

# MODIFICACIONES DE LA MICROESTRUCTURA Y LA MATERIA ORGÁNICA EN UN ARGUJOL BAJO DISTINTAS CONDICIONES DE CULTIVO Y CONSERVACIÓN

BEATRIZ A BONEL<sup>1</sup>; HÉCTOR JOSÉ MARÍA MORRÁS<sup>2</sup> y VILMA BISARO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario, CC 14, (2125) Zavalla. Email: bonel@arnet.com.ar

<sup>2</sup>INTA-CIRN, Instituto de Suelos, (1712) Castelar. E.mail: hmorras@cirn.inta.gov.ar

Recibido: 16/03/05

Aceptado: 04/07/05

## RESUMEN

En este trabajo se comparan la microestructura y la materia orgánica del estrato superior del horizonte A de un Argiudol típico franco limoso en dos situaciones no laboreadas (NLp: parque en Estación Experimental; NLv: área preservada próxima a vía de ferrocarril) con dos sistemas de manejo agrícola: con residuos incorporados (LR: labranza reducida con discos) y con residuos superficiales (SD: siembra directa). Los análisis micromorfológicos evidenciaron en todos los casos una marcada anisotropía vertical con al menos tres niveles microestructurales dentro de los primeros 10 cm de suelo, siendo sus características notoriamente diferentes entre las situaciones estudiadas. Las situaciones NL evidenciaron la predominancia de huecos de empaquetamiento y rasgos biológicos. La SD se caracteriza por la aparición de agregados laminares subsuperficiales, con predominio de huecos horizontales. Por su parte, la LR se caracteriza por la aparición de costras superficiales, escasa porosidad (representada por fisuras horizontales y vesículas) y escasos restos orgánicos vegetales o animales en superficie. En este trabajo no se detectaron diferencias importantes en cantidad y calidad de la materia orgánica entre las situaciones agrícolas, no existiendo evidencia de una degradación o protección diferente del carbono entre ellas. La estructura laminar permanente en la SD y la costra superficial temporaria en LR actuarían de manera convergente restringiendo la mezcla de las fases orgánica y mineral del suelo. En SD resultaría una mayor conservación de la materia orgánica superficial, pero la actividad biológica no sería suficiente para incorporarla más allá de unos pocos milímetros de profundidad. En LR hay una incorporación más profunda de la materia orgánica, pero con una mayor degradación; de este modo el balance final de la materia orgánica del horizonte superficial sería similar entre ambos tratamientos. La similitud en el "pool orgánico" entre las situaciones agrícolas se refleja también en los resultados del análisis de estabilidad de los agregados mediante el método de Henin.

**Palabras clave.** Micromorfología, carbono orgánico, estabilidad de agregados.

## MICROSTRUCTURE AND ORGANIC MATTER MODIFICATIONS IN AN ARGUJOLL UNDER DIFFERENT CONDITIONS OF CULTIVATION AND CONSERVATION

### ABSTRACT

The microstructure and the organic matter of the upper part of the A horizon of a silty-loamy Typic Argiudoll in two non cultivated situations (NLp: park in an Experimental Station; NLv: preserved area close to a railroad) and under two agricultural management systems (SD: no-till; LR: disk ploughing), are compared. In all cases micromorphological analyses revealed a marked vertical anisotropy constituted by at least three microstructural levels in the first 10 cm of the soil, though the characteristics of those layers differ among the studied situations. Synthetically, NL situations showed a predominance of packing voids and biological features; the SD treatment is characterized by a subsurface layer with laminar aggregates and a predominance of horizontal planar voids; the LR treatment shows a crust development at the surface, low porosity determined by horizontal planar voids and vesicles, together with a lower content of organic residues. There were no significant differences in the quantity and quality of organic matter in the soil comparing SD and LR systems. In this context, it is considered that the long lasting laminar structure developed in the SD system and the temporary surface crust in the LR system are acting in a converging way, both restricting the mixing of organic and mineral phases of the soil. In SD a high accumulation and conservation of the organic compounds occur at the surface, but the biological activity after 10 years of cultivation was not strong enough to incorporate it at more than a few mm of depth. In LR, after ploughing, there is a deeper incorporation of OM, but collaterally a higher degradation occurs. In this way the final balance of the OM in the A horizon appears to be similar in both systems. The similarity in the organic pool between both situations seems to be reflected also by a similar aggregate stability obtained with the Henin method.

**Key words.** Micromorphology, organic carbon, aggregates stability.

## INTRODUCCIÓN

En la Región pampeana se ha difundido en las últimas décadas la siembra directa de cultivos (Fogante, 1999), la cual conduce a condiciones de suelo que difie-

ren marcadamente de las existentes bajo sistemas de labranzas tradicionales. Las labranzas y el manejo de rastros juegan un rol crucial en el uso sustentable del suelo y del agua debido a sus efectos sobre la mayoría de

los indicadores de sustentabilidad (Lal, 1991; Lal, Kimble, 1997; Lattanzi, 1998). Particularmente, la disposición de huecos y agregados difiere entre situaciones con o sin laboreo (Pikul *et al.*, 1990). La disminución de las labranzas contribuye a conservar la continuidad de macroporos, permitiendo la transferencia de fluidos (agua y aire), facilitando de esta manera el crecimiento de las raíces y la actividad de los microorganismos (Porta, 1999). Los suelos bajo siembra directa generalmente presentan menor espacio poroso (Gregorich *et al.*, 1993), aunque la red de poros es generalmente más continua debido a la acción de lombrices y raíces (Cannell, Hawes, 1994). Por este motivo se suele considerar que en este sistema los macroporos tiene una orientación preferentemente vertical (Davies, Payne, 1992; Gregorich *et al.*, 1993). Sin embargo diversos autores han constatado tanto por observación a campo (vg Alvarez *et al.*, 2004), por técnicas físicas indirectas (Sasal *et al.*, 2004), o por análisis micromorfológicos (vg Van der Bygaart, 1999a) la predominancia de huecos orientados horizontalmente.

Por otra parte se cita que la no remoción del suelo y el manejo superficial de residuos aumentaría la resistencia de los agregados a la desintegración (Unger, 1997). Esta particularidad es atribuida por algunos autores a la conservación del carbono dentro de los macroagregados (Beare, 1997; Beare *et al.*, 1997; Salinas-García *et al.*, 1997). La ruptura de agregados por acción de las labranzas causa la pérdida de la materia orgánica intraagregados, debido a que es más fácil de mineralizar que la que se encuentra en la superficie de los agregados y entre los agregados (Lilienfein *et al.*, 1998). La estabilidad de los agregados es una propiedad importante dado que ayuda a mantener una alta infiltración de agua al resistir la formación de costras, favoreciendo la aireación y retención de agua para las plantas (Kladivko, 1994; Unger, 1997).

Las técnicas no destructivas de análisis son las más adecuadas para entender el funcionamiento del suelo (Colleville; Braudean, 1996). En este sentido, el estudio de la morfología del suelo a través de la descripción y el análisis de cortes delgados provee información acerca de la microestructura del suelo, lo cual incluye: tamaño, forma, disposición de agregados, así como orientación, forma y tamaño de poros. De esta manera constituye un complemento de las descripciones mesomorfológicas y ayuda a interpretar el comportamiento del suelo (Wierchos *et al.*, 1997; Dijkstra, 1998). El espacio de huecos correspondiente a la porosidad intraagregados y a la forma de relacionarse entre ellos, aporta valiosa información para entender el movimiento de agua y fluidos en el suelo (Porta *et al.*, 1999). La geometría de los poros (espacios irregulares no rígidos) y de sus intercomunicaciones es la que controla el comportamiento del agua, y proporciona mayor información acerca de los procesos de transfe-

rencia y la vida en el suelo que el valor numérico de la porosidad (Porta *et al.*, *op.cit.*).

En consecuencia, el objetivo de este trabajo ha sido comparar las modificaciones de la microestructura y de la materia orgánica del estrato superficial de un Argiudol típico del sureste cordobés resultantes de prácticas de manejo con residuos superficiales y con residuos incorporados, combinando diversas determinaciones químicas y físicas con técnicas de análisis microscópico.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El sitio estudiado se encuentra en las proximidades de la localidad de Marcos Juárez (32° 40' S, 62° O), provincia de Córdoba. El suelo corresponde a un Argiudol típico (Soil Survey Staff, 2003), serie Marcos Juárez (limosa fina, mixta, térmica). Texturalmente el horizonte Ap (0-19 cm) está compuesto por 6% de arena, 69% de limo y 25% de arcilla. La serie Marcos Juárez es un suelo oscuro, profundo y bien drenado, ubicado en las lomas casi planas de los escalones estructurales de la llanura cordobesa-santafesina y desarrollado sobre sedimentos loésicos franco limosos. La arcilla predominante es la illita y la pendiente promedio del área es del 0,5%. El clima es subhúmedo templado, con inviernos secos. La temperatura media anual es de 16,9 °C, siendo la máxima 24 °C y la mínima 10,6 °C. La precipitación anual es de 894 mm (INTA, 1988).

A partir de entrevistas con técnicos y productores de la zona se escogieron seis situaciones agrícolas con rasgos comunes de producción: historia de uso agrícola entre 15 y 30 años, secuencia de cultivos en los últimos 10 años incluyendo soja, trigo y maíz, fertilización de gramíneas con nitrógeno y fósforo. En tres de ellas, se realiza un manejo de rastrojos tendiente a su acumulación en superficie (SD), efectuándose la siembra directa de los cultivos sobre el rastrojo del antecesor. En las otras tres los residuos son incorporados (LR) con 1 a 2 labores de rastra de disco. Asimismo, se seleccionó el parque de la EEA INTA Marcos Juárez (NLp) y sectores no removidos cercanos a las vías del ferrocarril (NLv), considerados como situaciones de máxima conservación para ser utilizados como referencia. En un sector representativo de cada situación a analizar, se estableció un área de estudio de 50x50 metros.

Para el estudio micromorfológico se tomaron muestras no disturbadas a dos profundidades del horizonte A, con tres repeticiones de cada situación. La primera (muestra 1) abarca desde la superficie del suelo hasta unos 4-5 cm de profundidad. La segunda (muestra 2) llega hasta los 10 cm de profundidad. El análisis de las características y organización del espacio poroso y de los componentes sólidos del suelo se realizó mediante técnicas microscópicas primero sobre las muestras naturales antes de su impregnación y luego sobre las muestras preparadas en corte delgado (Bullock *et al.*, 1985). La superficie del suelo en su plano horizontal y las secciones verticales naturales y en corte delgado fueron descriptas y fotografiadas con un microscopio Wild equipado con luz incidente y con sistema de polarización en luz transmitida. La información descriptiva del espesor superficial del suelo fue complementada mediante observaciones de agregados individuales correspondientes a diferentes tamaños, utilizando el instrumental mencionado anteriormente.

A partir de una muestra compuesta por diez submuestras, correspondientes al horizonte superficial, se determinó textura por el método de la pipeta (Gee, Bauder, 1986), distribución del

tamaño de agregados secos en los rangos > 8 mm; 8-4,75 mm; 4,75-3,35 mm; 3,35-2 mm; 2-0,5 mm; 0,5-0,25 mm y < 0,25 mm, carbono orgánico total (Nelson, Sommers 1982), carbono liviano (Ritcher *et al.*, 1975) y estabilidad de los agregados mayores de 0,2 mm (Henin *et al.*, 1972). Los análisis de laboratorio se efectuaron por duplicado. Los resultados fueron analizados aplicando el modelo a un criterio de clasificación, utilizando el procedimiento del Modelo Lineal General (GLM) del paquete estadístico Statistical Analysis Systems (SAS Institute, INC., 1994). La separación de las medias entre las distintas situaciones fue obtenida por el test de Duncan ( $p < 0,05$ ).

Para caracterizar la cobertura superficial se cuantificó la materia seca presente en superficie como peso seco a estufa ( $\text{gr m}^{-2}$ ) y el porcentaje de cobertura de suelo por el método de la línea transecta (Morrison *et al.*, 1993), sobre seis repeticiones.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cobertura de suelo varió de acuerdo al uso, desde 100% en los lotes con máxima conservación a un 10% en los lotes con rastrojo incorporado al momento de la siembra. Los lotes bajo siembra directa tuvieron valores de cobertura entre 80% y 90%. Al momento de muestreo la materia seca superficial promedio alcanzó valores de  $2.100 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $303 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $4.950 \text{ kg ha}^{-1}$  para SD, LR y NL respectivamente.

Las características superficiales de las situaciones con cobertura (SD y NL) en la observación microscópica revelan la presencia de gran cantidad de restos vegetales, de organismos vivos y muertos, agregados de mayor tamaño y de aspecto rugoso. El aspecto liso, con agregados de menor tamaño, aparición de costras superficiales, baja actividad biológica y material vegetal, caracteriza a situaciones donde los rastrojos son incorporados (LR).

Por su parte, las observaciones microscópicas en corte delgado permitieron constatar una clara variación microestructural con la profundidad. En todos los casos dentro de los 4-5 cm superiores de la muestra 1 pudieron distinguirse dos capas (I y II) las que, en algún caso, a su vez fue posible subdividir. Por otro lado, en los cortes delgados de la muestra 2, en la profundidad que va de 4 a 10 cm se constató un tercer nivel microestructural (III) distinguible de los dos superiores. Si bien todos los tratamientos se asemejaron en la anisotropía vertical con al menos tres niveles (I, II y III) dentro de los primeros 10 cm de suelo, las características microestructurales de las capas difirieron notoriamente entre las situaciones.

En las situaciones NL, en el microespesor superficial (I) se apreció alta rugosidad, porosidad y presencia de restos orgánicos. El tipo de huecos predominantes correspondió al de empaquetamiento, ya sea entre agregados o entre agregados y restos vegetales. También

abundan los agrotúbulos (Figura 1). En el espesor sub-superficial entre los 2 y 4 centímetros del suelo (capa II) la situación NLv cercana a la vía revela agregados sub-angulares en una microestructura grumosa a fragmentada (Figura 1-a). Por el contrario, en el suelo del parque NLp aparecen agregados con fisuras y cavidades finas siendo en conjunto menos poroso que el caso anterior (Figura 1-b). Más abajo, en la capa III, en las dos situaciones de suelo no laboreado (NLp, NLv) predominan los huecos y rasgos de origen biológico (canales y agrotúbulos) (Figura 1); sin embargo, ambas situaciones son menos porosas que la situación de labranza reducida LR (Figura 3).

En la situación en siembra directa SD, y de manera similar a la situación NL, en la capa superficial I también son abundantes los restos vegetales, los rasgos de origen biológico y una microestructura esponjosa a grumosa (Figura 2). Por el contrario, en la capa II, inmediatamente por debajo de la superficie, se destaca la aparición de estructuras y agregados laminares, con predominio de fisuras y huecos horizontales, siendo ésta la principal característica diferencial respecto a las otras situaciones estudiadas (NL y LR). Asimismo, la capa III en la situación de siembra directa es menos porosa que en la de labranza reducida, apareciendo también fisuras y cavidades con disposición horizontal aunque notoriamente menos marcadas que en la capa II.

De acuerdo al grado de desarrollo de cada capa, en la situación de SD se distinguieron dos subtipos de este modelo microestructural (Morrás *et al.*, 2004): el subtipo "a" corresponde a una capa I de poco desarrollo y una capa II con estructura laminar fuerte y espesa (Figura 2-a); el subtipo "b" corresponde a una capa II de laminación mas débil y/o con agregados laminares disturbados por la actividad biológica (Figura 2-b).

La estructura platiforme en suelos limosos y francos se presenta especialmente después de tránsito repetido (Slowinska - Jurkiewicz, Domzal, 1991). Probablemente la aparición de la estructura laminar en SD en el suelo estudiado se deba al efecto del paso de las maquinarias utilizadas en la fertilización y protección de los cultivos y en la cosecha de granos y a la falta de remoción que regenere la macroporosidad, tal como ocurre en cambio en el suelo laboreado LR.

Según Cannell, Hawes (1994), la disminución de las labranzas favorece el mantenimiento de la continuidad de macroporos, debido a la acción de lombrices y raíces. No obstante, en la situación de siembra directa SD aquí estudiada, y al menos en los primeros 10 cm de suelo, predominaron los huecos con sentido horizontal. Este resultado se contradice con lo informado por otros autores, en el sentido de la aparición de grietas y canales

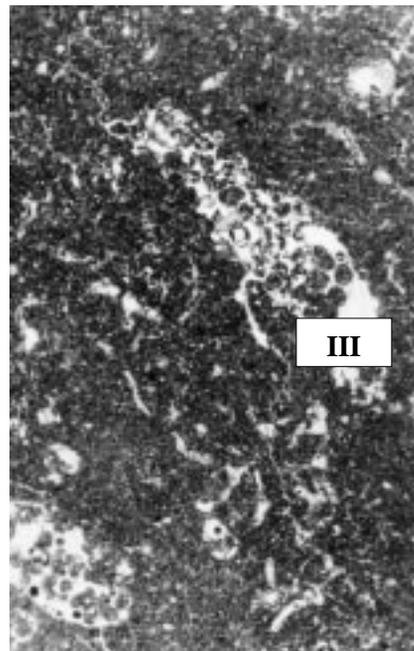
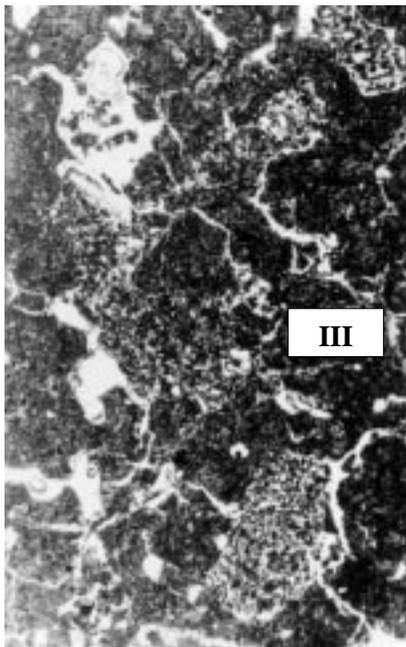
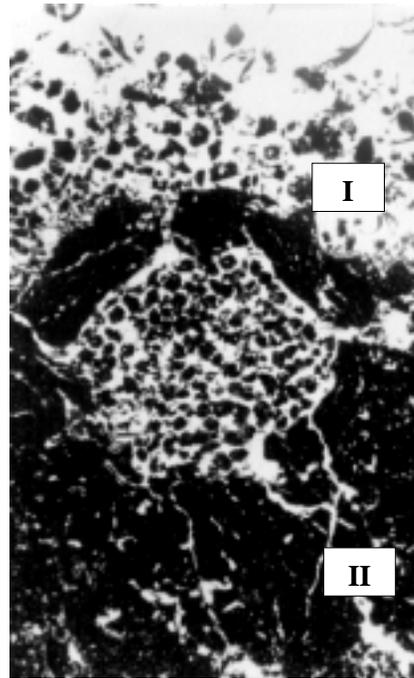
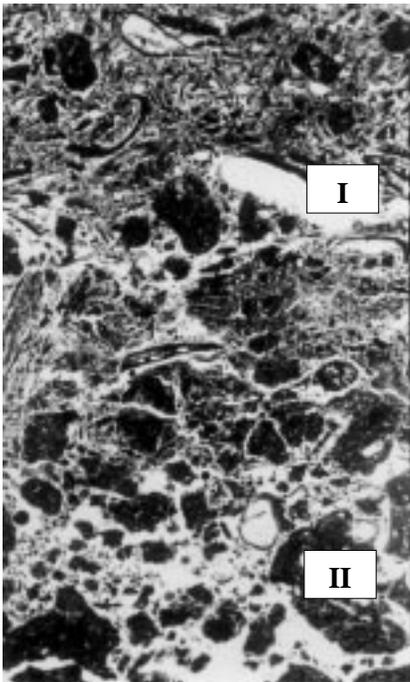


Fig. 1-a

Fig. 1-b

FIGURA 1. Niveles microestructurales (I, II y III) observados en las situaciones de suelo no laboreado (NL). 1-a: sitio próximo a la vía de ferrocarril (NLv). 1-b: sitio en el parque de la Estación Experimental. Aunque presentan diferencias morfológicas en las capas I y II, ambas situaciones se caracterizan por la abundante actividad biológica.

FIGURE 1. Microstructural levels (I, II and III) observed in non cultivated soil situations (NL). 1-a: site close to the railroad (NLv). 1-b: site in the park of the Experimental Station. Although those situations show some morphological differences in their layers I and II, both are characterized by an abundant biological activity.

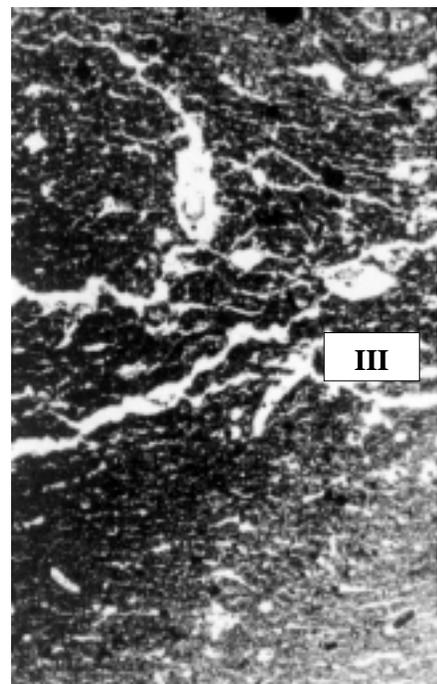
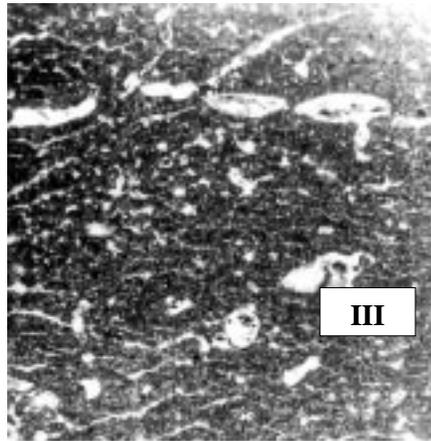
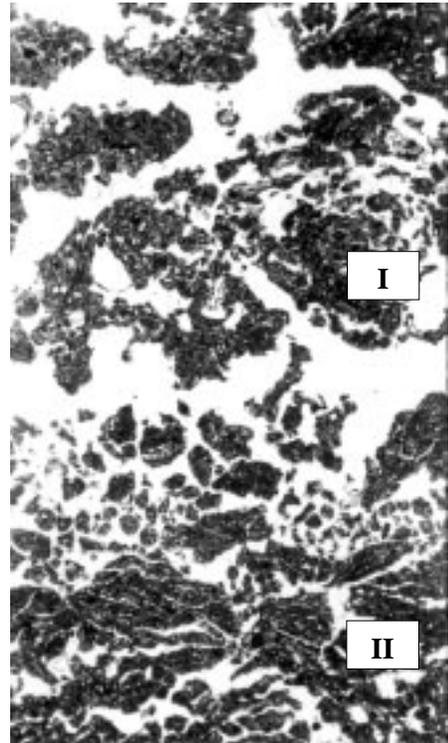
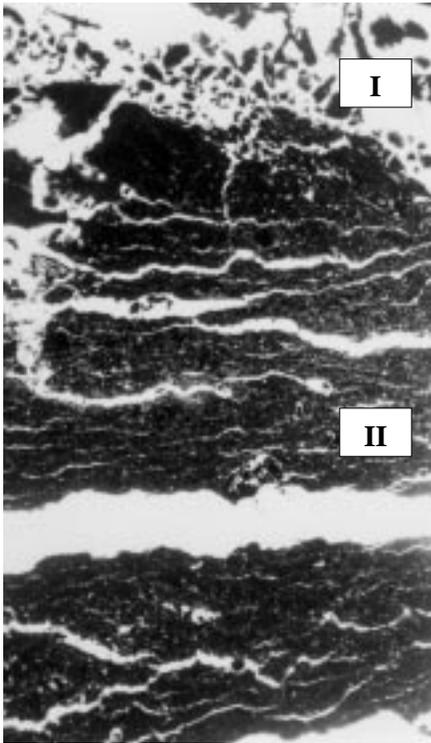


Fig. 2-b

Fig. 2-b

FIGURA 2. Morfología microscópica del suelo cultivado en siembra directa (SD). 2-a: subtipo “a” del modelo estructural de SD, caracterizado por una fuerte laminación. 2-b: subtipo “b” del modelo estructural, caracterizado por la bioturbación de la estructura laminar.

FIGURE 2. Microscopic morphology of the soil under no-till (SD). 2-a: subtype “a” of the no-till structural model, characterized by a strong lamination. 2-b: subtype “b” of the no-till structural model, characterized by bioturbation of the laminar structure.

verticales, como paliativo de la menor porosidad encontrada generalmente en los sistemas donde la labranza está ausente (Davies, Payne, 1992; Gregorich, 1993; Koppi, 1994). Sin embargo, la morfología observada coincide con los resultados obtenidos por Shipitalo, Protz (1987) y Vandenberg *et al.* (1999 a; b) en suelos de Canadá y por Drees *et al.* (1994) en un suelo de los Estados Unidos. En este sentido, en principio puede considerarse que el predominio de poros horizontales produce cambios desfavorables de las propiedades físicas del suelo (Slowinska-Jurkiewicz, Domzal, 1991). Este efecto sería contrarrestado por la actividad de la fauna a través de la formación de bioporos, la mezcla de material y la formación de microagregados; en consecuencia, en el sistema de SD se genera una situación dinámica cuyo balance e influencia en los flujos hídricos será función del efecto contrapuesto entre las fuerzas compactivas y la actividad biológica (Morrás *et al.*, 2004).

Por su parte, la morfología superficial (capa I) en los lotes con labranza reducida LR se caracterizó por la aparición de costras, escasa porosidad (representada por fisuras horizontales y vesículas) y escasos restos orgánicos vegetales o animales (Figura 3). La presencia de costras superficiales que sellan la conexión de los macroporos, pueden afectar la funcionalidad del suelo, al reducir su efectividad hidrológica (Pikul *et al.*, 1990). Subsuperficialmente por el contrario, en el suelo laboreado con labranza reducida LR el aspecto general es más poroso que el de las situaciones no laboreadas, caracterizándose por la presencia de huecos de empaquetamiento, cavidades, fisuras y canales (Figura 3).

El análisis de la distribución de agregados refleja también las diferentes condiciones físicas de los distintos tratamientos. La proporción de macroagregados fue significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) entre situaciones, correspondiendo a valores del 65%, 54% y 40% para NL, SD y LR, respectivamente. Siendo las labranzas la principal causa de la distribución de tamaños de los agregados de suelo, se corrobora en este trabajo el predominio de agregados mayores de 8 mm y la menor proporción de agregados menores de 2 mm (Tabla 1) en los primeros centímetros de suelo en las situaciones con cobertura, sean estas el resultado del no laboreo o de la siembra directa (NL y SD). Estos resultados coinciden con un estudio realizado por Cosentino *et al.* (1996) en el mismo suelo, así como con resultados de otros autores en suelos y manejos similares (Chagas *et al.*, 1995; Chagas *et al.*, 1996; Cosentino *et al.*, 1996; Yang, Wander, 1998) y en suelos con granulometrías diferentes (Díaz Zorita, 1999).

Bajo condiciones de no laboreo o laboreo mínimo se propicia como mecanismos de agregación los procesos de cohesión, que ocurren en presencia de agua; y meca-

nismos biológicos como los de “adhesión”, resultante del aglutinamiento favorecido por exudados rizosféricos, y el “entretejido”, debido a la acción directa de las raíces e hifas de hongos (Degens, 1997). Estas condiciones determinan los mayores niveles jerárquicos de la agregación. En situaciones laboreadas es mayor la proporción de agregados menores de 2 mm, debido principalmente al refinamiento provocado por los implementos de labranzas. En este caso la desagregación de macroagregados mayores de 250  $\mu\text{m}$  ocurre por la pérdida de raíces e hifas, producida por el manejo y las labranzas.

En el horizonte superficial del suelo de Marcos Juárez los contenidos de carbono orgánico y carbono liviano fueron mayores en los sitios no laboreados que en los cultivados LR y SD (Tabla 2). El carbono orgánico ligado no fue diferente entre situaciones agrícolas y sitios no laboreados, indicando ser la fracción menos alterada por el uso. Las pérdidas de carbono orgánico coinciden con los valores citados por Andriulo y Cordone (1998) para Argiudoles típicos de Pergamino, variando entre 25 y 28%, aunque son menores que los informados por Michelena (1989) para la serie Marcos Juárez. Por el contrario en este trabajo no se detectaron diferencias importantes en cantidad y calidad de la materia orgánica entre las situaciones agrícolas (LR y SD), no existiendo evidencia de una protección o “secuestro” diferente de carbono entre ellas. Estos resultados coinciden con algunos autores que trabajaron en Argiudoles típicos de la Región pampeana (Ostinelli, Vivas 1996; Ferreras *et al.*, 1998; Alvarez *et al.*, 2004), aunque difieren de los de otros autores (Alvarez *et al.*, 1998).

La falta de diferencias en contenido de carbono total o sus fracciones entre el suelo laboreado y la siembra directa en Argiudoles típicos pampeanos ha sido atribuida a ingresos de carbono y condiciones iniciales semejantes (Alvarez *et al.*, 1998; Andriulo, Cordone, 1998; Urriarriet, Lavado, 1999). De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo la interpretación de la similitud del contenido de C orgánico en el suelo debería quizás buscarse, aunque resulte paradójico, en las diferentes condiciones microambientales entre los dos sistemas de cultivo.

Así, a similares producciones de materia seca superficial, el contenido de materia orgánica en los primeros centímetros del suelo, en mezcla con la materia inorgánica, debe encontrarse relacionada tanto con los factores que influyen favoreciendo o impidiendo la mezcla de ambas fases como con los procesos de degradación oxidativa de la fracción orgánica. En el caso de la labranza la mezcla sin duda se halla periódicamente favorecida, así como también al mismo tiempo se incrementa su degradación.

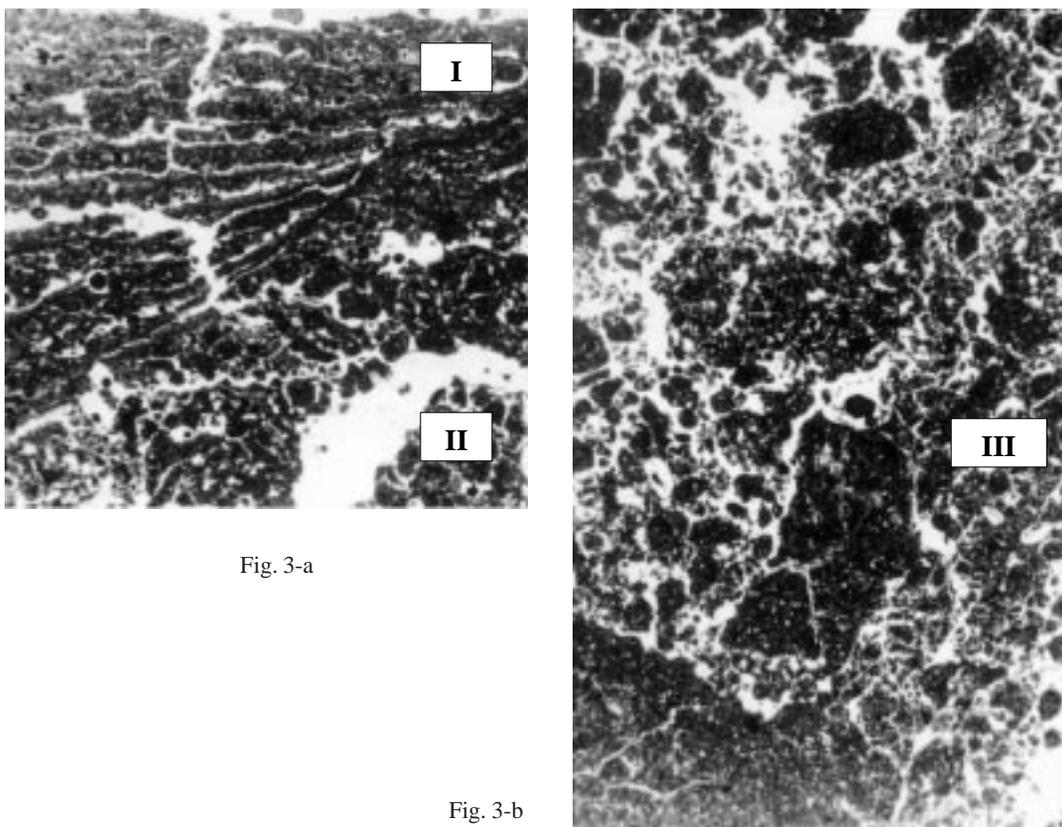


Fig. 3-a

Fig. 3-b

FIGURA 3. Suelo labreado con arado de discos. En el nivel I puede constatarse la escasez de restos vegetales y la formación de una costra superficial de tipo sedimentario. Los niveles II y III presentan una porosidad abundante constituida por huecos de empaquetamiento.

FIGURE 3. Ploughed soil. In the layer I the scarcity of plant residues and the formation of a sedimentary crust, can be observed. Layers II and III show a high porosity produced by packing voids.

TABLA 1. Distribución porcentual del tamaño de agregados en cada situación analizada, correspondiente al espesor 0-5 cm.

TABLE 1. Aggregates size distribution (in %) in a depth of 0-5 cm, for the three studied situations (LR: disk ploughing; SD: no till; NL: non cultivated soil).

Tamaño	LR	SD	NL
> 8,00 mm	19	31	29
8,00 – 4,75 mm	15 c	18 b	21 a
4,75 – 3,35 mm	6 b	7 b	10 a
3,35 – 2,00 mm	11	12	15
2,00 – 0,50 mm	19 a	15 ab	13 b
0,50 – 0,30 mm	12 a	7 b	4 c
0,30 – 0,25 mm	1	1	1
< 0,25 mm	17 a	9 b	8 b

Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) dentro de cada fila.

TABLA 2. Carbono orgánico total (COT), carbono liviano (CLv) y carbono ligado (CLg) para las situaciones analizadas.  
TABLE 2. Total organic carbon (COT), light carbon (CLv) and linked carbon (CLg) for the three studied situations.

% Carbono orgánico	LR	SD	NL
% COT	1,69 b	1,62 b	2,24 a
% CLv	0,289 b	0,207 b	0,477 a
% CLg	1,41	1,42	1,76

Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) dentro de la fila.

Esto se corresponde con una microestructura porosa y abierta a la circulación con la atmósfera externa durante los períodos de laboreo. En el caso de la SD, la microestructura laminar que se genera sugiere por el contrario la existencia de una restricción en la mezcla de ambas fases, la que no sería suficientemente compensada por la mayor actividad biológica de este sistema. En el caso estudiado, los restos orgánicos se acumulan en superficie y la mezcla con la fracción mineral se produce en una capa muy delgada de unos pocos milímetros de espesor.

Podría hipotetizarse en consecuencia, que la estructura laminar permanente en la SD y la costra superficial temporaria el LR actuarían de manera convergente, restringiendo ambas microestructuras la mezcla de las fases orgánica y mineral del suelo. En el caso de la SD habrá una mayor conservación de la materia orgánica, pero la actividad biológica no sería suficiente para incorporarla mas allá de unos pocos milímetros de profundidad. En la LR hay una incorporación más profunda de la materia orgánica, pero al mismo tiempo una mayor degradación.

El balance final de la materia orgánica en el suelo para ambas situaciones sería, por estas causas contrastantes, similar.

La similitud en el “pool orgánico” entre situaciones agrícolas y la diferencia entre éstas con el sitio testigo puede constatararse también al analizar la estabilidad de los agregados. La metodología escogida para evaluar esta propiedad (Henin, 1972) permite identificar diferentes causas de pérdida de la misma a través de los pretratamientos. La estabilidad de los agregados sumergidos en agua es función de la calidad de su porosidad, esto es del tamaño y continuidad de poros que permitan el desalojo paulatino del aire, disminuyendo así la ruptura por estallido. El pretratamiento de los agregados con alcohol antes de su humectación preserva a éstos del estallido, produciéndose en este caso la ruptura por disminución de la cohesión frente a las fuerzas de hinchamiento y dispersión. Por su parte el pretratamiento con benceno refleja el rol de la materia orgánica al fijarse sobre ésta e impedir la humectación de la matriz; el benceno no fijado, al no ser miscible con el agua, produce un efecto altamente destructivo en los agregados (Henin, 1972; de Orellana, Pilatti, 1994).

En primer lugar, los resultados obtenidos en los diferentes tratamientos muestran una clara diferencia entre la estabilidad de los agregados de las dos situaciones de suelo bajo cultivo (SD y LR) con la del suelo no cultivado (NL) (Tabla 3). Este hecho se observa en particular en la baja estabilidad de las muestras de situaciones agrícolas pretratadas con benceno, lo que indica que la cantidad y disposición de la materia orgánica no es suficiente para fijar el benceno manifestándose un mayor poder destructivo del solvente luego de la humectación con agua. Por otra parte, el ensayo con agua sin pretratamiento (Ag H<sub>2</sub>O) así como la estabilidad relativa en agua (Er H<sub>2</sub>O) en

TABLA 3. Estabilidades al agua absolutas (% Ag) y relativas (Er) de agregados mayores a 0,2 mm con pretratamiento alcohol (OH), agua (H<sub>2</sub>O) y benceno (Be), de las tres situaciones estudiadas.

TABLE 3. Absolute (% Ag) and relative (Er) stability in water of soil aggregates larger than 0.2 mm, after pretreatment with alcohol (OH), water (H<sub>2</sub>O) and bencene (Be), for the three studied situations.

Situación	% Ag OH	Er OH	% Ag H <sub>2</sub> O	Er H <sub>2</sub> O	% Ag Be	Er Be
LR	49 b	61	13 c	17 *	3 b	6
SD	53 b	67	26 b	33 *	10 b	21
NL	77 a	100	69 a	100	48 a	100

Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) dentro de cada columna, (\*) indica diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) según prueba de varianza (F de Snedecor) y comparación de medias por Student.

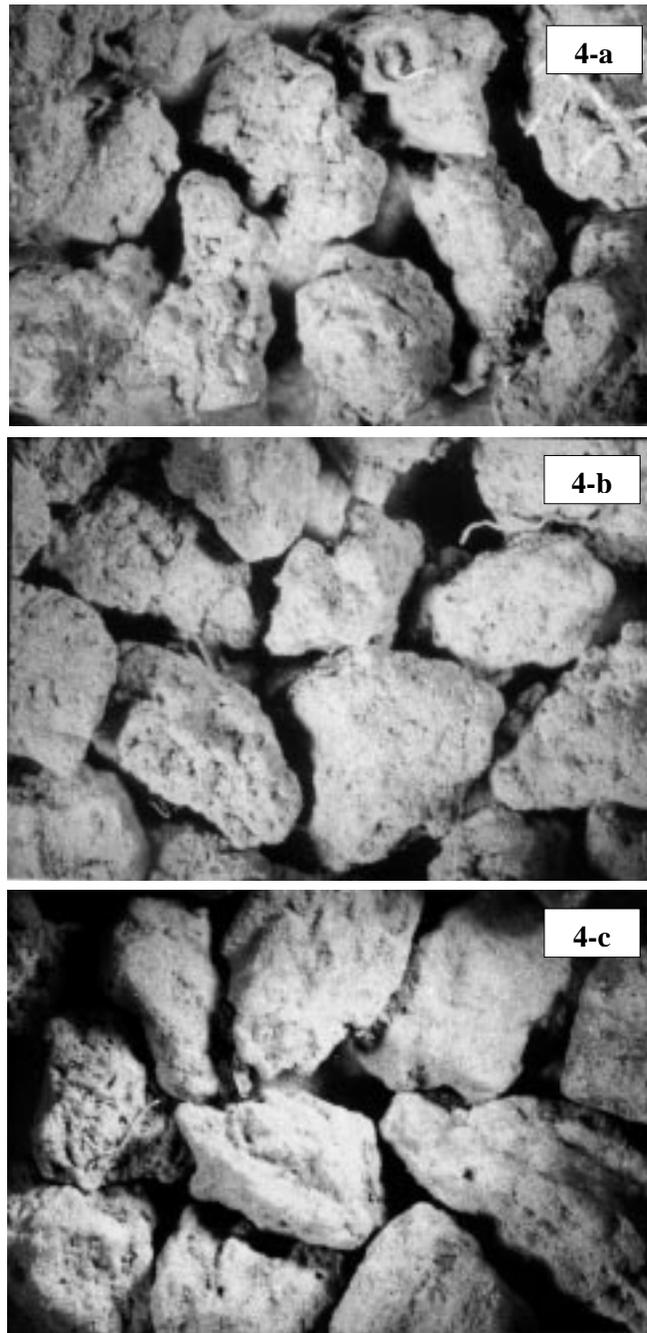


FIGURA 4. Morfología de los agregados de suelo de la fracción 4-8 mm, observados en microscopía óptica. 4-a: suelo no laboreado (NL); los agregados tienen morfología irregular y abundante porosidad. 4-b: suelo cultivado con arado de discos (LC); algunos agregados son irregulares y porosos y otros son de superficie lisa y escasa porosidad. 4-c: suelo cultivado en siembra directa (SD); además de los dos tipos anteriores, se observan agregados de morfología laminar.

FIGURE 4. Morphology of soil aggregates from the 4-8mm fraction, observed under optical microscopy. 4-a: non cultivated soil (NL); the aggregates are irregular and porous. 4-b: ploughed soil (LC); some aggregates are irregular and porous while others show a smooth surface and scarce porosity. 4-c: soil under no-till (SD); besides the two previously mentioned morphological types, laminar aggregates are here observed.

comparación con la estabilidad relativa en alcohol (Er OH), reflejan la susceptibilidad al estallido de las muestras de suelo cultivado, y en consecuencia la degradación de la porosidad en relación al suelo no laboreado.

En segundo lugar, la cantidad de agregados estables al agua luego de los pretratamientos con alcohol (% Ag OH) y benceno (% Ag Be) no fueron diferentes en forma significativa entre SD y LR ( $p < 0,05$ ). Sin embargo, los datos obtenidos muestran que en ambos casos la cantidad de agregados estables con pretratamiento con benceno (% Ag Be) es menor a la obtenida en los otros ensayos. Este resultado evidencia la baja estabilidad derivada de la pérdida de materia orgánica respecto a la situación de suelo virgen, y confirman la similitud en el "pool" orgánico entre ambas situaciones de cultivo.

Por el contrario, los resultados obtenidos del ensayo sin pretratamiento (% Ag H<sub>2</sub>O) indican una mayor estabilidad en SD que en la situación LR. Este hecho sugiere que la no remoción favorecería la interconexión de los poros intra-agregado, permitiendo el desalojo paulatino del aire y disminuyendo el estallido de los agregados. La cantidad de poros no parecería intervenir como causa de la diferencia de estabilidad entre las dos situaciones, ya que las descripciones microscópicas sobre agregados mayores de 4,75 mm y en cortes delgados revelaron un menor número de poros pero de mayor desarrollo longitudinal en siembra directa que en la situación laboreada.

De Orellana y Pilatti (1994) determinaron valores de estabilidad relativa para una amplia gama de suelos de la provincia de Santa Fe y los relacionaron con estados de degradación. Los resultados aquí obtenidos (Tabla 3), indicarían en consecuencia un estado cercano a un punto de alarma (0,37) para SD, y un estado degradado (0,19) para LR.

Por otra parte, el enfoque descriptivo de la microestructura permitió establecer indicadores de existencia de una jerarquía de agregación en las situaciones con menor grado de disturbio. En NL el análisis de los agregados individuales de diferentes tamaños reveló la acción de las raíces en el enlace o entretejido de agregados más pequeños en otros más grandes, tal cual lo descrito por Oades (1991). Esta participación de las raíces en la formación y estabilización de la estructura es menor en SD y casi desaparece en LR. Las características morfológicas de los agregados también fueron notoriamente diferentes. En NL se repite en los distintos niveles jerárquicos el aspecto rugoso y la morfología irregular de los agregados (Figura 4-a). En LR se identifican agregados lisos y rugosos, pero a partir del mayor tamaño (Figura 4-b). En SD se presentan agregados rugosos y lisos; particularmente entre estos últimos es de destacar la presencia de agregados de morfología laminar (Figura

4-c). La aparición de diferencias morfológicas dentro de una misma situación de manejo agrícola se lo considera un hallazgo de interés, aparentemente no citado por otros autores. En LR y SD los agregados de aspecto liso presentan, además, menor porosidad interna y vinculación con restos orgánicos, mientras que los agregados de aspecto rugoso presentan características opuestas a los anteriores.

En síntesis, las modificaciones impuestas por las diferentes condiciones de cultivo se traducen en el suelo estudiado en diferencias en la organización y características del espacio sólido y poroso en los primeros centímetros del suelo, no afectando en forma diferencial al "pool" de carbono orgánico. En siembra directa la interacción entre efectos físicos y biológicos es dinámica y compleja; los resultados obtenidos a través del análisis microestructural y el estudio de la morfología y estabilidad de agregados proveen una interpretación alternativa del proceso de acumulación de la materia orgánica en este sistema de manejo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, C; F Gutiérrez Boem; M Taboada; P Prystupa & J Ocampo *et al.* 2004. Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo bajo distintos manejos en el norte de Buenos Aires. *Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, Paraná, (editado en CD).
- Alvarez, R; ME Russo; P Prystupa; JD Scheiner & L Blotta. 1998. Soil carbon pools under conventional and no-tillage systems in the Argentine Rolling Pampa. *Agron. J.* 90: 138-143.
- Andriulo, A & G Cordone. 1998. Impacto de labranzas y rotaciones sobre la materia orgánica de suelos de la región pampeana húmeda. En J.L. Panigatti (ed.). *Siembra Directa*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación-INTA, pgs 65-96.
- Beare, MH. 1997. Fungal and bacterial pathways of organic matter decomposition and nitrogen mineralization in arable soils. In: Brussaard and Ferrera-Cerrato (Editors), *Soil Ecology in Sustainable Agricultural Systems*, Advances in Agroecology. CRC Press/Lewis Publishers, New York. Pp. 37-69.
- Beare, MH; S HU; DC Coleman & PF Hendrix. 1997. Influences of mycelial on soil aggregation and organic matter storage in conventional and no-tillage soils. *Applied Soil Ecology* 5: 211-219.
- Bullock, P; N Fedoroff; A Jongerijs; G Stoops & T Tursina *et al.* 1985. Handbook for soil thin section description. Waine Research Publications. *Albrighton, U.K.* 152 pp.
- Cannell, RQ & JD Hawes. 1994. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. *Soil and Tillage Research* 30: 245-282.

- Chagas, CI; OJ Santanatoglia & MG Castiglioni. 1995. Tillage and cropping effects on selected properties of an Argiudoll in Argentina. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 26: 643-655.
- Chagas, CI; MG Castiglioni; OJ Santanatoglia & HJ Marelli. 1996. Distribución superficial y subsuperficial y estabilidad de agregados bajo diferentes cultivos y labranzas en Marcos Juárez, Córdoba. XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. La Pampa, del 19 al 24 de mayo de 1996. Pg 13.
- Colleivulle, H & E Braudeau. 1996. A soil fractionation related to soil structural behaviour. *Aust. J. Soil Res.* 34: 653-669.
- Cosentino, D; A Costantini & A Segat. 1996. Variaciones en carbono orgánico, carbono de la biomasa microbiana y su relación con algunas propiedades físicas de un suelo sometido a diferentes sistemas de labranza. *Actas XV Congreso de la Ciencia del Suelo.* La Pampa, mayo de 1996. Pg 49.
- Davies, DB & D Payne. 1992. Manejo de las propiedades físicas del suelo. *En: A. Wild (ed.)*. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Ed. Mundi Prensa, Madrid, España, pgs. 431-470
- De Orellana JA & MA Pilatti. 1994. La estabilidad de agregados como indicador edáfico de sostenibilidad. *Ciencia del Suelo* 12 (2): 75-80
- Degens, BP. 1997. Macro-aggregation of soils by biological bonding and binding mechanisms and the factors affecting these: a review. *Aust. J. Soil Res.* 35:431-459.
- Díaz Zorita, M. 1999. Efectos de seis años de labranzas en un Hapludol del noroeste de Buenos Aires, Argentina. *Ciencia del Suelo* 17 (1) 31-36.
- Dijkstra, EF. 1998. A micromorphological study on the development of humus profiles in heavy metal polluted and non-polluted forest soils under Scots pine. *Geoderma* 82: 341-358.
- Drees, L; A Karathanasis; L Wilding & R Blevins. 1994. Micromorphological characteristics of long-term no-till and conventionally tilled soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58: 508-517
- Ferrerías, La; JJ De Batistta; A Ausilio & C Pecorari. 1998. Efecto de dos sistemas de labranza sobre las propiedades físicas de un Argiudol típico. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Córdoba. Pg 23.
- Fogante, R. 1999. La siembra directa en la Argentina: perspectivas y metas a alcanzar. 7º Congreso Nacional de AAPRESID. Tomo II. Conferencias, Disertaciones, Paneles y Superpaneles. pgs. 143-156.
- Gee, GW & JW Bauder. 1986. Particle-size analysis. *In A. Klute (ed.)*. Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph N° 9 (2nd Edition). ASA and SSSA. Madison, WI. Pp. 383-411.
- Gregorich, EG; Wd Reynolds; JLB Culley & MA Mc Govern. 1993. Changes in soil physical properties with depth in a conventionally tilled soil after no-tillage. *Soil and Tillage Research* 26 : 289-299.
- Hénin, S; R Grass & G Monnier. 1972. El Perfil Cultural. Ediciones Mundi-Prensa. 342 pgs.
- INTA - Secretaría de Agricultura y Ganadería de la Nación. 1988. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja 3363-18-Armstrong.
- Kladivko, EJ. 1994. Residue effects on soil physical properties. *In: Managing Agricultural Residues.* Paul Unger Ed. Lewis Publishers. Pp. 123-142.
- Koppi, AJ; DC Mckenzie & JT Douglas. 1994. Images of soil structure for illustration of machinery effects. *J. Agric. Engng. Res.* 57: 67-72.
- Lal, R. 1991. Tillage and agricultural sustainability. *Soil and Tillage Research* 20:133-146.
- Lal, R & JM Kimble. 1997. Conservation tillage for carbon sequestration. *Nutrient Cycling in Agroecosystem* 49:243-253.
- Lattanzi, A. La siembra directa y la agricultura sustentable. *En: JL Panigatti (ed.)*. Siembra Directa. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación-INTA, pgs. 29-34.
- Lilienfein, J; W Wilcke; H Neufeldt; MA Ayarza & W Zech. 1998. Land-use effects on organic carbon, nitrogen, and sulphur concentrations in macroaggregates of differently textured Brazilian Oxisols. *Z. Pflanzenernahr. Bodenk.*, 161,165-171.
- Michelena, R; C Irturia; FA Vavruska; R Mon & A Pittaluga. 1989. Degradación de suelos en el norte de la Región Pampeana. Proyecto de Agricultura Conservacionista-INTA-EEA Pergamino, 120 pgs.
- Morrás, HJM; B Bonel & R Michelena. 2004. Características microestructurales del horizonte superficial de algunos suelos pampeanos bajo siembra directa. *Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná, (editado en CD)*.
- Morrison, JE; C Huang; DT Lightle & CST Daughbtry. 1993. Residue measurement techniques. *Journal of soil and water conservation* 48: 479 483.
- Nelson, DW & LE Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. *In: AL Page et al. (eds)*. Methods of soil analysis. Part 2, 2nd Ed. Agronomy 9, 539-577.
- Oades, JM & AG Waters. 1991. Aggregate hierarchy in soils. *Aust. J. Soil Res.* 29: 815-28.
- Ostinelli, M & H Vivas. 1996. Efecto de distintos sistemas de labranza sobre la fracción liviana de la materia orgánica en la capa superficial del suelo. Su relación con la materia orgánica total. XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, La Pampa. Pg. 137.
- Pikul, JL; JF Zuzel & RE Ramig. 1990. Effect of tillage-induced soil macroporosity on water infiltration. *Soil and Tillage Research* 17: 153-165.
- Porta, J; M López-Acevedo & C Roquero. 1999. Edafología. Para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundi-Prensa, España, 849 pgs.
- Ritcher, M; I Mizuno; S Aranguez & S Iriarte. 1975. Densimetric fractionation of soil organo-mineral complex. *Journal of Soil Sci.* Vol 26, N° 2.
- Salinas-García, JR; FM Hons & JE Matocha. 1997. Long-term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 152-159.
- SAS/STAT. 1994. User's guide. Version 6. 4th edition. SAS Institute INC. SAS Campus Drive. CARY, NC 27513.
- Sasal, M; A Andriulo & M Taboada. 2004. Orientación de poros en Argiudoles bajo siembra directa continua. *Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná, (editado en CD)*.
- Shipitalo, M & R Protz. 1987. Comparison of morphology and porosity of a soil under conventional and zero tillage. *Can. J. Soil Sci.*, 67: 445-456

- Slowinska-Jurkiewicz, A & H Domzal. 1991. The structure of the cultivated horizon of soil compacted by the wheels of agricultural tractors. *Soil and Tillage Research*, 19: 215-226.
- Soil Survey Staff 2003. Keys to Soil Taxonomy. Ninth Edition. USDA-Natural Resources Conservation Service, 232 p.
- Unger, PW. 1997. Aggregate and organic carbon concentration interrelationships of Torrertic Paleustoll. *Soil and Tillage Research* 42:95-113.
- Urricarriet, S & RS Lavado. 1999. Indicadores de deterioro en suelos de la Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo* 17: 37-44.
- Vandenbygaart, A; R Protz & A Tomlin. 1999-a. Changes in pore structure in a no-till chronosequence of silt loam soils, southern Ontario. *Can. J. Soil Sci*, 79:149-160
- Vandenbygaart, A; R Protz; A Tomlin & J Miller. 1999-b. Tillage effects on near-surface soil morphology: observations from the landscape to micro-scale in silt loam soils of southwestern Ontario. *Soil and Tillage Research*, 51:139-149
- Wierzchos, J; MT García-González & J Boixadera. 1997. Structure and structure-related characteristics of dryland and long-term irrigated Xerochrept soils. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 11: 127-138.
- Yang, X & MM Wander. 1998. Temporal changes in dry aggregate size and stability: tillage and crop effects on a silty loam Mollisol in Illinois. *Soil and Tillage Research* 49:173-183.