

CALIDAD DE SUELO: SENSIBILIDAD DE VARIABLES QUÍMICAS, FÍSICAS Y BIOLÓGICAS CON DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO

ROMINA I. ROMANIUK¹; LIDIA GIUFFRÉ¹; C. CHAGAS²; CARLA PASCALE¹;
A. COSTANTINI¹ y M. DAVIDOVICH¹

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo fue evaluar la sensibilidad de variables químicas, físicas y biológicas para diferenciar entre sistemas de manejo y situaciones de degradación de suelo bajo siembra directa continua. El estudio se realizó en un establecimiento agrícola-ganadero situado en partido de Pergamino, Buenos Aires, Argentina. Los suelos fueron clasificados como Argiudoles típicos. Se consideraron cuatro situaciones de estudio: pastura, campo natural, 3 lotes bajo 8 años de siembra directa continua, y suelo prístino. No se encontraron diferencias significativas en los valores de carbono orgánico total (COT) para las diferentes situaciones de estudio. Sólo la respiración resultó ser lo suficientemente sensible para diferenciar entre situaciones de manejo ($p < 0,05$), mientras que el diámetro medio ponderado (DMP) fue más sensible para diferenciar entre situaciones de degradación bajo siembra directa continua. Tanto la respiración del suelo como el DMP estuvieron asociados con el contenido de COT del suelo. Los perfiles de resistencia mecánica evidenciaron el comienzo de problemas de compactación subsuperficial en los lotes bajo siembra directa continua.

Palabras clave. Siembra directa, calidad del suelo.

SOIL QUALITY: SENSIBILITY OF CHEMICAL, PHYSICAL AND BIOLOGICAL VARIABLES UNDER NO-TILLAGE SYSTEM

SUMMARY

The aim of this work was to evaluate the sensibility of chemical, physical and biological variables to management situations and differentiate soil degradation under no tillage system and. The study was carried out in an agricultural - cattle establishment of Pergamino, Buenos Aires, Argentina. The soils were classified as Typical Argiudolls. Four situations were considered: implanted grassland, natural grassland, eight years no-tillage soils from three production plots, and pristine soil. There were no significant differences in total organic carbon (TOC) for the different situations. Only the laboratory respiration was sensitive enough to differ among management situations ($p < 0,05$), while the mean weight diameter (MWD) was more sensitive to differ among degradation situations under continuous no tillage system. The laboratory respiration and the MWD were correlated with TOC. The profiles of mechanical resistance evidenced the beginning of subsurface compactation problems in no tillage plots.

Key words. No tillage system. Soil quality.

INTRODUCCIÓN

El manejo de los ecosistemas agrícolas y terrestres para abastecer las necesidades de la creciente población mundial ha repercutido en la capacidad productiva y la resiliencia de los suelos, así como en el funcionamiento del ecosistema para mantener el balance global de materia y energía (Doran, 1999). La

deforestación, el sobrepastoreo, y la conversión de tierras vírgenes a la agricultura han resultado en la disminución de la calidad física, química y biológica de los recursos del suelo en todo el mundo (Doran *et al.*, 1998).

La materia orgánica es un atributo clave en la calidad del suelo (Doran y Parkin, 1994). Es la fuen-

¹Edafología-FAUBA – Av. San Martín 4453 (1417). Buenos Aires, Argentina.

²Conservación y planificación en el uso de la tierra-FAUBA-Av. San Martín 4453 (1417). Bs. As. Argentina.

te primaria de nutrientes para las plantas y es sumamente importante en la estabilidad estructural de los suelos, lo que a su vez está estrechamente relacionado con la infiltración, retención de agua, aireación y reducción de la erosión (Gregorich *et al.*, 1994). El nivel de materia orgánica en los suelos se ve influenciado por las labranzas, tipo de rotación y el manejo de los residuos (Parton *et al.*, 1987). Buyanovsky y Wagner (1998) mostraron que todos los sistemas productivos usados en un experimento presentaron una pérdida de carbono importante en relación a la que se presentaba cien años atrás en los suelos vírgenes. La siembra directa ha sido propuesta como alternativa a los sistemas de cultivo tradicionales en lo que hace a la reducción en la degradación de los suelos, ya que por lo general conduce a un incremento en el contenido de carbono en la capa superficial, cuando se los compara con los suelos laboreados en forma convencional (Kern y Johnson, 1993).

El fenómeno de descomposición de la materia orgánica se encuentra estrechamente ligado a otro proceso llamado respiración del suelo, que está ampliamente aceptado como una de las aproximaciones más productivas para el estudio de la actividad biológica y el flujo de carbono (Singh y Gupta, 1997). Es un indicador sensible de descomposición de residuos de cultivos, reciclado de carbono orgánico del suelo y disturbios en el ecosistema (Paul *et al.*, 1999). Representa la suma de todas las funciones metabólicas en las que se produce CO_2 (Lundegardh, 1972). Incluye, principalmente, tres procesos biológicos: respiración microbiana, respiración de raíces y respiración de la fauna edáfica. El nivel de respiración del suelo está directa o indirectamente gobernado por dos factores principales: temperatura y humedad. A su vez también se ve afectado por el nivel de nutrientes, la profundidad y por las prácticas culturales como la fertilización y el tipo de labranza (Singh y Gupta, 1977). Palma *et al.* (2000) encontraron que luego de 15 años de agricultura continua, los bioindicadores de suelo presentaron valores más bajos que los de la situación original. La respiración, la actividad microbiana y de proteasas fueron los parámetros más sensibles a la degradación del suelo inducida por el sistema de labranza y la rotación de cultivos.

La estructura del suelo es el resultado dinámico de muchos factores y procesos abióticos y bióticos; los principales factores formadores de la estructura

son la textura, materia orgánica, organismos del suelo, profundidad de la napa de agua y condiciones climáticas, con fuerzas involucradas en su formación durante el humedecimiento y secado que se incrementan con el contenido de arcilla (Dexter, 1988). Es una propiedad física que expresa la distribución espacial y la organización de las partículas del suelo (Hillel, 1980). Una cualidad edáfica derivada de la estructura es la estabilidad estructural de los agregados, que puede definirse como el resultado de la fuerza de unión entre las partículas elementales de los agregados del suelo, que es un factor de gran importancia en la protección contra la pérdida de suelo por erosión (Cerdá, 1998).

Kooistra y Tovey (1994) afirman que al incorporar las tierras a la agricultura el desarrollo normal de la estructura del suelo se encuentra disturbado y los impactos tecnológicos como labranzas, pesticidas, tránsito de maquinarias regulan la condición estructural del suelo. Gudelj *et al.* (2000) determinaron que en relación al suelo virgen todos los sistemas de manejo afectaron negativamente la estabilidad estructural evidenciándose un deterioro de esta propiedad como consecuencia del laboreo intensivo de suelo y del monocultivo.

Uno de los problemas aparentes de la siembra directa es la compactación por la falta de remoción de los suelos. Esta idea se basa en la mayor resistencia a la penetración medida a menudo en suelos manejados con siembra directa continua, en comparación con otros similares manejados bajo labranza convencional (Chagas *et al.*, 1994; Kruger, 1996; Leiva y Hansen, 1984; Taboada *et al.*, 1998).

La resistencia a la penetración es un buen índice para evaluar problemas de restricción en el desarrollo radicular de las raíces de los cultivos, por la presencia de capas compactas y/o baja porosidad. Esa resistencia no es propiedad particular del material, sino que es la suma de los efectos de diferentes características y propiedades, tales como densidad aparente, contenido de humedad, resistencia a la penetración y al corte, las cuales, a su vez, son consecuencia de la distribución del tamaño de partículas, de la estructura, de la composición mineral y orgánica presentes en el suelo. Su determinación es sencilla, rápida, y puede hacerse directamente sobre el terreno, permitiendo así realizar un alto número de mediciones que contrarrestan el problema de variabilidad espacial (Nacci y Pla, 1992).

En la Región Pampeana, numerosos productores han comenzado a utilizar prácticas conservacionistas como una alternativa de manejo (Echeverría *et al.*, 1994). La adopción de estos sistemas de labranza ha generado un gran interés en conocer sus efectos favorables, como así también sus consecuencias adversas sobre el ambiente del suelo (Crespo *et al.*, 2001).

El objetivo principal de este trabajo fue evaluar la sensibilidad de variables químicas, físicas y biológicas para diferenciar situaciones de degradación de suelo bajo siembra directa continua y entre sistemas de manejo dentro del mismo establecimiento agrícola ganadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el establecimiento agrícola ganadero "El Castillo", situado a 34° 01' latitud sur y 60° 20' longitud oeste del partido de Pergamino, provincia de Buenos Aires, Argentina. Los suelos son Argiudoles típicos. Se tomaron cuatro situaciones de estudio:

- Casco: corresponde al casco del establecimiento, situación tomada como testigo por presentar el menor grado de disturbio.
- Pastura: pastura degradada, implantada en 1998, con dominio de *Festuca arundinacea* y *Paspalum dilatatum*.
- Campo natural: bajo alcalino con predominio de *Festuca arundinacea* y *Paspalum dilatatum*.
- 3 lotes bajo siembra directa continua desde 1998, con diferente estado de erosión, evidenciado en el espesor del horizonte A. El lote 30 es el menos erosionado con un espesor de 25 cm en el horizonte A. Por otro lado, están los lotes 42 y 45 con mayor grado de erosión presentando un espesor de 19 y 6 cm, respectivamente.

Las rotaciones de los lotes se ven en el Cuadro I.

Se tomaron tres muestras por lote. Cada muestra estuvo compuesta por tres submuestras y fueron tomadas a dos profundidades: 0-10 y 10-20 cm. En cada una de ellas se realizaron determinaciones de carbono orgánico total (Nelson y Sommers, 1982), respiración en laboratorio (Jenkinson y Powlson, 1976), y en los primeros 10 cm estabilidad estructural (De Leenher y de Boodt, 1958).

Cuando las muestras se colocan a incubar en condiciones óptimas de temperatura y humedad, la respiración permite observar para un momento determinado, la cantidad de carbono potencialmente mineralizable.

Para la determinación de la estabilidad estructural, el suelo húmedo fue pasado por tamiz de 8 mm, luego secado al aire y tamizado en seco con tamices de 4,76 mm; 3,36 mm y 2,00 mm de abertura. Para el tamizado en húmedo se utilizaron tamices de 4,76 mm; 3,36 mm; 2,00 mm; 1,00 mm; 0,50 mm y 0,30 mm de abertura. Los resultados se calcularon como diámetro medio ponderado (DMP). Para su cálculo, el peso de cada fracción de agregados, se multiplicó por el valor promedio de abertura de malla de esa fracción. La suma de estos productos se denomina DMP. La diferencia entre el DMP del tamizado en seco y el tamizado en húmedo se usa para caracterizar la estabilidad estructural de los suelos.

Para evaluar los potenciales problemas de compactación subsuperficial, se realizó el perfil de resistencia mecánica de los lotes bajo siembra directa que puede traer aparejada la implementación de la siembra directa continua, debida a la no remoción del suelo y el uso de maquinarias cada vez más pesadas. El penetrómetro de golpe utilizado consiste en una varilla metálica provista de una punta cónica de 2 cm² de sección transversal. Se introduce en el suelo mediante golpes provocados por la caída de una pesa de 2 kg, desde una altura de 30 cm, registrándose al mismo tiempo el grado de avance en el suelo. Los resultados pueden expresarse en unidades de presión (MPa) o número de golpes necesarios para introducir la punta cónica en el suelo a diferentes profundidades. Se eligió este último modo por ser de fácil comprensión y de conversión directa a unidades de presión.

Al mismo tiempo, se determinó el estado hídrico del suelo a diferentes profundidades, empleando el método gravimétrico, con el propósito de ayudar a la interpreta-

CUADRO I. Esquema de las rotaciones de los lotes.

	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Lote 30	Maíz	Soja	Maíz	Soja	Trigo/soja	Maíz
Lote 42	Maíz	Trigo/soja	Maíz	Soja	Trigo/soja	Maíz
Lote 45	Maíz	Trigo/soja	Soja	Trigo/soja	Soja	Maíz

ción de los valores de resistencia mecánica, los cuales son muy sensibles a diferencias en el contenido edáfico. Con el objeto de comparar entre sí los tratamientos, se consideró únicamente el intervalo de profundidad 0-16 cm. Esto se debe a que algunos pedones relevados, particularmente los del lote 45, presentaban el horizonte Bta menos de 20 cm de la superficie, presumiblemente afectados por erosión hídrica.

Se efectuó análisis de varianza y test de LSD Fisher entre las diferentes situaciones y profundidades con el programa estadístico Infostat profesional, versión 1.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se presentan los valores promedio de carbono orgánico total, respiración y diámetro medio ponderado para las diferentes situaciones y profundidades.

Los contenidos de carbono orgánico presentaron diferencias estadísticamente significativas para las profundidades de muestreo con una estratificación determinada por un mayor contenido en superficie, disminuyendo con la profundidad. Este hecho está relacionado con el mayor contenido de rastrojo y de raíces muertas en los primeros centímetros del suelo.

No se encontraron diferencias significativas ($P > 0,05$), en el contenido de carbono entre las diferentes situaciones, aunque pudo observarse que los mayores valores de carbono se presentaron en el casco y en el campo natural. Los menores valores de carbono se presentaron en los lotes de siembra directa y fueron proporcionales al estado de degradación de los potreros.

En lo que respecta a la respiración se encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$), para las diferentes situaciones (Cuadro 3) y profundidades de muestreo, con mayores valores en superficie y disminuyendo con la profundidad, siguiendo la misma tendencia que para carbono orgánico total.

Los mayores valores de respiración coincidieron con los valores máximos de carbono orgánico para las situaciones de casco, pastura y campo natural (Cuadro 2), mientras que los lotes en siembra directa presentaron una marcada tendencia a una disminución en la respiración respecto a las situaciones testigo. El lote 42, se diferenció de los demás lotes bajo siembra directa, por presentar menores valores de esta variable (Cuadro 3).

Los sistemas agrónomicamente sustentables por lo general, involucran, *pools* significativos de carbono orgánico del suelo. Estos incluyen tanto las fuentes de liberación de carbono rápidas como las

CUADRO 2. Valores promedio de carbono orgánico total, respiración del suelo y diámetro medio ponderado para las distintas situaciones y profundidades.

Muestra	Profundidad (cm)	COT (%)	Respiración ($\mu\text{g C/CO}_2 \text{ g suelo}^{-1}\text{h}^{-1}$)	D.M.P (mm)
Casco	0-10	2,22	0,348	91,22
	10-20	1,20	0,157	
Campo Natural	0-10	1,84	0,414	135,57
	10-20	1,01	0,241	
Pastura	0-10	1,98	0,334	96,26
	10-20	1,00	0,137	
Lote 30	0-10	1,83	0,181	130,43
	10-20	0,97	0,175	
Lote 42	0-10	1,58	0,082	139,39
	10-20	0,78	0,054	
Lote 45	0-10	1,14	0,160	208,86
	10-20	0,95	0,155	

CUADRO 3. Valores medios de respiración ($\mu\text{g C}/\text{CO}_2$ g suelo $^{-1}\text{h}^{-1}$) para las diferentes situaciones de muestreo, integrando las dos profundidades.

Situación	Medias	n			
SD lote 42	0,07	6	A		
SD lote 45	0,16	6	A	B	
SD lote 30	0,18	6	A	B	
pastura	0,24	6		B	C
casco	0,25	6		B	C
campo natural	0,33	6			C

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)
Test: LSD Fisher.

lentas, cuyos tamaños y ciclos se utilizan para describir la dinámica de la materia orgánica. Las fracciones activa y lenta ahora pueden cuantificarse con mayor precisión mediante el CO_2 liberado durante la descomposición del carbono orgánico del suelo bajo condiciones de laboratorio (Nicolardot *et al.*, 1994), y esta metodología ha proporcionado diferencias marcadas para la siembra directa y lotes tes-tigo de diversas características.

Al efectuarse la correlación entre carbono orgánico total y respiración, se observó asociación entre ellos, como puede apreciarse en la Figura 1, ob-

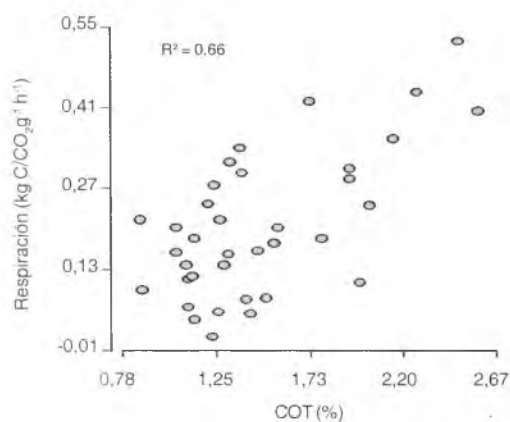


FIGURA 1. Correlación respiración-carbono orgánico total del suelo.

servándose que para contenidos de COT menores a 1,7%, la dispersión de los datos fue mayor que para contenidos superiores, donde se observa una relación positiva más clara entre los valores de COT y respiración.

Para los valores de DMP se encontraron diferencias significativas entre situaciones ($P < 0,05$), diferenciando al casco y a la pastura del resto de las situaciones, y a su vez al lote 45 de los restantes lotes bajo siembra directa continua (Cuadro 4).

Las situaciones de casco y pastura presentaron valores menores que los lotes bajo siembra directa continua y campo natural. Este último, presentó altos valores de DMP, probablemente, relaciona-

CUADRO 4. Valores medios de DMP para las diferentes situaciones de muestreo, en los primeros 10 cm de profundidad.

Situación	Medias	n		
casco	91,22	3	A	
pastura	96,26	3	A	
SD lote 30	130,43	3	A	B
campo natural	135,57	3	A	B
SD lote 42	139,39	3	A	B
SD lote 45	208,86	3		B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)
Test: LSD Fisher.

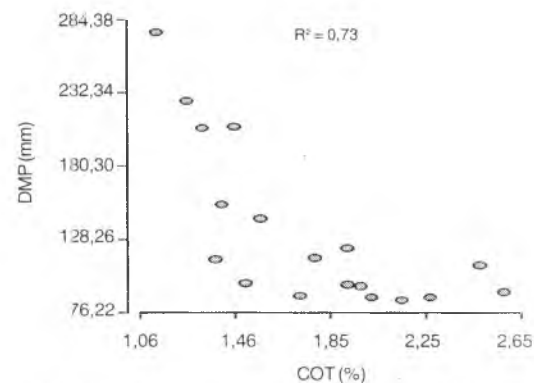


FIGURA 2. Correlación carbono orgánico total-diámetro medio ponderado.

dos con su carácter alcalino.

La materia orgánica del suelo puede ser importante en incrementar la proporción de agregados estables en agua, al disminuir la velocidad de entrada del agua en los agregados y reducir los agregados inestables que, cuando se humedecen, rompen rápidamente (Tisdall y Oades, 1982).

Se efectuó la correlación entre carbono orgánico total y el diámetro medio ponderado. En la Figura 2 puede observarse que para contenidos de COT mayores a 1,85%, la influencia del carbono sobre el DMP es menor.

La distribución de tamaño de agregados se pre-

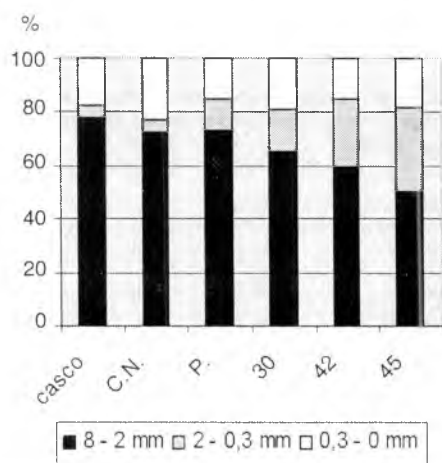


FIGURA 3. Distribución del tamaño de agregados (mm), de las diferentes situaciones: casco, C.N.: campo natural, P.: pastura, 30: lote 30, 42: lote 42, 45: lote 45.

senta en la Figura 3. La proporción de macroagregados grandes (2-8 mm) fue mayor en el casco, campo natural y pastura en comparación con los lotes bajo cultivo. Esto podría deberse al efecto positivo de la vegetación y raicillas sobre la formación y estabilización de macroagregados y, adicionalmente, sobre el contenido de carbono orgánico. A su vez, la mayor actividad biológica de las situaciones testigo, evidenciada en la respiración, podría tener un efecto adicional a través de los polisacáridos derivados de su actividad, los que actuarían como agentes de unión (Haynes and Beare, 1996).

En la Figura 4 se observa un perfil típico de aumento de resistencia mecánica en profundidad en cada una de las tres situaciones analizadas. Esto resulta compatible con la forma de un perfil de suelo bajo siembra directa (Chagas *et al.*, 1994). A su vez, el lote 30 mostró un marcado aumento de la resistencia entre los 6 y 9 cm de profundidad, en comparación con los restantes lotes. El coeficiente de variación de las observaciones resultó cercano al 30-40%, y es congruente con la elevada variabilidad espacial que caracteriza a esta propiedad edáfica. Ello explica por qué no existen diferencias significativas entre tratamientos para cada profundidad analizada ($P > 0,05$), aunque sí se presentaron diferencias entre profundidades para cada tratamiento ($P < 0,05$).

A pesar de la falta de significancia estadística antes mencionada, al comparar los lotes entre sí, se advirtió una clara tendencia hacia valores de resis-

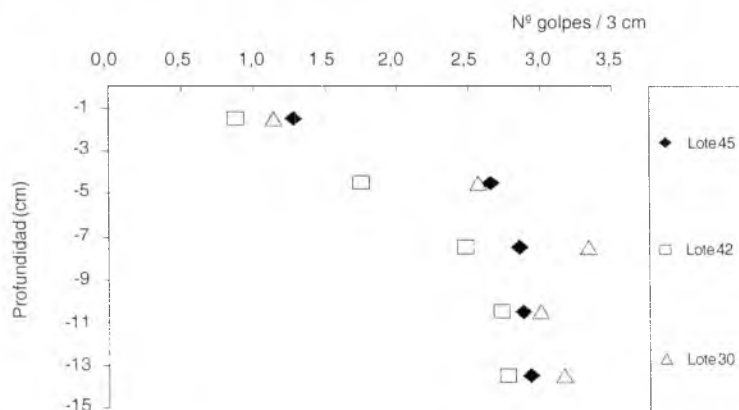


FIGURA 4. Perfil de resistencia mecánica de 0-15 cm de los lotes bajo siembra directa continua.

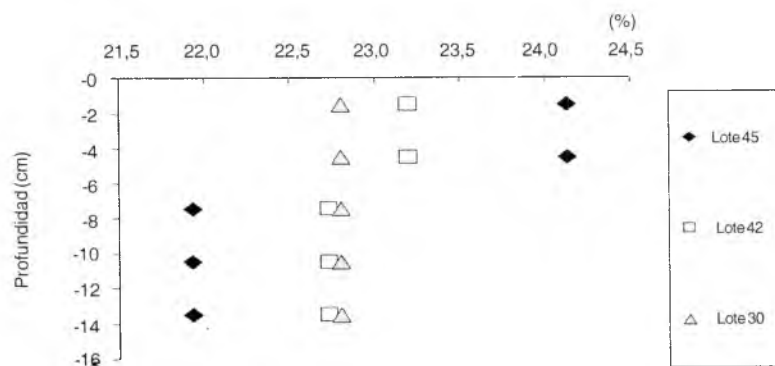


FIGURA 5. Contenido de humedad edáfica de 0-15 cm de los lotes bajo siembra directa continua.

húmedo, presentó mayor resistencia que los otros.

tencia superficial mayores en el lote 45, mientras que el lote 30 presentó los valores mayores en el intervalo de 3 a 9 cm evidenciando la existencia de compactación subsuperficial. El lote 42 presentó los menores valores de resistencia a la penetración a lo largo de todo el intervalo de profundidad estudiado. El contenido de agua en el suelo tampoco diferenció a los tratamientos entre sí, reafirmando la validez de los perfiles de resistencia obtenidos (Fig. 5).

El lote 45 presentó un contenido de agua ligeramente superior en los primeros 6 cm de profundidad respecto de los restantes lotes, lo que resulta importante para reafirmar la condición compactada de dicho lote desde superficie, ya que a pesar de estar más

CONCLUSIONES

- La respiración resultó ser la variable con mayor sensibilidad para diferenciar prácticas de manejo, mostrando diferencias significativas entre las situaciones de estudio, aunque no tuvo la suficiente sensibilidad para diferenciar entre los distintos estados de degradación de suelos bajo siembra directa continua.
- El DMP permitió diferenciar al lote, con mayor grado de degradación al del resto de las situaciones. así como también al casco y la pastura.
- Tanto la respiración del suelo como el DMP estuvieron asociados con el contenido de COT del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- BUYANOVSKY, G.A. and G.H. WAGNER. 1998. Changing role of cultivated land in the global carbon cycle. *Biol. Fertil. Soils* 27:242-245.
- CERDÁ, A. 1998. Soil aggregate stability under different Mediterranean vegetation types. *Catena* 32, 73-86.
- CHAGAS, C.I.; H.J. MARELLI y O.J. SANTANATOGLIA. 1994. Propiedades físicas y contenido hídrico de un Argiudol típico bajo tres sistemas de labranza. *Ciencia del Suelo* 12: 11-16
- CRESPO, L.; L. PICOTE; Y. ANDREOLI y F. GARCÍA. 2001. Poblaciones microbianas y contenido de carbono y nitrógeno del suelo en sistemas de siembra directa y labranza convencional. *Ciencia del Suelo* 19 (1): 30-38.
- DE LEENHEER, L. and M. DE BOODT. 1958. Determination of aggregate stability by the change in mean weight diameter. In: International Symposium on Soil Structure. *Gent. Proceeding* 24:290-300.
- DEXTER, A.R. 1988. Advances in characterization of soil structure. *Soil Tillage Res.* 11: 199-235.
- DORAN, J.W. 1999. Soil health and global sustainability: translating science into practice. In: Proceedings of International Workshop on Soil Quality as an Indicator of Sustainable Land Management. Goulandris Natural History Museum, Gaia Environmental Research and Education Center, Athens, Greece, p. 7.

- DORAN, J.W.; M. LEIBIG and D.P.SANTANA. 1998. Soil health and global sustainability. *In: Proceedings of 16th World Congress of Soil Science*, Montpellier, France, pp. 20-26.
- DORAN, J.W. and T.B. PARKIN. 1994. Defining and assessing soil quality. *In: Doran, J.W.; D.C. Coleman; D.E. Bezdicsek and B.A. Stewart (Eds.), Defining soil quality for a Sustainable Environment*, Soil Science Society of America, Madison, pp.:3-21.
- EACHEVERRÍA, H.; G. STUDDERT; J. ELVERDIN y H. SARLANGUE. 1994. Siembra directa de trigo en el sudeste bonaerense. *Visión rural* 8: 33-38
- GREGORICH, E.G.; M.R. CARTER; D.A. ANGERS; C.M. MONREAL and B.H. ELLERT. 1994. Towards a minimum data set to asses soil organic matter quality in Agricultural soils. *Can. J. Soil Sci.* 74: 367-385.
- GUDELJ, O. y B. MASEIRO. 2000. Efecto del manejo del suelo sobre su estabilidad estructural. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata. CD.ROM
- HAYNES, R.J. and M.H. BEARE. 1996. Aggregation and organic matter storage in meso-thermal, humid soils. *In: M.R. Carter and B.A. Stewart, Editors, Advances in soil science. Structure and organic matter storage in agricultural soils*, CRC, Lewis, Boca Raton, FL (1996), pp. 213-262.
- HILLEL, D. 1980. Soil Structure and Aggregation. *In: Fundamentals of Soil Physics*, Academic Press, Inc, New York. Pp. 93-119.
- JENKINSON, D.S. and D.S. POWLSON. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.* 8: 209-213.
- KERN, J.S. and M.G. JOHNSON. 1993. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 200-210.
- KOOISTRA, M. and N. TOVEY. 1994. Effects of compaction on soil microstructure. *In: B.D. Soane and C. van Quwerkerk, Eds. Soil Compaction in Crop Production*, Elsevier Science (1994), pp. 91-111 (Chapter 5).
- KRÜGER, H.R. 1996. Compactación en Haplustoles del sudoeste bonaerense (Argentina) bajo cuatro sistemas de labranza. *Ciencia del Suelo*, 14: 104-106.
- PARTON, W. J.; D.S. SCHIMEL; C.V. COLE and D.S. OJIMA. 1987. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:1173-1179.
- LEIVA, D. y O. HANSEN. 1984. Sistemas de labranza en la rotación trigo-soja-maíz. III. Las resistencias mecánicas del suelo y el desarrollo radicular del cultivo de maíz. 3 Congreso Nacional del Maíz, Pergamino: 188-200.
- LUNDEGARDH, H. 1972. Ecological studies in the assimilation of certain forest plants and shore plants. *Sven. Bot. Tidskr.* 15:46-94.
- NACCI, S. y I. PLA SENTIS. 1992. Estudio de la resistencia a la penetración de los suelos con equipos de penetrometría desarrollados en el país. *Agronomía Trop.* 42: 115-132
- NELSON D.W. and L.E. SOMMERS. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. Page A L (Ed). *Methods of soil analysis*. Part 2. American Society of Agronomy, USA, Agronomy 9, pp. 539-579.
- NICOLARDOT, B.; J.A.E. MOLINA and M.R. ALLARD. 1994. C and N fluxes between pools of soil organic matter: model calibration with long-term incubation data. *Soil Biol. Biochem.* 26:235-243.
- PALMA R.M.; N.M. ARRIGO; M.I. SAUBIDET and M.E. CONTI. 2000. Chemical and biochemical properties as potential indicators of disturbances. *Biol Fertil Soils.* 32:381-384.
- PAUL, E.A.; D. HARRIS; H.P. COLLINS; U. SCHULTHESS and G.P. ROBERTSON. 1999. Evolution of C₀₂ and soil carbon dynamics in biologically managed, row-crop agroecosystems. *Applied Soil Ecology.* 11:53-65.
- SINGH, J.S.; and S.R. GUPTA. 1997. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. *The Botanical Review.* 43:449-528.
- TABOADA, M.A.; F.G. MICUCCI; D.J. COSENTINO and R.S. LAVADO. 1998. Comparison of compaction induced by conventional and zero tillage in two soils of the Rolling Pampa of Argentina. *Soil Tillage Research* 49:57-63.
- TISDALL, J.M. and J.M. OADES. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33:141-163.