adición de

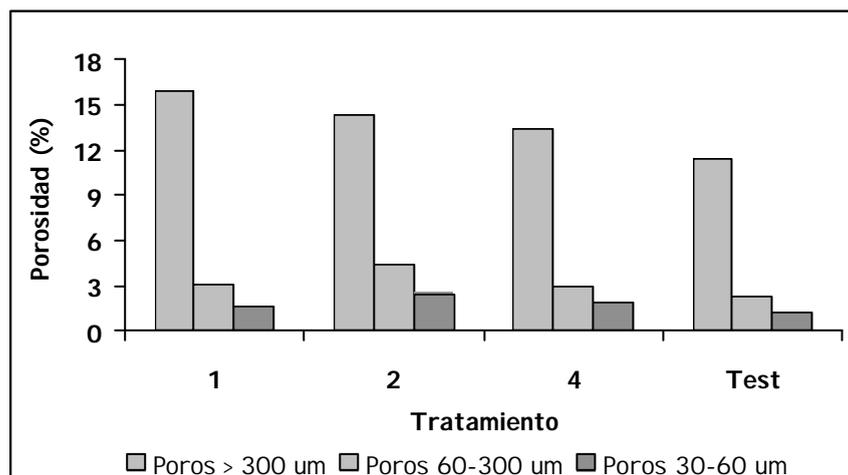


Figura 1. Distribución de los macroporos en los primeros 12 cm de un Argiudol Vértico con el agregado de diferentes enmiendas orgánicas.

Figure 1. Macropore distribution in the first 12 cm of a Vertic Argiudoll with different organic amendments.

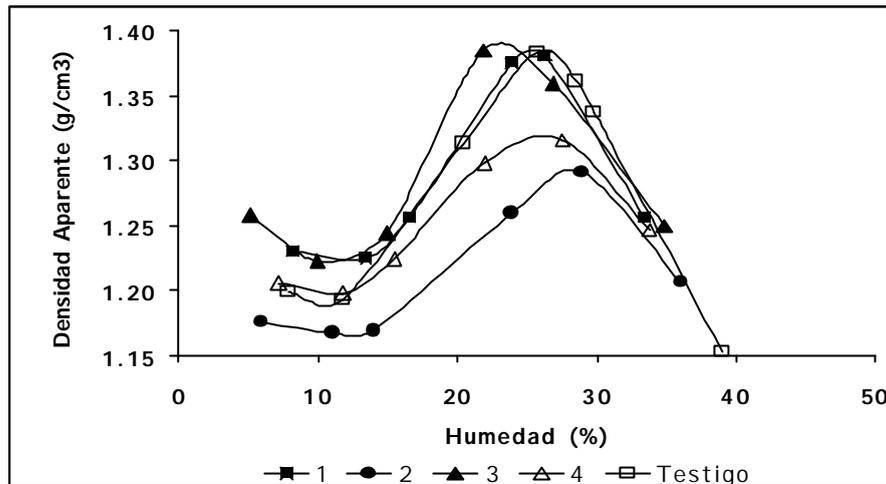


Figura 2. Curva de compactación dinámica en los primeros 12 cm de un Argiudol Vértico con el agregado de diferentes enmiendas.

Figure 2. Curve of dynamic compaction in the first 12 cm of a Vertic Argiudoll with different organic amendments.

enmienda calcárea produjo dos efectos diferenciales con respecto a los tratamientos restantes: a) el límite máximo de compactación se alcanzó con menor humedad y b) en la primera parte de la curva, la interacción entre la cohesión de los agregados y el hinchamiento de la arcilla amplificó el efecto del hinchamiento. Estos resultados estuvieron de acuerdo con los obtenidos por Mettaufer *et al* (1983).

Una consecuencia agronómica es que los suelos enmendados orgánicamente, a diferencia de los enmendados con material calcáreo, pueden ser laboreados en un rango mayor de humedad con menor riesgo de compactación severa.

La adición de estiércol maduro condujo a un aumento marcado de las Ib e Ib10 del suelo, hecho que puede ser explicado por el número más elevado de lombrices (Zachmann *et al* 1987, Trojan, Linden 1998) y de macroporos mayores de 300  $\mu\text{m}$  en este tratamiento con respecto a los restantes. La determinación de la infiltración básica a una tensión de  $-10$  mm determina la tasa de ingreso de agua al suelo a través de poros de diámetro menor de 3 mm. Esta determinación se realizó con el objeto de eliminar posibles flujos preferenciales en los tratamientos (existencia de grietas y cuevas) que podrían actuar aumentando la variabilidad espacial y enmascarando los efectos debidos a los

tratamientos. El hecho de haberse encontrado mayor Ib10 en el tratamiento 1 confirma que la adición de estiércol maduro produjo un incremento en el ingreso de agua al perfil de suelo.

La mayor densidad de lombrices encontrada bajo estiércol maduro se corresponde con los resultados obtenidos por Hamilton y Dindal (1989). Sin embargo, en este estudio se desconoce la causa para explicar el mayor número de lombrices en este tratamiento.

En coincidencia con otros autores (Larson, Allmaras 1971, Clapp *et al* 1986, Bolinder *et al* 1998), los cambios en las propiedades del suelo anteriormente mencionados parecen ser el resultado del incremento del contenido de C del suelo como consecuencia del aporte de C contenido en las enmiendas (Tabla 2).

La adición de 3,5 veces más C como estiércol maduro, 4,6 veces más como avena fresca y de 6,6 veces más como mezcla estiércol no maduro y avena con respecto al tratamiento testigo, produjeron un aumento del orden de 0,24, 0,37 y 1,23% en el contenido de C del suelo. En efecto, como reportaron Campbell *et al* (1991) y Rassmussen y Parton (1994), el incremento en el stock de C del suelo es proporcional al aporte anual de C para un sistema suelo/clima dado. La acumulación del C proveniente de las enmiendas es una función de la masa de C añadido cada año y la

Tabla 2. Correlaciones entre el contenido y las reservas de C del suelo y algunas propiedades del suelo.  
Table 2. Correlation between C content and reserves and some soil properties.

Correlación	Coefficiente de correlación	Significación estadística	Tamaño de la muestra
C (%) vs DA	r = 0,67	p < 0,01	n = 25
C (stock) vs DA	r = 0,44	p < 0,05	n = 25
C (stock) vs PE	r = 0,35	p < 0,10	n = 25
C(%) vs Pt	r = 0,65	p < 0,01	n = 25
C(%) vs MIP	r = 0,39	p < 0,05	n = 25

respuesta es inmediata (Figura 3). Para las condiciones edafo-climáticas de la región, el aporte anual de C en el tratamiento testigo, estimado en 3 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Andriulo 1995), está en equilibrio con 30 t C ha<sup>-1</sup> de suelo en la capa 0-0.12 m.

En la Figura 4 se observa el cambio de DA en función del aporte de C orgánico por parte del empleo de biosólidos en el suelo: por cada tonelada de C ha<sup>-1</sup> anualmente añadida es posible disminuir aproximadamente en 0,006 Mg m<sup>3</sup> la DA del suelo después de 2 años de tratamiento. La estabilidad de este último valor necesita ser corroborada a través del seguimiento de los tratamientos.

Es sabido que la aplicación continuada de enmiendas orgánicas puede conducir a una mayor concentración de la solución del suelo (aumento de CE). A partir de los resultados

obtenidos puede deducirse que uno de los factores de mayor importancia en la salinización del suelo es la cantidad de MO aplicada como enmienda (Figura 5). Los valores de CE alcanzados reflejan que a pesar de las buenas condiciones edafoclimáticas de la región para el lavado, existen riesgos de salinización para algunas hortalizas. De acuerdo con la ecuación de la Figura 5, en las mismas condiciones de esta experiencia sería suficiente aplicar 45 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para considerar al suelo salino (CE= 1 dS m<sup>-1</sup>, considerando que la CE de la relación suelo:solución 1:2.5 es la cuarta parte de la CE del extracto de saturación). Se necesitan más años de experimento para confirmar o no la ocurrencia del proceso de salinización edáfico siguiendo la aplicación continua de dichas enmiendas.

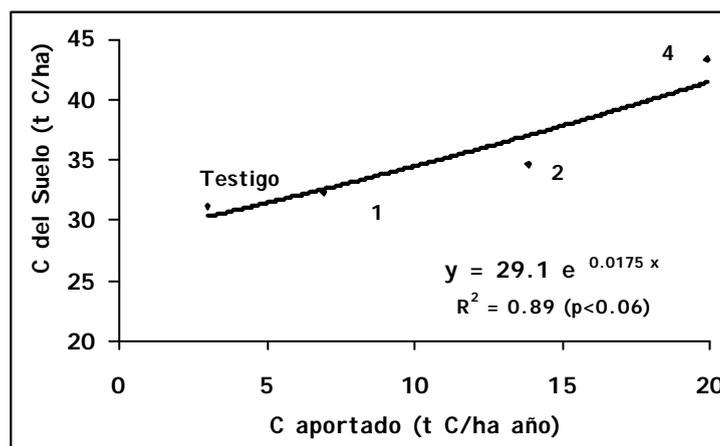


Figura 3. Efecto del C aportado por diferentes enmiendas orgánicas sobre el contenido de C en los primeros 12 cm de un Argiudol Vértico.

Figure 3. Effect of added C as different organic amendments on the amount of C in the first 12 cm of a Vertic Argiudoll.

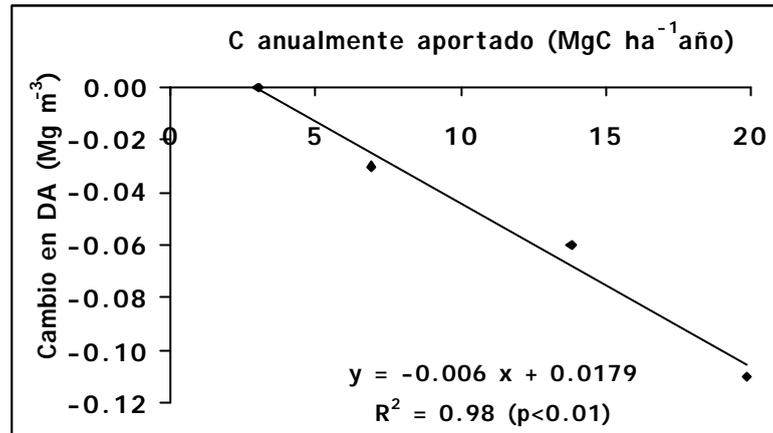


Figura 4. Relación entre el C aportado por diferentes enmiendas orgánicas y el cambio en densidad aparente de los primeros 12 cm de un Argiudol Vértico.

Figure 4. Relationship between C added as different organic amendments and changes in bulk density in the first 12 cm of a Vertic Argiudoll.

Desde un punto de vista metodológico se proponen las siguientes hipótesis para explicar las diferencias de sensibilidad en los resultados obtenidos con las dos técnicas utilizadas para obtener la distribución de poros del suelo: 1) la DAT resultó más sensible que la MIP porque en esta última los valores resultan de un cálculo que considera a la humedad volumétrica a saturación como la porosidad total y además, en este caso se arrastra el error de la determinación de la densidad aparente y 2) la MAP resultó más sensible que la PE porque esta última resulta

de un cálculo que consideró la densidad de la fase sólida como un valor constante, no teniendo en cuenta la posible disminución debida a las enmiendas.

Además, no se obtuvo una correlación entre los valores de MAP o PE y los de Ib e Ib10. Evidentemente, la Ib es una variable que está relacionada no solamente con el volumen de poros estructurales sino que es una función más compleja de otras variables que determinan el flujo de agua: la continuidad, la forma y la orientación de estos poros no está contemplada en dichas técnicas.

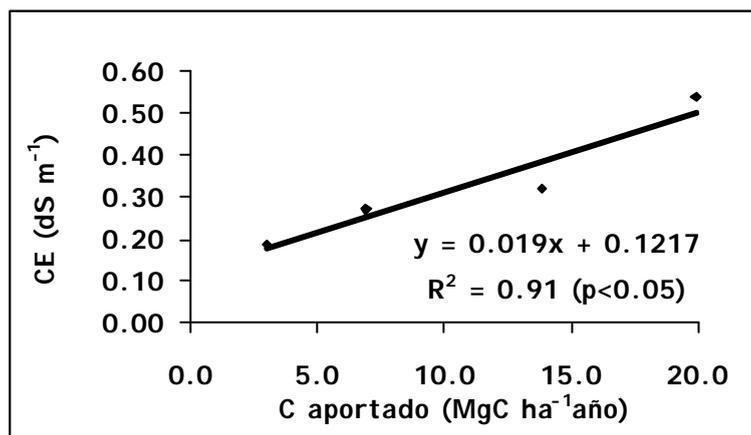


Figura 5. Relación entre el C aportado por diferentes enmiendas orgánicas y la conductividad eléctrica de los primeros 12 cm de un Argiudol Vértico.

Figure 5. Relationship between C added as different organic amendments and electric conductivity in the first 12 cm of a Vertic Argiudoll.

## CONCLUSIONES

La cantidad añadida de enmienda calcárea permite mantener las buenas propiedades del suelo proveniente de la situación de partida en el período de 2 años estudiado. Sin embargo, con esta enmienda se alcanza la  $D_{max}$  a menor contenido de humedad.

La adición de enmiendas orgánicas origina un comportamiento físico, químico y biológico edáfico que es característico de los suelos pampeanos ricos en MO: aumento de la capacidad de retención de agua, mejora del ingreso y la conducción del agua, aumento de la eficiencia del riego, facilidades para el laboreo, mantenimiento del pH, aumento del contenido de nutrientes.

En los sistemas intensivos de producción hortícola del área de estudio es imprescindible la adición de fuentes carbonadas adicionales para el mantenimiento y/o aumento del C del suelo. El stock de C del suelo responde inmediatamente a la cantidad de C agregada con las enmiendas. La adición de enmiendas orgánicas no evolucionadas, con alto contenido de fibras, reduce drásticamente la densidad aparente máxima que puede alcanzar el suelo y extiende significativamente el contenido de humedad para alcanzar dicho valor de densidad aparente. Esto se traduce en una marcada disminución del riesgo de compactación y de un aumento del tiempo disponible para la realización de las labores.

En caso de no aplicarse enmiendas, las condiciones edafoclimáticas del centro-norte de la pampa húmeda conducirán a los sistemas de producción hortícolas a una disminución del contenido de C del suelo debido al bajo aporte anual de C por parte de las hortalizas. El número, momento y tipo de labores solamente cambiarán la pendiente de la declinación.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Lic. María Luisa Rivero de Galetto, de la Sección Suelos de la EEA INTA Pergamino, por la determinación del contenido de materia orgánica de las enmiendas orgánicas y a la Ing. Cecilia Ferreyra por la realización del abstract.

## REFERENCIAS

- Andriulo A, Pecorari C. 1989. Algunas consideraciones sobre degradación de suelos bajo diferentes sistemas de labranzas. *Carpeta de Producción Vegetal. Información Técnica* N° 61 Tomo IX, INTA, EEA Pergamino, 5 pp.
- Andriulo A. 1995. *Modélisation de l'évolution des matières organiques des sols de la Pampa. Relation avec les systèmes de culture. Thèse INA-PG, Paris, 143 pp.*
- Ankeny M D. 1992. Methods and theory for unconfined infiltration measurements. *Advances in Measurement in Soil Physical Properties: Bringing Theory into Practice*. In: Topp G C, Reynolds W, Green R D eds. *SSSA 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.* 3:197-200.
- Bolinder M A, Angers D A, Gregorich E G, Carter M R 1998. The response of soil quality indicators to conservation management. *Can. J. Soil Sci.* 79:37-45.
- Campbell C A, Bowren K E, Schnitzer M, Zentner R P, Townley-Smith L. 1991. Effects of crop rotations and fertilization on soil organic matter and some biochemical properties of a thick Black Chernozem in western Canada. *Can. J. Soil Sci.* 71: 377-387.
- Clapp C E, Stark S A, Clay D E, Larson W E. 1986. Sewage sludge organic matter and soil properties. *The Role of Organic Matter in Modern Agriculture*. (Chen, Avnimelech, eds). Martinus Nijhoff, Dordrecht, The Netherlands, pp. 209-253.
- Chaussaud R, Justes E, Linères M Bourgeois S. 1997. Valorisation des déchets urbains et agro-industriels. In: *Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes*. Reims (France), 19-20 novembre 1996. Ed. INRA, Paris (Les colloques, N° 83).
- 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.* 2:155-175.
- González J, Amma A de Sardi M. 1989. Efectos de abonos verdes, estiércol de aves de postura y corteza de salicáceas en la producción de hortalizas y condiciones de suelo. *Informe Técnico* N° 56 INTA, EEA San Pedro, 14 pp.
- Guerif J. 1979. Rôle de la matière organique sur le compartement des sols au compactage. II. *Matières organiques libres et liées*. *Ann. Agron.* 30: 469-480.
- Guerif J, Faure A. 1979. Rôle de la matière organique sur le compartement des sols au

- compactage. I. Etude statistique. Ann. Agron. 30: 387-399.
- Hamilton W E, Dindal D L. 1989. Impact of landspread sewage sludge and earthworms introduction on established earthworms and soil structure. Biol. Fertil. Soils 8:160-165.
- Heil D, Sposito G. 1997. Chemical attributes and processes affecting soil quality. In E E Gregorich and M R Carter (Eds). Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health. Developments in Soil Sci. 25, Amsterdam. p.59-78.
- Hillel D. 1980. Fundamentals of Soil Physics. Academic Press, Inc. London, 413 pp.
- IFOAM, International Federation of organic Agriculture Movements. 1998. Basics standards for organic production and processing. IFOAM General Assembly, Mar del Plata, 43pp + anexos.
- INTA. 1978. Carta de suelos de la República argentina. Hoja 3360, 27 y 28 (Ramallo), 77pp.
- Larson W E, Allmaras R R. 1971. Management factors and natural forces as related to compaction. Compaction of Agriculture Soils. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, pp. 367-427.
- Larson W E, Clapp C. E. 1984. Effects of organic matter on soil physical properties. Organic Matter and Rice. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Laguna, Philippines, pp. 363-385.
- Mettauer H, Tual Y, Huck C, Trendel R. 1983. Connaissances du comportement physique et mechanic des sols de l'est de la France. Agronomie, 3: 141-152.
- Monnier G, Stengel P, Bodet J M. 1976. Conséquences de la répartition des matières organiques sur le comportement du sol. C. R. du Colloque: Simplification du travail du sol en rotation céréalière. I.T.C.F., 150-165.
- Norton L D, Shainberg Y, King K W. 1993. Utilization gypsiferous amendments to reduce surface sealing in some humid soils in the eastern USA. Soil Surface Sealing and Crusting (Poesen J W A Nearing, eds.), Catena Suppl. pp 24-79.
- Page A L. 1982. Methods of soils analysis. Parts I and II. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- Pagliai M, Bisdom E B A, Leding S. 1983. Changes in surface (crusting) after application of sewage sludges and pig slurry to cultivated agricultural soils in northern Italy. Geoderma 30:35-53.
- Pagliai M, Vittori Antisari L. 1993. Influence of waste organic matter on soil micro and macrostructure. Bioresource Technology 43: 205-213.
- Premuzic Z, Regidor S, Iorio A. 1998. Variaciones en los contenidos de nitrógeno, fósforo, potasio y vitamina C en función de la cosecha en un cultivo de repollo (*Brassica oleracea*, var. *capitata*) desarrollado sobre lombricompost, puro o en mezcla con fertilizante mineral. En: Actas XXI Cong. Arg. Horticultura, 6-9 octubre, San Pedro.
- Proctor R R. 1933. Fundamental principles of soil compaction. Eng. New Record 11, 246 pp.
- Rasmussen P E, Parton W J. 1994. Long-term effects of residue management in wheat-fallow. I. Inputs, yield and soil organic matter. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 523-530.
- Sommers L E. 1977. Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential use as fertilizers. J. Environ. Qual. 6:225-232.
- Topp G C, Reynolds W D, Cook F J, Kirby J M, Carter M R. 1997. Physical attributes of soil quality. In E E Gregorich and M R Carter (Eds). Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health. Developments in Soil Science 25, Amsterdam. P.21-58.
- Trojan M D, Linden D R. 1998. Macroporosity and hydraulic properties of earthworm-affected soils as influenced by tillage and residue management. Soil Sci. Soc. Am. J. 62: 1687-1692.
- Ullé J. 1998. Informe anual del plan de trabajo N° 8805004 "Producción de alimentos ecológicos. Horticultura Orgánica". EEA INTA San Pedro.
- Wallace A. 1994a. Sense with sustainable agriculture. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 25:5.
- Wallace A. 1994b. Soil organic matter is essential to solving soil and environmental problems. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 25:15.
- Zachmann J E, Linden D R, Clapp C E. 1987. Macroporous infiltration and redistribution as affected by earthworms, tillage and residue. Soil Sci. Soc. Am. J. 51: 1580-1586.