

COMPACTACIÓN POR TRÁFICO EN SISTEMAS DE AGRICULTURA CONTINUA SIN LABOREO

Conferencia: Prof. Daniel Jorajuria Collazo. Dr. Ing.Agr. UNLP

Esta presentación resume las dos comunicaciones incluidas en el Congreso de la SUCS 2014 abajo citadas y hará un balance de los productos obtenidos en los últimos años, en el marco del CISSAF Centro de Investigaciones en Sustentabilidad de Suelos Agrícolas y Forestales (UNLP-CONICET).

COMPACTACIÓN POR TRÁNSITO: PERSISTENCIA EN LA CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA POROSO

Soracco, C. G.¹; Lozano, L.A.¹; Villarreal, R.¹; Trabocci, O.¹; Jorajuria, D.¹

¹ CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina).

SIEMBRA DIRECTA Y SUSTENTABILIDAD. IMPACTO FISICO-MECANICO SOBRE EL SUELO.

Draghi, L.M.¹; Palancar, T.C.¹; Soracco, G.¹; Lozano, L.¹ y Jorajuria, D.¹

¹ UNLP, FCAF, Centro de Investigaciones en Sustentabilidad de Suelos Agrícolas y Forestales. Av. 60 y 119. cc 31. 1900. La Plata. Argentina.

PALABRAS CLAVE: Física de suelos, siembra directa, compactación del suelo, producción agrícola sustentable.

INTRODUCCIÓN

Los cambios de la tecnología disponible a nivel mundial para la producción agrícola han sido más que significativos en las últimas décadas. Muchos de estos aportes están relacionados a la maquinaria agrícola. La producción por hectárea ha aumentado y cada vez más tonelaje debe ser retirado del predio por carros graneleros que en sus mayores capacidades desplazan 30 Mg, a veces sobre un solo eje, excediéndose en un 500% en el peso por eje, respecto a recomendaciones atendibles y fundadas (Håkansson y Danfors, 1981; Sanchez Girón Renedo, 1996).

El arribo de la siembra directa (SD) como sistema modal en Argentina trajo aparejada una disminución del número de pasadas que deben hacerse sobre el terreno, pero no así de la intensidad del tráfico considerada en Mg km Há⁻¹ (Botta *et al.* 2010). Brasil, Uruguay y Argentina comparten como características, climas templados y/o tropicales, es decir, sin la presencia del mayor agente descompactador natural anual: el congelamiento de los suelos (Håkansson, 1994). Eso llevó a la necesidad de desarrollar, en estos países, donde el suelo no se congela, sembradoras con suficiente peso como para penetrar y mantener la profundidad en los suelos sin labranza, por tanto con mucha mayor impedancia. En este sentido sembradoras de más de 10 Mg, sólo podrán ser vistas en estos mercados sudamericanos. Estas nuevas y pesadas sembradoras demandan en el caso de las de mayor ancho de labor hasta más de 220 kW de potencia disponible en el motor. Significa entonces que el tractor y su equipo de siembra, tienen valores similares de masa y se ubican en el orden de 12 a 15 Mg cada uno. Esto mantiene alta la intensidad de tráfico a pesar de la disminución en el número de pasadas sobre el mismo terreno. (Jorajuria, 2005; Botta *et al.* 2010).

Analizando el movimiento del agua en el suelo, se ha observado que el flujo en los poros grandes es más afectado por la compactación que el flujo en los poros pequeños. Las propiedades hidráulicas como la infiltración básica y la conductividad hidráulica saturada son afectadas en gran medida por los fenómenos de compactación. Uno de los objetivos de este trabajo fue evaluar el efecto del tránsito sobre la tasa de infiltración y sobre el aporte de las distintas familias de poros a la infiltración total.

Uno de los ensayos se realizó en un suelo franco limoso de la provincia de Buenos Aires, que había sido sometido a tres intensidades de tránsito dos años antes. Se planteó un diseño en bloques completos al azar, con tres tratamientos; testigo sin tránsito (T), tres pasadas de tractor (T3) y cinco pasadas de tractor (T5). El tractor utilizado tenía una masa total de 3810 kg. Los tratamientos fueron aplicados en Junio. Durante los tratamientos el suelo se encontraba consolidado habiendo recibido la última labranza dos años antes con arado de reja y vertedera a una profundidad de 15 cm. En Marzo se implantó una pastura de alfalfa. Se realizaron ensayos de infiltración con distintas tensiones de aplicación de agua, y se determinó el aporte de distintas familias de poros. Se midió la densidad aparente.

La infiltración básica resultó significativamente menor en el tratamiento de mayor intensidad de tránsito, con un aporte al flujo total significativamente menor de los poros mayores a 0,5 mm de diámetro, y la infiltración básica y el aporte de las distintas familias de poros no varió entre el testigo y el tratamiento de intensidad intermedia. La densidad aparente no varió entre tratamientos.

ANTECEDENTES

Los trabajos previos argentinos, corresponden a clima templado, son coincidentes con muchos de otros países, de clima similar. Todos muestran una caída en la porosidad del suelo y por tanto un aumento de la densidad aparente bajo el sistema de siembra directa, al ser comparados con el mismo suelo bajo labranza reducida (Ferrerías *et al.*, 2000, Elissondo *et al.*, 2001; Díaz-Zorita *et al.*, 2002; Fabrizio *et al.*, 2005; Costantini *et al.*, 2006; Sasal *et al.*, 2006, Botta *et al.* 2010).

Fabrizio *et al.*, (2005) evaluaron un Argiudol típico (USDA, 1999) de la zona de Tandil (BA) (37°34'S, 59°04'W), manejado con el diseño parcela partida y comparando como tratamiento principal Laboreo Mínimo (LM) versus Siembra Directa (SD), relevando dos ciclos completos de producción del doble cultivo trigo (*Triticum aestivum* L.), maíz (*Glycine max.* (L.) Merr.). Encontraron para el tratamiento de siembra directa: menor rendimiento de maíz cuando no se fertilizó con nitrógeno, mayor densidad aparente en superficie y hasta los 18 cm de profundidad y mayor resistencia a la penetración en todo el perfil evaluado.

Botta *et al.*, en el 2004, mediante un trabajo de siete años de seguimiento, establecen conclusiones generalizables para atender la compactación de los suelos bajo tráfico agrícola: 1. La técnica de siembra directa en sí misma, no es capaz de evitar la compactación del subsuelo cuando éste recibe las intensidades del tráfico modal que emergen de la actual tecnología predominante en el parque de maquinaria agrícola. 2. El tráfico repetido en la misma senda, aún en vehículos de poco peso (< 28 kN por eje) produce reducciones en el rendimiento de la soja, tanto como compactación subsuperficial acumulativa. 3. Intensidades de tráfico del orden de 180 Mgkm/Ha, reducen el rendimiento de soja en el orden del 38%, limitándose la caída del rendimiento a 23% y 10% cuando el suelo recibió 120 y 60 Mgkm/Ha de intensidades de tráfico respectivamente.

Jorajuria, en el 2005, y a partir de un artículo de revisión del estado del conocimiento concluye: 1. El número de pasadas reiteradas sobre la misma senda, puede igualar e incluso reemplazar al factor peso sobre el eje, en la responsabilidad principal de transmitir compactaciones al subsuelo. 2. La profundidad del horizonte del suelo sometido a tráfico reiterado que reacciona con un mayor incremento de la resistencia a la penetración, tiende a hacerse más superficial, según se incrementa el número de pasadas. 4. La resistencia a la penetración es un parámetro más sensible para evaluar la reacción del suelo al tráfico, que la densidad aparente. 5. El peso sobre el eje tiene una relación directa con la compactación inducida a horizontes subsuperficiales, a pesar que el valor de la presión superficial en la zona de contacto rueda-suelo, sea la misma.

En los últimos años, el ensayo uniaxial de suelos no saturados ha pasado a ser un importante aporte para la identificación de la Tensión de Pre Consolidación (TPC) de los suelos problemas a estudiar. Corresponde a la tensión máxima que una capa de suelo soporta manteniéndose aún en zona de deformación elástica, y por lo tanto factible de recuperar el espacio poroso perdido hasta allí. Este debiera ser el límite para considerar la capacidad soporte del suelo y a valores menores debiéramos remitir las presiones a las que sometemos esa capa de suelo al trafcarlo. (Reichert *et al.* 2009; Keller *et al.*, 2004; Kutilek *et al.* 2006; Arvidsson & Keller, 2004)

Vieira Cavalieri *et al.* (2009), están también entre quienes confirman una evolución negativa de parámetros físico-mecánicos de los suelos bajo SD, tales como: aumento de la densidad aparente, y de la compactación medida como resistencia a la penetración.

La K_{sat} , también ha sido utilizada en trabajos recientes en la misma locación del presente (Soracco *et al.*, 2010). Trabajando bajo suelo traficado en dos condiciones: sin descompactación previa y con una descompactación a 30 cm de profundidad. En ambos tratamientos describen anisotropía en relación al K_{sat} medido en el horizonte más superficial (0-15cm). Los mismos autores infieren una conectividad de poros predominantemente horizontal en el perfil superficial, claramente visualizable desde la estructura que sus agregados presentan.

Sasal *et al.* (2006) y Alvarez *et al.*, (2009), asignan menores tasas de infiltración medidas sobre suelos bajo siembra directa que aquellos bajo labranza, a un fenómeno de horizontalización del espacio macroporoso superficial observado en los suelos sin labranza, hablan de un “hojaldrado” del suelo en superficie y aconsejan avanzar sobre el estudio del fenómeno.

OBJETIVOS:

1. Evaluar el impacto de la descompactación profunda anual en un suelo bajo siembra directa continuada.
2. Caracterizar al estado de compactabilidad del suelo evaluado mediante dos parámetros considerados luego en conjunto: Proctor y Tensión de Pre Consolidación, a través de un ensayo de compresión uniaxial.

HIPÓTESIS:

El uso intensivo de los suelos, tal como el doble cultivo anual, impacta negativamente en cualidades físicas básicas para el sustento de la producción.

La siembra directa como técnica conservacionista, puede aminorar el efecto negativo del tráfico, pero no deja de acusar el impacto sobre la evolución de los poros y su conectividad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Del sitio y su historial:

El ensayo fue conducido sobre terreno agrícola cercano a la ciudad de San Antonio de Areco, Provincia de Buenos Aires, el lote ubicado en coordenadas S: 34°18'10", W: 59°56'58". El suelo fue clasificado como Argiudol típico (USDA, 1999), Phaeozem lúvico (IUSS Working Group WRB, 2006), perteneciente a la serie Rio Tala (INTA, 1973). Texturalmente el horizonte A es franco limoso (23% arcilla, 64% limo). El historial de uso productivo del lote indica catorce años de siembra directa reiterados con doble cultivo anual trigo (*Triticum aestivum L.*) seguido de soja (*Glycine max L. Merr.*). La región presenta un clima templado, con muy bajas frecuencias de temperaturas por debajo de 0° C. Precipitación anual 1100 mm.

Del diseño experimental y los tratamientos:

El diseño experimental fue completamente aleatorizado, con dos condiciones del suelo traficado y una condición de suelo testigo. Los tratamientos, en definitiva tres, fueron:

CT: Con Tráfico, correspondiente a ocho años bajo siembra directa. **CT+D:** Con Tráfico, el mismo lote fue particionado y sometido a una descompactación anual, siempre en primavera, usando un escarificador curvo, comercialmente denominado “Cultivie”, de ocho cuerpos, ubicados sobre el bastidor a 70cm entre si, a una profundidad de labor de 25 a 30cm, pasado a una velocidad de avance de 2 ms⁻¹. **ST:** Sin Tráfico. Corresponde al tratamiento testigo o control y se resolvió usando un espacio clausurado de muchos años que se corresponde con la franja debajo del alambrado utilizado para la separación de lotes adyacentes.

De los parámetros físicos relevados:

1. Tensión de preconsolidación (TPC) por el método gráfico de Casagrande, (1936), obtenida a partir de un ensayo de compresión uniaxial confinado sobre placa porosa (ASM, 2000) de las muestras de suelo no disturbadas.
2. Resistencia a la penetración con penetrómetro de cono Rimick CP20 con data logger incorporado y medición de profundidad por ultrasonido. Equipo y procedimiento bajo norma ASAE S 313.2 (ASAE, 1993).

3. Conductividad hidráulica saturada a campo (K_{sc}) mediante ensayos *in-situ* con infiltrómetro de disco (Perroux y White, 1988).
4. Conductividad Hidráulica Saturada en laboratorio (K_{sl}), medida sobre muestras tomadas según dos direcciones: en vertical (K_{slv}), y en horizontal. Con el sacamuestras en ambas direcciones, se tomaron muestras a dos profundidades: 0-15 cm y 15-30 cm.
5. Densidad aparente en seco por método gravimétrico (Forsythe, 1975), promedio de 5 repeticiones sobre cada tratamiento a dos profundidades: superficial (0-15cm) y subsuperficial (15-30cm).
6. Ensayo de compactación Proctor ASTM-D-268 T (Terzaghi y Peck, 1948)

RESULTADOS

Tabla 1. Valores promedios de tres repeticiones, de la tensión de preconsolidación (TPC) del suelo bajo estudio, obtenidas a partir de un ensayo de compresión uniaxial confinado, para las condiciones de los tres tratamientos evaluados en dos oportunidades con diferentes humedades edáficas presentes, expresadas como tensión de succión (TS).

Tratamientos:	TPC (kPa) TS=3 kPa	TPC (kPa) TS=30 (kPa)
CT+D	60	78
ST	82	110
CT	100	132

Tabla 2. Valores de la Compactación relativa (C_r) calculados a partir de una densidad Proctor máxima medida de 1,68 ($Mg\ m^{-3}$), para la capa superficial abordada (0-15cm) y 1,72 ($Mg\ m^{-3}$), para la subsuperficial (15-30cm).

Tratamientos:	$C_r=DA/DP$ Prof. 0-15	$C_r=DA/DP$ Prof. 15-30
ST	0,47	0,47
CT+D	0,57	0,82
CT	0,73	0,75

Tabla 3. Resistencia a la penetración RP (kPa), cada dato es la media de 30 repeticiones, del suelo bajo los tres tratamientos. Humedad presente, media de tres repeticiones, HP (%p/p) para cada profundidad evaluada.

Profundidad (cm)	HP (%p/p)	RP (kPa) CT	RP (kPa) CT+D	RP (kPa) ST
0-10	18	1723 _a	1089 _b	872 _c
10-20	22	1594 _a	1126 _b	910 _c
20-30	25	1752 _a	1383 _b	1038 _c
30-40	28	2146 _a	2380 _b	1728 _c
40-50	31	3133 _a	3149 _a	2268 _b
50-60	35	3901 _a	3940 _a	2546 _b

* Letras diferentes en una misma fila identifican diferencias significativas LSD $P < 0,95$

Tabla 4. Conductividad hidráulica saturada ($K_s\ cmh^{-1}$), valores promedio seguidos de su desviación Standard entre paréntesis, medidas a campo mediante infiltrómetro de disco (K_{sc}) y medidas en laboratorio en muestras tomadas verticalmente (K_{slv}) y tomadas horizontalmente (K_{slh}).

Tratamiento	Propiedad	Prof. 0-15 cm	Prof. 15-30 cm
CT	K_{sc}	1,97 (0,71) _b	1,20 (0,48) _a
CT	K_{slv}	1,03 (0,56) _b	1,38 (0,67) _a
CT	K_{slh}	7,39 (4,07) _a	1,71 (0,68) _a
CT+D	K_{sc}	1,92 (1,05) _b	0,67 (0,27) _a
CT+D	K_{slv}	1,98 (1,31) _b	1,07 (0,70) _a
CT+D	K_{slh}	9,48 (5,77) _a	0,51 (0,27) _a

*Valores con letras diferentes entre columnas y tratamientos tienen diferencias significativas ($P < 0,05\%$) según test de Duncan.



Fig.1. Fotografía de un agregado del suelo bajo tráfico, tratamiento CT, evidenciando una estructura laminar horizontal (hojaldrada).

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La Tabla 1 permite apreciar, no sólo una relación directa del tráfico sobre el valor de la Tensión de Pre Consolidación (TPC), tratamientos CT respecto a ST, sino también su disminución significativa luego de un tratamiento mecánico de descompactación (CT+D). En total acuerdo con experiencias previas (Botta *et al.*, 2010, Jorajuria, 2005), la condición de suelo con menor capacidad portante es la que corresponde al suelo descompactado (CT+D).

La Tabla 2 contiene los datos emergentes del ensayo de compactación Proctor (DP) y posterior cálculo de la Compactación relativa según la ecuación: $Cr = DA/DP$, para dos estratos diferentes en profundidad. La condición del suelo ST mostró una Cr del 47% para ambas profundidades consideradas, es decir que se ubica a más del 50% del estado de máxima compactación al ser considerado su espacio poroso a través de su DA. La condición de suelo bajo tráfico (CT), en cambio se ubica en valores de sólo 27 a 25% de la condición de máxima compactación, según profundidad considerada. Los presentes datos estarían mostrando una coincidencia con el fenómeno descrito por Balbuena *et al.*, (2009) respecto a la posibilidad de que mecanismos de lixiviación, eventualmente acompañados de un fondo de surco con plastificaciones ocasionadas por la reja, por abuso de la profundidad en una sola pasada, violando la relación ancho profundidad de la zona removida aconsejable, sean los responsables de esta capa compactada inmediatamente por debajo de la profundidad de escarificación.

La Tabla 3, que incluye las humedades presentes medias relevadas, muestra los menores valores de resistencia a la penetración (RP) para todas las profundidades del perfil evaluado, en el tratamiento (ST), respecto a los tratamientos con tráfico. Esto es coincidente con la mayoría de la bibliografía citada, que relata un incremento de la resistencia a la penetración, o bien una disminución del espacio poroso activo (macroporos), en los sistemas bajo siembra directa, respecto a aquellos en los que se incluye algún tipo de labranza. (Fabrizzi *et al.*, 2005; Ferreras, *et al.* 2000; Botta *et al.*, 2004; Munkholm *et al.*, 2003. Por otro lado, el tratamiento con tráfico y descompactación anual (CT+D), muestra valores por debajo de los 1500 kPa, citados por Threadhill (1982), como umbral a partir del cual reconoce impedimentos para el normal crecimiento de las raíces, sólo hasta los 30cm. Esta profundidad se corresponde con la del descompactado mecánico. El resto del perfil abordado (30 a 60cm), todos los valores relevados se ubican por encima de los 2000 kPa, citados por el mismo autor como umbral de impedimento del crecimiento de las raíces. Visualmente es muy fácil observar que la masa radicular, rara vez lograr superar esos 30 cm de profundidad, en acuerdo con el citado autor.

La Tabla 4, recoge los valores de la conductividad hidráulica saturada (Ks), medida sobre ambos tratamientos con tráfico (CT y CT+D). Si bien la conductividad hidráulica saturada medida a campo (Ksc) sobre el tratamiento CT, muestra a la profundidad 15 a 30cm, una media casi duplicada respecto a el mismo valor medido sobre el suelo con escarificado (CT+D) 1,20 y 0,67, el análisis estadístico a una $P < 0,05$, no muestra la diferencia como significativa en virtud de la alta variabilidad del parámetro evaluado. Sería por lo tanto muy recomendable, que futuros ensayos en la misma locación aumenten las mediciones para corroborar lo que parece ser una tendencia que

podría sumarse a los otros parámetros que muestran una mayor compactación por debajo de la profundidad de labranza en el tratamiento CT+D.

Lo que si resulta muy evidente es la anisotropía que presenta el suelo respecto a la K_s . Esta anisotropía, no fue modificada por los sucesivos tratamientos de labranza, y muestra que la conductividad hidráulica saturada medida en laboratorio sobre muestras tomadas en sentido vertical (K_{slv}), siempre fue diferente para el estrato superficial respecto al subsuperficial, pero respondiendo a las diferentes profundidades y no a los tratamientos del suelo.

La explicación de esta anisotropía podríamos encontrarla en el hábito horizontal que presenta este suelo en sus macroporos de la capa más superficial, aquella que es trabajada por los órganos activos de la sembradora, dos veces al año en este sistema de producción. En este sentido, la Figura 1, es una fotografía de un agregado superficial del suelo estudiado, que muestra claramente este hábito horizontal que conlleva a una presunción de una mala conectividad vertical, en coincidencia con lo establecido previamente por Sasal *et al.* (2006) y Alvarez *et al.*, (2009).

CONCLUSIONES

El uso intensivo de los suelos, con doble cultivo anual, impacta negativamente en cualidades físicas básicas para el sustento de la producción.

La siembra directa como técnica conservacionista, puede aminorar el efecto negativo del tráfico, pero no deja de acusar el impacto sobre la evolución de los poros y su conectividad.

La intervención anual de la descompactación mecánica de suelos bajo siembra directa, debe hacerse sólo luego de comprobar la ubicación de la capa de mayor densidad aparente y que ésta quede incluida dentro del triángulo de remoción, que toda herramienta escarificadora produce como patrón de rotura.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, C.R., Taboada, M.A., Gutierrez Boem, F.H., Bono, A., Fernandez, P.L., Prystupa, P., (2009). Topsoil properties as affected by tillage systems in the Rolling Pampa region of Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73, 1242–1250.
- Arvidsson, J. ; T. Keller. (2004). Soil precompression stress I. A survey of Swedish arable soils. *Soil & Tillage Research* 77: 85–95.
- ASAE (1993). American Society of Agricultural Engineering. Standards. 657.
- ASM International Handbook (2000). Mechanical testing evaluation. 8: 143-151
- Bota, G.F.; Jorajuria, D.; Balbuena, R.H. y H. Rosatto (2004). Mechanical and cropping behaviour of direct drilled soil under different traffic intensities: effect of soybean (*Glycine max* (L.) Merrick) *Soil & Tillage Research*, 78: 53-58.
- Botta, G.F.; A. Tolon-Becerra, Lastra-Bravo, M. Tourm. (2010). Tillage and traffic effects (planters and tractors) on soil compaction and soybean (*Glycine max* L.) yields in Argentinean pampas. *Soil & Tillage Research* 110: 167–174.
- Casagrande, A., 1936. Determination of the pre-consolidation load and its practical significance. In: Proceedings of the International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, vol. III, Cambridge, June 22–26, 1936, pp. 60–64.
- Costantini, A., De-Polli, H., Galarza, C., Pereyra Rossiello, R., Romaniuk, R., 2006. Total and mineralizable soil carbon as affected by tillage in the Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 88: 274–278.
- Díaz-Zorita, M., Duarte, G.A., Grove, J.H., 2002. A review of no till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 65: 1–18.
- Elissondo, E., Costa, J.L., Suero, E., Fabrizzi, K.P., García, F., 2001. Evaluación de algunas propiedades físicas de suelos luego de la introducción de labranzas verticales en un suelo bajo siembra directa. *Ci. Suelo* 19, 11–19
- Fabrizzi KP, F.O. García, J.L. Costa, L.I. Picone. (2005). Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. *Soil & Tillage Research* 81: 57–69.
- Forsythe, W., (1975). Física de Suelos. Ed. IICA, Costa Rica, 206 pp.
- Håkansson, I. & Danfors, B. (1981). Effect of heavy traffic on soil conditions and crop growth. In: Proceedings of 7^a Int. Conf. of ISTVS. Ed. ISTVS, Hannover NH.
- Håkansson, I., (1994). Subsoil compaction caused by heavy vehicles. A long term threat to soil productivity. *Soil & Tillage Research*. 29: 105-110.
- INTA, 1973. Carta de Suelos de la República Argentina, Hoja 3360-33, Baradero, Buenos Aires.
- IUSS Working Group WRB, 2006. World Reference Base for Soils Resources. FAO, Rome.
- Jorajuria Collazo, D. 2005. Compactación del suelo agrícola bajo tráfico vehicular. Una revisión. En: Reología del suelo agrícola bajo tráfico. Ed. EDULP. 39-55.
- Keller, T. ; J. Arvidsson a, J.B. Dawidowski, A.J. Koolen. (2004). Soil precompression stress II. A comparison of different compaction tests and stress–displacement behaviour of the soil during wheeling. *Soil & Tillage Research* 77: 97–108
- Kutilek, M. ; Libor Jendele, Kyriakos Panayiotopoulos. (2006). The influence of uniaxial compression upon pore size distribution in bi-modal soils. *Soil & Tillage Research* 86: 27–37.
- Perroux, K.M., White, I., 1988. Designs for disc permeameters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:1205–1215.
- Reichert, J.M., Luis Eduardo Akiyoshi Sanches Suzuki, Dalvan Jose Reinert,

Rainer Horn, Inge Håkansson. (2009). Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. *Soil & Tillage Research* 102: 242–254

Sanchez-Girón Renedo, V. (1996). *Dinámica y Mecánica de Suelos en la Agricultura*. Ed.: Agrotécnicas, Madrid, 426pp.

Sasal, M.C., Andriulo, A.E., Taboada, M.A., 2006. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 87: 9–18.

Soracco, G.; Luis A. Lozano; Guillermo O. Sarli; Pablo R. Gelati; Roberto R. Filgueira. (2010). Anisotropy of Saturated Hydraulic Conductivity in a soil under conservation and no-till treatments. *Soil & Tillage Research* 109: 18–22.

Spoor, G. Y Godwin, R.J.. (1978). An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 23: 243-258.

Threadhill, E. (1982). Residual tillage effects as determined by cone index. *Transactions of the ASAE*. 25: 859-863, 867.

Terzaghi, K. and Peck, R.B., (1948). ASTM standards. In: Illuse (Editor), *Soil Mechanics in Engineering Practice*. USA, 566 pp.

USDA, 2006. *Keys to Soil Taxonomy*, 10th ed., USA, 332 pp.

Vieira Cavalieri K.M., Alvaro Pires da Silva, Cassio Antonio Tormena, Tairone Paiva Leão, Anthony R. Dexter, Inge Håkansson. (2009). Long-term effects of no-tillage on dynamic soil physical properties in a Rhodic Ferrasol in Parana , Brazil. *Soil & Tillage Research* 103:158–164.