

CALIFICACIÓN VISUAL A CAMPO DE LA CALIDAD ESTRUCTURAL DE ARGIUDDOLES BAJO DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO

SILVIA IMHOFF¹; HORACIO IMVINKELRIED²; CÁSSIO TORMENA³ & ALVARO PIRES DA SILVA⁴

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, UNL - CONICET. Kreder 2805, Esperanza. CP:S3080HOF. Argentina. E-mail:simhoff@fca.unl.edu.ar

² Facultad de Ciencias Agrarias, UNL. Kreder 2805, Esperanza. CP:S3080HOF. Argentina. E-mail:horaim@fca.unl.edu.ar

³ FA/UEM. CEP 87020-900, Maringá. Brasil. E-mail:catormen@uem.br.

⁴ ESALQ/USP. Av. Pádua Dias, 11, Caixa Postal 9, CEP 13418-900. Brasil. E-mail:apisilva@esalq.usp.br

Recibido: 00-00-00

Aceptado: 00-00-00

RESUMEN

El método de Calificación Visual a Campo de la estructura (Cvc), que permite obtener un indicador semi-cuantitativo de la calidad estructural del suelo, se caracteriza por ser simple de realizar, efectivo y de bajo costo. El objetivo de este trabajo fue aplicar la metodología Cvc y verificar su eficacia para identificar diferentes condiciones estructurales en relación a indicadores acreditados de calidad de suelo. El método fue aplicado en un Argiudol, en lotes que se encuentran con agricultura continua en siembra directa y con rotación ganadera-agrícola en labranza tradicional. Al momento del muestreo los lotes estaban con trigo y alfalfa. En cada lote se obtuvieron 10 muestras de suelo con pala plana (bloques) y se les determinó la calidad estructural. A partir de estos datos se obtuvo el indicador Cvc para cada sistema. Simultáneamente, se efectuaron a campo medidas de resistencia a la penetración (RP) y de humedad volumétrica del suelo (θ). Los resultados de Cvc y RP corregida por la covariable q indicaron la existencia de diferencias significativas entre sistemas en la calidad estructural del suelo a favor de la rotación ganadera-agrícola. Esas diferencias fueron ocasionadas por la presencia de capas con diferentes tipos de estructura, espesor y presencia de raíces. El método Cvc demostró ser útil para evaluar rápidamente la calidad estructural del suelo.

Palabras clave. Calificación Visual a Campo, resistencia a la penetración, calidad física del suelo.

FIELD VISUAL ANALYSIS OF SOIL STRUCTURAL QUALITY IN ARGIUDDOLLS UNDER DIFFERENT MANagements

SUMMARY

The Field Visual Analysis of soil structure (Fva) allows obtaining a semi-quantitative indicator of the soil structural quality. It is simple to be determined, effective and inexpensive. In this study we applied the Fva method and verified its suitability to identify different soil qualities compared to conventional soil indicators. The analysis was carried out in an Argiudoll under a continuous cropping no-till system and under a crop-pasture rotation conventional tillage system. The plots were cropped with wheat and Lucerne at the sampling times. The Fva was performed on ten undisturbed samples from each management system, which were taken with a flat shovel. Soil resistance to penetration (SR) and volumetric water content (θ) were simultaneously measured. Fva and RP were corrected by the covariable q. The resulting data indicated top-soil structural quality to be significantly better under the crop-pasture rotation than under continuous cropping system. These differences were caused by the presence of layers with different structural types, thicknesses and root characteristics. The Fva method was useful to rapidly evaluate the top-soil structural quality.

Key words. Field visual analysis, soil resistance to penetration, soil physical quality.

INTRODUCCIÓN

La estructura del suelo fue definida como la organización espacial de las partículas del suelo, agregados y poros (Warkentin, 2008). Se la considera una propiedad física compleja debido a que es condicionada parcialmente por propiedades intrínsecas, como la textura y composición mineralógica, y en parte por factores extrínsecos, como el tipo de uso y sistema de manejo a que se somete

el suelo (Kay, 1990). Numerosos trabajos muestran la importancia que tiene la estructura del suelo como factor determinante de su fertilidad física o calidad estructural y proponen diversos indicadores para caracterizarla, basados en diferentes aspectos de la estructura (Kay & Angers, 2001). Así es posible mencionar técnicas de laboratorio (estabilidad estructural en húmedo, distribución de agregados por tamaños, micromorfología) y de cam-

po (análisis del tipo de estructura, perfil cultural, resistencia a la penetración), las cuales presentan diferentes grados de complejidad.

La estructura del suelo puede ser descripta a campo en base a la forma, tamaño y grado de coherencia de los agregados. Sin embargo esta metodología y otras semejantes presentan un inconveniente: la dificultad de obtener, fácil y rápidamente, un indicador numérico que refleje la calidad estructural del suelo y que oriente la toma de decisión respecto de las prácticas de manejo necesarias para maximizar la productividad de los cultivos (Ball *et al.*, 2007).

En los últimos años se realizaron avances importantes en lo que respecta a evaluar la calidad estructural a campo en forma visual y manual. Algunas de las propuestas metodológicas surgieron a partir de actividades de grupos de investigadores que conforman la ISTRO (International Soil Tillage Research Organization), que dieron lugar a revisiones sobre esta temática (Batey, 2000; McKenzie, 2001; Ball & Douglas, 2003; Roger-Estrade *et al.*, 2004; Batey & McKenzie, 2006; Ball *et al.*, 2007). Actualmente se están realizando evaluaciones de la efectividad de estas propuestas (Mueller *et al.*, 2008). El desafío consiste en encontrar una metodología que indique rápidamente la calidad estructural del suelo y la profundidad más adecuada para realizar la toma de muestras a campo. Ello es lo que busca la metodología denominada «Calificación visual a campo de la estructura» (Cvc) propuesta por Ball *et al.* (2007), y que aún no ha sido probada en suelos argentinos. El objetivo de este trabajo fue aplicar esta metodología y verificar su eficacia para identificar diferentes condiciones físicas, de un Argiudol en dos sistemas de uso, en relación a indicadores acreditados de calidad de suelo.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en un Argiudol típico (INTA Rafaela, 1991) próximo a la ciudad de Esperanza, provincia de Santa Fe (31° 21' S, 61° 03' W; 31° 32' S, 60° 58' W). Su composición granulométrica es arcilla 28%, arena 5% y limo 67%. Se compararon dos tratamientos: a) lote bajo agricultura continua con sistema de siembra directa (SD) desde hace más de diez años, con una rotación de cultivos compuesta por trigo-soja de 2da.-maíz; b) lote bajo un sistema ganadero-agrícola, con labranza tradicional (LT) y rotación de cultivos compuesta por tres años de pastura-maíz-verde de avena-verde de moha.

El muestreo se efectuó en diciembre tres días después de ocurrir una lluvia de veinte milímetros. En ese momento el lote con SD se encontraba cultivado con trigo, en estado fisiológico adecuado para cosecha. El lote con LT se encontraba con una alfalfa de segundo año, estando las plantas en estado fisiológico de 5% de floración aproximadamente.

En cada uno de los lotes se extrajeron diez muestras inalteradas de suelo (bloques) con una pala plana de 30 cm largo x 20 cm de ancho. En general las dimensiones de los bloques fueron de 25-26 cm de altura, 20 cm de ancho y 10 cm de espesor. Una vez extraídos, los bloques de suelo fueron colocados inmediatamente sobre una bandeja y allí se procedió a aplicar la metodología de Calificación Visual a Campo del estado estructural del suelo (Ball *et al.*, 2007). Esta metodología consistió en manipular suavemente el bloque, separando las unidades estructurales según sus líneas de fragilidad, para identificar capas que se diferencian por las características de los agregados (forma, tamaño y dureza) y por la distribución de las raíces. A cada una de esas capas se le asignó un valor (Cvc), de acuerdo con una escala en la que el número 1 corresponde a la mejor calidad estructural y el número 5 a la peor. A continuación se procedió a obtener un valor ponderado de Cvc para cada bloque (punto de muestreo), siguiendo la clave propuesta por Ball *et al.* (2007). Para esto se tienen en cuenta todas las capas identificadas, además del valor Cvc y el espesor de cada capa.

En ambos lotes y alrededor de cada punto de muestreo (lugar en que se extrajo cada bloque) se realizaron determinaciones de humedad y de resistencia a la penetración del suelo para verificar la concordancia de los resultados obtenidos con este último indicador y con la Cvc. En la capa 0-20 cm del suelo se determinó el contenido hídrico volumétrico (θ ; n=3) usando un aparato TDR (Time Domain Reflectometry) Ferré & Topp (2002) y la resistencia a la penetración (RP; n=3) con un penetrómetro electrónico de campo (Lowery & Morrison Jr., 2002). A fin de eliminar el efecto de la humedad sobre RP se utilizó el método propuesto por Gabriel (1978) por medio del procedimiento ANCOVA, disponible en el programa SAS (1988), en el cual se introdujo θ como covariable. La comparación de las medias, corregidas por la covariable, se realizó con la rutina LSMEANS del software SAS, similarmente a lo realizado por Lampurlanés & Cantero-Martínez (2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 ejemplifica la asignación de las notas y el cálculo de la calificación final de la estructura, de acuerdo con el método de Cvc de la estructura del suelo propuesto por Ball *et al.* (2007).

En ambos tratamientos, SD y LT, el método Cvc resultó fácil y rápido de ejecutar. La realización del test completo (10 puntos de muestreo) en cada uno de los sistemas llevó aproximadamente 2 horas (10 minutos por punto de muestreo), lo que concuerda con lo mencionado por Ball *et al.* (2007). En el lote con SD, el suelo presentó un contenido hídrico próximo a capacidad de campo (40%), lo cual posibilitó la retirada de los bloques sin dificultad. En el caso del tratamiento LT, el suelo se encontraba notablemente más seco ($\theta = 22\%$). Esto dificultó la introducción de la pala en el suelo, aunque fue posible extraer bloques sin perturbar y los agregados se obtuvieron con facilidad, sin necesidad de aplicar exce-

Capa 1 (C1) = 4 cm
Cvc = 2

Capa 2 (C2) = 21 cm
Cvc = 3



Cvc final: $(Cvc1 \times C1) / (C1+C2) + (Cvc2 \times C2) / (C1+C2)$
Cvc final: $(2 \times 4) / (4+21) + (3 \times 21) / (4+21)$
Cvc final = 2,84 (adimensional)

Figura 1. Forma de computar el indicador Calificación visual a campo de la estructura (Cvc) para un suelo que presenta dos capas que se diferencian por la forma y tamaño de los agregados y la cantidad de raíces.

Figure 1. Form of calculating the Field visual analyze of the structural quality (Fva) indicator for a soil with two layers that differ for the form and size of the aggregates, and the quantity of roots.

siva fuerza. Esta notable diferencia de humedad entre sistemas se atribuye al efecto positivo del sistema SD sobre el ingreso y conservación de agua en el suelo.

Numerosos trabajos mencionan que en SD el suelo presenta mayor proporción de poros de gran tamaño, los que favorecen el ingreso de agua al suelo (Holland, 2004; Buczko *et al.*, 2006), aunque algunos autores encontraron resultados opuestos en suelos bajo siembra directa de muchos años con elevado contenido de limo (Sasal *et al.*, 2006). Por otro lado, el sistema SD se caracteriza por la presencia de una importante cobertura de residuos de cosecha, que disminuye considerablemente las pérdidas de agua por evaporación. En el caso analizado, la cobertura de residuos era notable y el trigo no estaba consumi-

do agua, ya que estaba en estado fisiológico adecuado para ser cosechado.

En el sistema LT se observó una notable disminución del número de plantas de alfalfa (cerca de 50 plantas m⁻²), apareciendo el suelo desnudo o con escasa cantidad de residuos entre las plantas. Además, la pastura estaba en inicio de floración. Se estima que, en esas condiciones, las pérdidas de agua por evapotranspiración son mayores, determinando la menor humedad del suelo. Por otro lado, la presencia de plantas con raíces en activo crecimiento facilitó la identificación y separación de las unidades estructurales y capas, lo que en última instancia disminuyó el tiempo requerido para realizar la calificación de la calidad estructural del suelo.

La Figura 2 muestra fotografías con los aspectos estructurales del suelo en las situaciones estudiadas. En ambos sistemas fue posible identificar capas que difirieron en espesura, tamaño y forma de los agregados. La transición de una capa a otra, aunque gradual, fue más notable en SD que en LT. En SD se identificaron tres capas: una primera capa de reducido espesor (5 cm; Cvc = 2), con agregados pequeños, redondeados y elevada friabilidad, además de abundante presencia de raíces que los rodeaban y atravesaban; la segunda capa (15 cm; Cvc = 3) se caracterizó por presentar agregados de mayor tamaño, más angulares, menos friables y marcada disminución de la cantidad de raíces que se localizaron principalmente alrededor de los agregados; la tercera capa (8 cm; Cvc = 4) mostró agregados grandes (6-8 cm), poco friables y muy pocas raíces.

En LT se observaron sólo dos capas. La primera (12 cm; Cvc = 1,7) se caracterizó por la presencia de agregados pequeños, redondeados, muy friables y elevada cantidad de raíces. En general las raíces primarias de las plantas de alfalfa presentaron forma recta, indicando que penetraron en el suelo sin encontrar limitaciones físicas (Fig. 3). Las raíces secundarias se localizaron tanto dentro como fuera de los agregados. En la segunda capa (13 cm; Cvc = 2,45) se observaron agregados de tamaño un poco mayor, muy friables y abundante presencia de raíces.

Los valores promedio de Cvc de cada sistema se presentan en la Figura 3. Estadísticamente SD y LT fueron diferentes, lo que se evidencia porque los intervalos de confianza de la media de Cvc no se superponen. En el caso de LT el valor de Cvc estuvo en el intervalo considerado adecuado por Ball *et al.* (2007), por lo que no se requiere

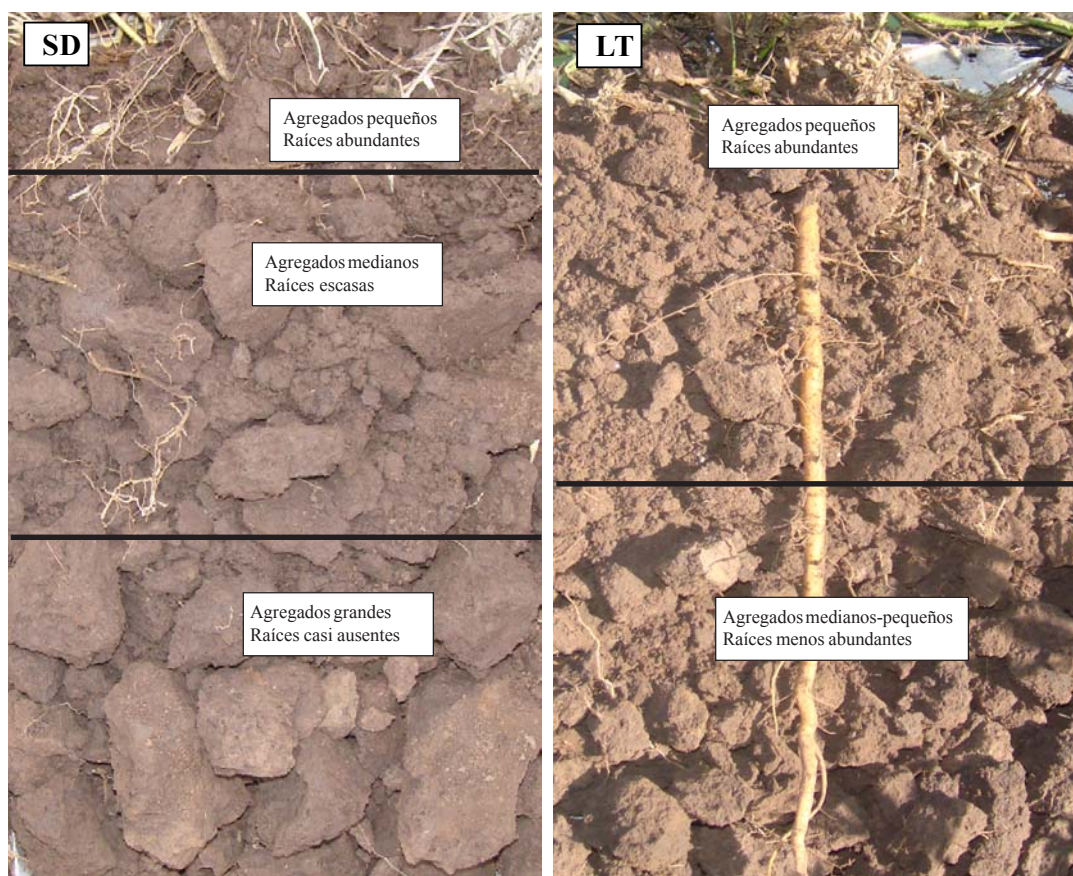


Figura 2. Fotografías de una muestra de suelo en siembra directa (SD) y de una en labranza tradicional (LT), con detalle de las capas, agregados y raíces observados en cada una.

Figure 2. Pictures of a soil sample in no-till (NT) and of one in traditional till (TT), with detail of the layers, aggregates, and roots observed in each one.

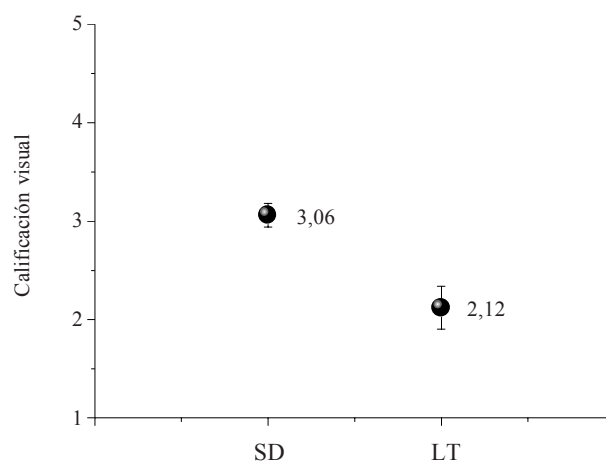


Figura 3. Valores de Calificación visual a campo de la estructura y error estándar para el sistema en siembra directa (SD) y en labranza tradicional (LT).

Figure 3. Field visual analyze of the structural quality values and standard errors for the no-till and traditional till systems.

alteración del sistema de manejo utilizado. En SD, el promedio de Cvc superó el valor de 3, señalado por los autores como el límite crítico a partir del cual la condición estructural deja de ser adecuada y se torna necesario realizar estudios más detallados del estado funcional del suelo, sobre todo de sus propiedades dinámicas, para corroborar si hay necesidad de realizar alguna modificación del sistema de manejo empleado. Entre estas modificaciones se incluyen cambios en la rotación de cultivos, en el manejo de los residuos de cosecha y el control del tránsito de la maquinaria. Ball *et al.* (2007) mencionan que la variabilidad estructural, denotada por el intervalo de confianza de la media (error estándar), es menos propclive a cambios y, por lo tanto, puede ser un indicador más eficaz que el Cvc de la resiliencia de la estructura del suelo. En este sentido, la Figura 3 muestra que el sistema SD presentó un error estándar notablemente menor ($\pm 0,05$) que el sistema LT ($\pm 0,11$), sugiriendo que es un sistema con mayor resiliencia y, por lo tanto, que presenta mayor capacidad para mantener y/o recuperar la calidad estructural cuando es sometido a condiciones de estrés (Kay & Angers, 2001).

La mejor condición estructural en LT, indicada por el menor Cvc, fue corroborada por los valores de RP, que resultaron notablemente menores que en SD. Los valores promedio de RP corregidos por la covariable humedad fueron 0,66 MPa y 3,37 MPa en LT y SD, respectivamente, siendo el modelo de $RP = f(\text{manejo}, \text{humedad})$ estadísticamente significativo ($p = 0,0059$). Los valores de

resistencia a la penetración superiores a 3 MPa, con condiciones adecuadas de humedad, se consideran restrictivos para el crecimiento de las raíces de la mayoría de las especies (Atwell, 1993). Los resultados sugieren que, en el sistema de SD, el crecimiento radical puede ser mecánicamente limitado cuando las condiciones de humedad del suelo son inadecuadas (por debajo de capacidad de campo), afectando el rendimiento del cultivo.

Los valores más elevados de resistencia a la penetración y de densidad de suelo en sistemas de SD, respecto de los que se encuentran en sistemas de labranza tradicional, fueron observados por varios autores en la Argentina (Álvarez *et al.*, 2006; Taboada *et al.*, 1998; Ferreras *et al.*, 2000) y en otros países (Lipiec *et al.*, 2006; Mueller *et al.*, 2008), a pesar de que no siempre se observó disminución de productividad de los cultivos. Munkholm *et al.* (2003) indicaron que en suelos limosos puede ser periódicamente necesaria la realización de labranzas de corte vertical (sin inversión del pan de tierra) para disminuir la densidad del suelo. Varios autores mencionan que el sistema SD mejora la estructura del suelo con el transcurso del tiempo, pero sólo si es acompañado por la aplicación de un sistema de tránsito controlado de maquinaria en los lotes. Si no se aplica este sistema, la compactación que se genera por el pasaje de maquinaria pesada puede persistir por muchos años aún en SD (Chan *et al.*, 2006; Braunack & McGarry, 2006).

El método Cvc permitió generar información semicuantitativa sobre el estado físico del suelo en los trata-

mientos estudiados, la cual coincidió con la obtenida a partir de los datos de resistencia a la penetración, indicador ampliamente aceptado para caracterizar la calidad estructural de los suelos. En ambos tratamientos (SD y LT) fue posible identificar rápidamente capas de suelo con diferentes cualidades. Esta particularidad determina una ventaja adicional del método: permite determinar con mayor exactitud la profundidad a la que deben extraerse las muestras de suelo, especialmente aquellas destinadas a la realización de análisis más complejos, costosos o cuya ejecución demanda mucho tiempo, evitando mezclar capas diferentes y la generación de resultados que no reflejen las condiciones físicas reales.

Sin embargo, es necesario destacar que la propuesta metodológica demanda habilidad para manipular y reconocer diversas características de la estructura del suelo. El usuario debe poseer destreza en la técnica para individualizar las unidades estructurales, ya que se deben respetar las líneas de fragilidad de los agregados sin generar deformación. Además, la facilidad de extracción de los bloques de suelo, primer paso de la metodología, depende principalmente del contenido hídrico del suelo, realizándose con simplicidad cuando las condiciones de humedad son adecuadas. Si el suelo se encuentra excesivamente seco, además de requerir un esfuerzo adicional, la calidad del bloque puede ser afectada porque se quiebra o desmenuza, resultando difícil obtener agregados que respeten las líneas de fragilidad naturales.

CONCLUSIONES

El método denominado Calificación visual a campo de la estructura resultó eficaz para distinguir diferentes calidades de suelo según los sistemas de cultivo y manejo empleados, coincidiendo con la evaluación realizada por medio del indicador resistencia a la penetración. Por lo tanto, puede ser considerado como un indicador de campo útil para complementar la información generada por indicadores de laboratorio.

Un aspecto a destacar es el hecho de que el método otorga un valor numérico a cada categoría y en función de esto orienta sobre las prácticas de manejo más adecuadas a aplicar. Es importante, por lo tanto, verificar si esa escala puede ser aplicada a la gran diversidad de suelos, sistemas de manejo y condiciones climáticas que se encuentran en la Argentina.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, CA; MA Taboada; C Bustingorri; B Gutiérrez & FH Lavio. 2006. Descompactación de suelos en siembra directa: efectos sobre las propiedades físicas y el cultivo de maíz. *Ciencia del Suelo* 24: 1-10.
- Atwell, BJ. 1993. Response of roots to mechanical impedance. *Env. Exp. Botany* 33: 27-40.
- Ball, BC & JT Douglas. 2003. A simple procedure for assessing soil structural, rooting and surface conditions. *Soil Use Manag.* 19: 50-56.
- Ball, BC; T Batey & LJ Munkholm. 2007. Field assessment of soil structural quality – a development of the Peerlkamp test. *Soil Use Manag.* 23: 329-337.
- Batey, T. 2000. Soil profile description and evaluation. *In: Smith, KA & CE Mullin. Soil and environmental analysis: physical methods.* New York: Marcel Dekker, p. 595-628.
- Batey, T & DC McKenzie. 2006. Soil compaction: identification directly in the field. *Soil Use Manag.* 22: 123-131.
- Braunack, MV & D McGarry. 2006. Sugar yield decline joint venture. Traffic control and tillage strategies for harvesting and planting of sugarcane (*Saccharum officinarum*) in Australia. *Soil Till. Res.* 89: 86-102.
- Buczko, U; O Bens & RF Huttel. 2006. Tillage effects on hydraulic properties and macroporosity in silty and sandy soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 1998-2007.
- Chan, KY; A Oates; AD Swan; RC Hayes; BS Dear & MB Peoples. 2006. Agronomic consequences of tractor wheel compaction on a clay soil. *Soil Till. Res.* 89: 13-21.
- Ferré, PA & GC Topp. 2002. Time domain reflectometry. *In: Dane, JH & GC Topp (co-ed.). Methods of soil physics. Part 4. Physical methods.* Soil Science Society of America Book Series N°5. Madison: Soil Science Society of America, p. 434-446.
- Ferreras, LA; JL Costa; FO García & C Pecorari. 2000. Effect of no-tillage on some soil physical properties of an structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern «Pampas» of Argentina. *Soil Till. Res.* 54: 31-39.
- Gabriel, K. 1978. A simple method of multiple comparisons of means. *J. Am. Statistics Assoc.* 73: 724-729.
- Holland, JM. 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agric., Ecosys. & Envir.* 103: 1-25.
- INTA-Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 1991. Carta de Suelos de la República Argentina: hojas 3160-26 y 25, Esperanza-Pilar. EEAA INTA Rafaela, 135 pp.
- Kay, BD. 1990. Rates of changes of soil structure under different cropping systems. *Advances in Soil Science* 12: 1-51.
- Kay, BD & DA Angers. 2001. Soil structure. *In: Sumner, ME (ed). Handbook of Soil Science.* Boca Raton: CRC Press, p. 229-276.
- Lipiec, J; J Kus; A Slowin´ska-Jurkiewicz & A Nosalewicz. 2006. Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods. *Soil Till. Res.* 89: 210-220.
- Lampurlanés, J & C Cantero-Martínez. 2003. Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their relationship with barley root growth. *Agron. J.* 95: 526-536.

- Lowery, B & JE Morrison Jr. 2002. Soil penetrometers and penetrability. *In*: Dane, JH & GC Topp (co-ed.). *Methods of soil physics. Part 4. Physical methods.* Soil Science Society of America Book Series N° 5. Madison: Soil Science Society of America, p. 363-415.
- Munkholm, LJ; P Schjonning; KJ Rasmussen & K Tanderup. 2003. Spatial and temporal effects of direct drilling on soil structure in the seedling environment. *Soil Till. Res.* 71: 163-173.
- Mckenzie, DC. 2001. Rapid assessment of soil compaction damage. I. The Soil pak score, a semi-quantitative measure of soil structural form. *Aust. J. Soil Res.* 39: 117-125.
- Mueller, L; BD Kay; B Deen; C Hud; Y Zhang; M Wolff; F Eulenstein & U Schindler. 2008. Visual assessment of soil structure: Part II. Implications of tillage, rotation and traffic on sites in Canada, China and Germany. *Soil Till. Res.* doi:10.1016 /j.still. 2008.09.10
- Roger-Estrade, J; G Richard; J Caneill; H Boizard; Y Coquet; P Defossez & H Manichon. 2004. Morphological characterization of soil structure in tilled fields: from a diagnosis method to the modelling of structural changes over time. *Soil Till. Res.* 79: 33-49.
- SAS Institute, 1988. SASrSTAT User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, NC, release 6.03 edition.
- Sasal C; A Andriulo & M Taboada. 2006. Effect of soil porosity characteristics on soil water dynamics under continuous direct drilling in Argiudolls of the argentinian rolling Pampas. *Soil Till. Res.* 87: 9-18.
- Taboada, MA; F Micucci; FJ Cosentino & RS Lavado. 1998. Comparison of compaction induced by conventional and zero tillage in two soils of the Rolling Pampa of Argentina. *Soil Till. Res.* 49: 57-63.
- Warkentin, BP. 2008. Soil structure: A history from tilth to habitat. *Advances in Agronomy* 97: 240-269.