

SUBSOLADO PROFUNDO: SU DEMANDA ENERGÉTICA Y SU EFECTO DESCOMPACTADOR.

Smith, Jorge E.¹; M.O; Aucaná²; J.A; Hilbert³; C ;Irrurtia⁴.

¹ Ing. Agr. - INTA-IIR -C. C. 25, (1712)-Castelar, Bs. As., Rep. Arg. Email:jsmith@cniia.inta.gov.ar

² Téc. Agrop. INTA- IIR -C. C. 25, (1712)-Castelar, Bs.As., Rep. Arg. Email: maucana@cniia.inta.gov.ar

³ Ing.Agr. M. Sc. INTA- IIR -C. C. 25, (1712)-Castelar, Bs. As. Rep. Arg. Email: hilbert@cniia.inta.gov.ar

⁴ Ing. Agr. – INTA– Suelos -C.C. 25, (1712)-Castelar, Bs. As. Rep. Arg. Email: birurtia@cniia.inta.gov.ar

Resumen

La aplicación de sistemas de siembra directa sobre determinados tipos de suelo, el peso de los equipos empleados y tareas de cosecha que muchas veces deben realizarse bajo condiciones de excesiva humedad, y a un elevado e innecesario tránsito de equipos, traen aparejados incipientes problemas de compactación en dichos suelos. En el presente trabajo, sobre un suelo del tipo Argiudol vértico, compactado por cultivos precedentes, se estudió la prestación de un escarificador de hoja curva "*Cultivie*". El ensayo consistió en 3 tratamientos: Testigo; Subsulado profundo y Subsulado profundo más el agregado de una enmienda (calcáreo granulado). Se trabajó sobre parcelas de 12 metros de ancho por 300 metros de longitud; la velocidad de trabajo se mantuvo entre 3 y 5 Km./h, a una profundidad de 0,35 metros. La descompactación se midió con un penetrómetro electrónico, por medio de índice de cono (kPa.). Se determinó densidad aparente (DAP), por el método de cilindro. La energía se estableció en función de la potencia demandada por el equipo y su capacidad de trabajo. En lo que respecta a la energía consumida por el equipo depende directamente de la velocidad y profundidad de trabajo. Si bien no hay diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, se advierte un incremento no esperado de la DAP en los tratamientos subsulados. Los efectos positivos sobre la densidad aparente y la resistencia a la penetración, luego de la descompactación, no perduran más allá del año de efectuada, mostrando inclusive una tendencia a empeorar con respecto al testigo no subsulado.

Palabras Claves: Descompactación, Energía, Siembra Directa.

DEEP SUBSOILING: ENERGY DEMAND AND ITS SHATTERING EFFECTS

The application of direct seeding systems on certain soil types, combined with the weight of the equipment used in the harvesting labours which often must be conducted under excessive soil moisture conditions and a high and unnecessary equipment travel, entails compaction problems on these soils.

In this paper on an Argiudol vertic soil type compacted by precedents crops, a curve blade scarifier "*Cultivie*" was studied. The trial consisted of three treatments: control; deeper subsoiling; and deeper subsoiling plus an amendment (limestone granules). Work was carried out on 12 meters wide by 300 meters length plots, working speed was maintained between 3 and 5 km/h, at a depth of 0.35 m with four replication by treatments. Shattering effects was measured with an electronic penetrometer through cone index, bulk density (DAP) was measured by cylinder method. The energy consumed by the *cultivie* is directly dependent of speed and depth of work. Although there were not statistically significant differences between treatments, there was an unexpected increase of DAP on subsoil treatments. The positive effects on bulk density and soil penetration resistance after the sarifier action were not detected beyond the first year, showing a tendency to worsen compared with control.

Keywords: Shattering effects – Energy – Direct Drill

INTRODUCCION

El deterioro del suelo que la agricultura continua ha generado en la Pampa Húmeda, despierta gran interés por sistemas de labranza conservacionista, especialmente la siembra directa. Esta que constituye, en la actualidad, una de las alternativas de mayor viabilidad para la producción agrícola. Esto se sustenta en la aptitud que este sistema de siembra tiene para disminuir los riesgos de degradación del recurso suelo, con un adecuado rendimiento económico (Lázaro *y col.*, 2003).

El sistema de siembra directa se ha difundido, y continúa haciéndolo, a una alta tasa anual debido a las ventajas que presenta en cuanto al menor costo de implantación de los cultivos, a la reducción de la erosión del suelo y a la conservación del agua. El mismo comenzó a expandirse, constantemente, a partir del decenio de 1980 a causa de un control más económico de malezas, simplificación del sistema de cultivo por reducción del número de labores y de maquinarias que el mismo requiere. Esto concuerda con el incremento que, campaña tras campaña, se evidencia en la superficie sembrada bajo este sistema, llegando en 2004 a 16 millones de hectáreas (AAPRESID 2005).

Entre los factores que inciden, en mayor medida, en la degradación del estado físico del suelo se puede nombrar el constante y significativo aumento del peso de los vehículos agrícolas registrado en las últimas décadas. El mismo resulta preocupante por las consecuencias a largo plazo sobre la productividad de los suelos transitados, con implicancias en la conservación del recurso. Según Upadhyaya *y col.*, (1994), el tráfico vehicular es el principal responsable de la compactación inducida en suelos bajo producción, siendo la textura y su contenido de humedad los aspectos más relevantes en relación a la reducción del espacio poroso. En tal sentido, estableció que en suelos arcillosos son mayores los riesgos de compactar el subsuelo a niveles que limiten la producción agrícola como mayor será también la persistencia del daño realizado. Terminiello, *y col* (2004) determinaron que la variabilidad de la reacción del suelo bajo siembra directa responde más a la intensidad de tránsito que al rango de profundidad considerado.

La resistencia a la penetración ha sido frecuentemente usada para la caracterización del grado de compactación de un suelo y del efecto producido por las labranzas (Soane, 1968). La siembra directa, pese a lograr una mejor condición hídrica para los cultivos, ofrece durante una gran parte del ciclo de los mismos, inapropiadas condiciones mecánicas para el desarrollo radicular, puesto que supera frecuentemente los valores de resistencia a la penetración indicados por Threadgill (1982) como capaces de reducir el crecimiento de las raíces y alcanzó, en algún otro, registros de 2 a 2,5 MPa, capaces de detener el mismo.

La labranza profunda es a menudo recomendada para revertir la compactación del subsuelo. Pidgeon (1983) sostiene que el paraplow como máquina de labranza, puede ser utilizado para extender los sistemas conservacionistas a suelos que son naturalmente inapropiados para técnicas de mínima y cero labranza.

El paraplow (escarificador de arcos rígidos) provoca el desmenuzamiento del suelo, con una mínima alteración de la superficie, dejando abundante cobertura sobre su superficie (Mallet *y* Lang, 1987).

Schuler *y* Wood (1992) establecen que el subsolado puede ser utilizado para remover capas compactadas, cuando éstas limitan el rendimiento. Ellos recomiendan tener presentes los siguientes puntos:

(1) Subsolar solamente cuando el suelo se encuentre seco a fin de que sea correctamente fracturado y (2) subsolar un poco por debajo de la zona compactada.

Bajo el nombre de descompactadores pueden incluirse una serie de implementos que efectúan una labor de escarificado del suelo, entendiéndose como tal el trabajo con máquinas que, si bien realizan principalmente una remoción vertical, producen importantes efectos laterales de roturación. (Claverie, 2005). En el mercado argentino existen diversas empresas metalúrgicas relacionadas con el agro (entre ellas Dolbi, Apache, ARL) que fabrican este tipo de herramienta Balbuena *et al* (1995) trabajando sobre un suelo Argiudol típico, evaluaron la persistencia de la labor mediante penetrometría. Concluyen que la limitada persistencia del efecto descompactador, respecto del testigo sin descompactación (6 meses), tornaría inadecuada la labor en forma muy anticipada.

La porosidad y la resistencia a la penetración mejoran con todos los tipos de subsoladores ensayados, no obstante solo dos pasadas del tractor recompactan el suelo a una densidad mayor a la encontrada antes del subsolado, Reeder *y col.* (1992). Estos autores consideran que el control del tráfico inmediatamente después del subsolado es esencial para obtener beneficios prolongados en el tiempo

Los parámetros para caracterizar la compactación son múltiples. Según Balbuena *y col.*, (1995) la densidad aparente y la resistencia a la penetración son frecuentemente usadas para la caracterización de la compactación del suelo. La medición de la resistencia a la penetración de un suelo a través del penetrómetro de cono tiene como ventajas de ser fácil, rápida y económica; al tiempo que provee datos que pueden ser sencillamente analizados (Perumpral, 1987).

Según Sánchez Girón (1996), la variable resistencia a la penetración no es una medida física directa del estado de compactación del suelo, pero un aumento de la misma sería indicativo que el suelo podría estar compactado. Silva *y col.* (1991) encontró mayores valores de la resistencia a la penetración en un suelo con tratamientos compactados.

Al respecto, Terminiello *y col.*, (2000) concluyen que la resistencia a la penetración es un parámetro más sensible que la densidad aparente para determinar la compactación inducida por tránsito.

Alakukku (1996), afirma que las propiedades indicadoras de retención de agua en el suelo, tamaño y distribución de poros y resistencia a la penetración son indicadores más sensibles que la densidad aparente para determinar la compactación

La compactación del suelo es uno de los principales factores limitantes de la productividad de los cultivos comerciales. Los efectos desfavorables causados por el tránsito de máquinas agrícolas pueden provocar problemas de compactación en el transcurso del tiempo, principalmente cuando el suelo presenta exceso de humedad.

El tránsito tiene un impacto muy diferente si se produce sobre suelos húmedos o secos. En el primer caso afectaría la fertilidad física de los suelos (aumento de la densidad aparente, aumento de la resistencia a la penetración, formación de bloques masivos, disminución de la porosidad total y de la velocidad de infiltración, etc.) lo cual tiene un claro efecto negativo sobre el crecimiento de raíces (Bacigaluppo y Gerster, 2001). En este sentido, Raper (2005) recomienda evitar el tráfico en suelos con un contenido de humedad superior al 60 % de la capacidad de campo, a fin de prevenir perjuicios que pueden persistir durante varios ciclos de cultivo.

La descompactación con el uso de métodos mecánicos aislados (como escarificación) tiene efectos transitorios y las condiciones creadas pueden tener poco efecto residual, sobre todo si no se acompaña con prácticas de manejo que tiendan a aumentar la estabilidad de la estructura del suelo Reinert & Reichert (2001).

El objetivo de la experiencia desarrollada en el área de influencia de la AER San Antonio de Areco, estuvo orientado a establecer si el empleo de, un subsolador de hoja fina y elástica y la aplicación de una enmienda profunda, contribuyen a reducir la compactación de los suelos y a la vez mantener en el tiempo las mejores condiciones físicas logradas.

MATERIALES Y MÉTODOS

En un suelo franco limosos del N. de Buenos Aires (Argiudol típico), con un prolongado período de agricultura continua, y que actualmente están en el sistema de siembra directa, se tomó un lote testigo de la región (San Antonio de Areco) ubicado a 34° 18' 962" Latitud sur de y 59° 56' 584" Longitud Oeste.

Se establecieron en el campo parcelas experimentales de 12 m de ancho por 300 m de largo. A partir del año 2002 y hasta el 2006 cada año se agregó un bloque con los siguientes tres tratamientos, conformando 5 bloques o repeticiones. Cada bloque corresponde a un año de aplicación del descompactado, de esta manera hubo bloques donde la descompactación se realizó hace 5, 4, 3, 2 y 1 año.



Figura 1 -Equipo para descompactar y agregar fertilizantes y/o enmiendas al suelo

Tratamiento 1: suelo descompactado con un subsolador de hoja fina y curva, que no invierte ni mezcla los horizontes y deja los residuos de cosecha en superficie. Las láminas de acero producen fuerzas laterales y verticales que producen la ruptura de las capas compactadas siguiendo las líneas de fragmentación natural del suelo. Las hojas trabajaron con una separación de 0,50 m entre sí (punta a punta de reja) y a una profundidad de 0,30 m.

Tratamiento 2: el suelo fue descompactado en forma análoga a lo descrito en el tratamiento 1, con un agregado de yeso de 0,6 t/ha. El yeso es aplicado en bandas profundas detrás de cada lámina desde la superficie hasta los 0,25 m de profundidad. El yeso utilizado correspondió a un molido mediano con partículas entre 1 y 3 mm de diámetro.

Tratamiento 3: Testigo sin subsolar ni enmendar.

La descompactación se realizó con un subsolador de hoja curva, "Cultivié" (Fig.1), de cuatro láminas descompactadoras de 15 mm de espesor, con un distanciamiento de 0,50 m entre sí al que se adaptó un dosificador para aplicar enmiendas. La velocidad de trabajo se estableció entre los 3 y 5 Km/h en función de las recomendaciones dadas por el fabricante. El peso aproximado del equipo fue de 2600 kg. El equipo fue traccionado por un tractor Valmet 1380 S 4WD de 95.58 kW (130 CV) a la toma de potencia (Fig 2)



Figura 2 – Equipo en plena labor

Cada tratamiento se realizó sobre las parcelas ya mencionadas, el esfuerzo demandado se registró en cuatro pasadas consecutivas del implemento, mediante un dinamómetro electrónico con celda de carga de 10000 Kg., al mismo tiempo se registró la velocidad de avance por medio de radar.

Además se determinó el coeficiente de labranza en cada uno de los tratamientos a fin de independizar la demanda de potencia con la profundidad de trabajo, el mismo resulta de dividir el nivel de esfuerzo medio por el frente de labor efectivo. La energía consumida se estableció mediante el cociente entre la potencia consumida por el equipo y la capacidad de trabajo del mismo.

En junio del 2007 se realizó una evaluación del estado físico mediante las siguientes determinaciones:

1 -La resistencia a la penetración hasta los 0,50 m empleando un penetrometro electrónico construido bajo norma ASAE S 313 a fin de evaluar el estado de compactación del terreno en los distintos tratamientos, realizando muestreos al azar, de 4 repeticiones por tratamiento sobre la superficie de las parcelas

2 - Densidad aparente, 4 repeticiones 0-10 y 10-20 cm, con cilindro metálico de 6 cm de diámetro por 10 cm de largo.

El muestreo se realizó en la misma fecha en todos los tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Energía consumida

La demanda de esfuerzo de tracción varió en función de la velocidad de trabajo.

Las velocidades reales de trabajo oscilaron entre los 3,1 y 5,4 km/h. A fin de independizar la demanda energética de la profundidad de trabajo, se calculó el coeficiente de labranza, que equivale al cociente entre el esfuerzo de tracción medio registrado por el frente de labor del equipo.

Sobre el perfil de suelo analizado se observo una desagregación del suelo, no observándose zonas endurecidas.

En la tablas 1 y 2 se observan los resultados obtenidos en los años 2004,2005 y 2006 respectivamente. En el tratamiento subsolado/enmienda del año 2005 se observo un incremento no esperado, el que fue atribuido a que la parcela correspondiente se ubico en una cabecera de cosecha de maíz.

Tratamiento	Profundidad (cm)	A.Labor (m)	Velocidad (km/h)	Seccion (dm2)	Esfuer. Traccion kN
Sub/Enm 2004	35	2.0	3.1	70	16.67
Sub/Enm 2005	35	2.0	3.1	70	25.54
Sub/Enm 2006	35	2.0	5.4	70	26.13
Sub 2004	35	2.0	3.4	70	15.45
Sub 2005	35	2.0	3.4	70	12.72
Sub 2006	35	2.0	5.3	70	26.89

Tabla 1 - Prof. de labor, a.labor, velocidad de trabajo y Esf. de tracción

Tratamiento	Coef. Labranza Kg/dm2	Potencia Demandada kW	Capacidad de Trabajo (Ha/h)	E. Consumida kWh/Ha
Sub/Enm 2004	25.68	15.36	0.49	31,34
Sub/Enm 2005	37.20	22.27	0.49	45,44
Sub/Enm 2006	38.05	38.9	0.84	46,30
Sub 2004	22.5	14.70	0.54	27.22
Sub 2005	18.52	12.05	0.54	22,31
Sub 2006	39.17	40.2	0.80	50,25

Tabla 2 – C. Labranza, Potencia,Capacidad de trabajo, E. consumida

Los resultados de las determinaciones físicas realizadas muestran que en el momento de la medición los tratamientos no mostraron diferencias estadísticamente significativas, tabla 3. De todos modos los valores promedio de DAP en los primeros 0,10 m del suelo, en los tratamientos donde se realizó la descompactacion del suelo, fueron mayores en un 6,1-4,9 % a los valores correspondientes al testigo. En la profundidad entre 0,10 y 0,20 m la DAP se incrementa en promedio en un 8,34 %. En esa profundidad los coeficientes de variación fueron menores variando entre 6,0 y 6,18 % mientras que en los primeros 0, 10 m la variación fue algo mayor entre 5,7 y 11, 6%, tabla 2. Si bien no hay diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, se advierte un incremento no esperado de la DAP en los tratamientos subsolados.

Parámetros	Tratamientos			
	Testigo	Subsolado + yeso	Subsolado	
Humedad del suelo(g) en %	0-10 cm	25,2	23,1	23,3
	10-20 cm	24,0	25,1	24,3
Densidad aparente en g.cm ⁻³	0-10 cm	1,17	1,24	1,23
	10-20 cm	1,30	1,33	1,31
Resistencia a la penetración en Kpa	0-10 cm	2090	2186	2303
	10-20 cm	2297	2435	2297
	0-30 cm	2026	2099	2095
	30-50 cm	2031	1655	1735

Tabla 3 - Valores promedio de los parámetros físicos medidos.

Por otra parte dentro de cada tratamiento se percibe una leve tendencia a disminuir los valores de DAP en el año 2006 con respecto a los iniciales, tabla 4. Estos resultados muestran que los tratamientos aplicados no produjeron efectos significativos en el suelo, incluso podría notarse una mayor tendencia a la compactación en las parcelas tratadas.

Prof. Cm	TESTIGO					SUBSOLADO+YESO					SUBSOLADO				
	2002 5 años	2003 4 años	2004 3 años	2005 2 años	2006 1 año	2002 5 años	2003 4 años	2004 3 años	2005 2 años	2006 1 año	2002 5 años	2003 4 años	2004 3 años	2005 2 años	2006 1 año
0-10	1,38	1,07	1,19	1,13	1,07	1,31	1,16	1,21	1,29	1,23	1,31	1,33	1,23	1,03	1,24
10-20	1,28	1,39	1,30	1,26	1,27	1,34	1,31	1,29	1,29	1,39	1,36	1,38	1,28	1,22	1,32

Tabla 4 - Valores promedio de densidad aparente en los distintos tratamientos, después de 1-5 años de la descompactación

Si bien inmediatamente después de la descompactación el suelo se "afloja" y baja su resistencia a la penetración y densidad aparente, al año de realizado el tratamiento los valores de resistencia a la penetración son mayores en los tratamientos descompactados en los horizontes 0-5 y 5-10cm de profundidad que en el tratamiento testigo, inclusive mostraron una tendencia a empeorar respecto a este. Posteriormente a los 5 años de la descompactación los tratamientos subsolados muestran los menores valores.

Los valores de resistencia a la penetración fueron algo mayores en los tratamientos descompactados en las capas más superficiales 0-10 cm mientras que en la capa 30-50 cm, los mayores valores correspondieron al testigo sin descompactar, asumiendo que el intenso tránsito ocurrido 15 días antes del muestreo durante la cosecha de soja con un elevado porcentaje de humedad en el suelo, cercano a la capacidad de campo (23/25 %) lo recompactó (Fig 3) considerablemente inclusive más a las parcelas recientemente descompactadas, esto coincide con lo expresado por Reeder, 1992. (Tabla 5 y Fig. 4,5,6).



Figura 3 – Huellas provocadas por la labor de cosecha

Subsolado con agregado de yeso										
Prof. cm	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
5 años	3288	3429	2586	1708	1170	994	1463	1568	1720	1989
4 años	1661	2129	2057	1778	1439	1135	1264	1346	1767	1802
3 años	1030	3124	2867	2738	2662	1849	1603	1475	1649	2095
2 años.	1264	3277	3078	2340	2094	1627	1450	1556	1720	2013
1 año	690	1966	2541	2656	2305	1556	738	1462	1767	2083

Subsolado										
Prof. cm	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
5 años	1767	2785	2165	1766	1111	1065	1381	1463	1661	1662
4 años	1439	3043	2726	2645	2048	1661	2118	2141	2223	1942
3 años	2001	2680	2165	2036	2107	1369	1252	1123	1603	1404
2 años	2048	2855	2878	3019	1861	1814	1592	1732	1661	1989
1 año	1735	2680	2305	1697	1404	1568	1790	1919	2036	2001

Testigo sin subsolar										
Prof. cm	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
5 años	1685	1848	2422	2328	1708	1743	2024	1860	1814	1872
4 años	1018	2680	2680	2305	1849	1486	1872	2199	2294	2325
3 años	2036	2797	2609	2586	2048	2270	2633	3195	2727	2785
2 años	1556	2329	1568	1544	1065	1205	1310	1357	1720	1638
1 año	1474	2317	2340	2586	1743	1849	1837	1836	1638	1685

Tabla 5- Resistencia a la penetración según profundidad y años después de la descompactación en diferentes tratamientos

Analizados estadísticamente los valores medios comprendidos entre los 0 y 0,50 m en los distintos tratamientos, solo se observaron diferencias significativas en la parcela testigo entre año 3 vs años 1 y 5 (Tukey 5 %) y altamente significativas entre año 3 vs año 2 (Tukey 1 %).

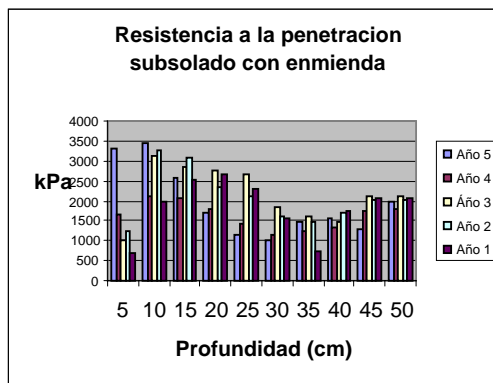


Figura 4 - Subsolado con enmienda

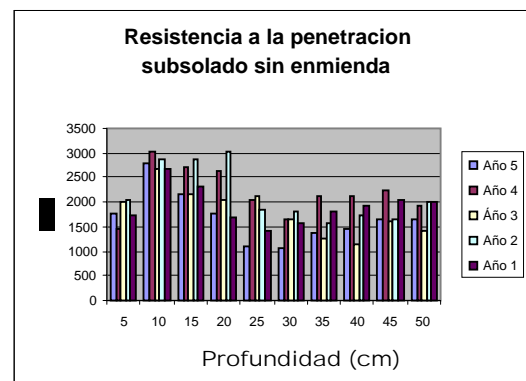


Figura 5 - Subsolado sin enmienda

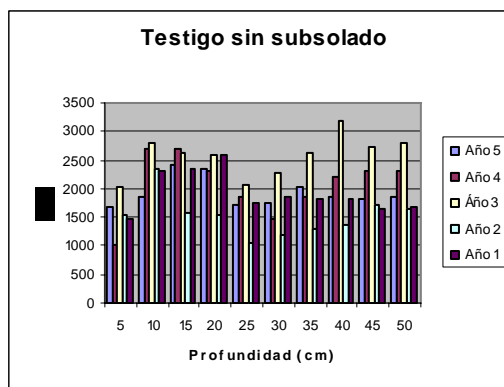


Figura 6 - Sin subsolar

CONCLUSIONES

Los efectos positivos de la descompactación en lo que respecta a la densidad aparente como en la resistencia a la penetración, no permanecen luego del año de efectuada la tarea.

BIBLIOGRAFIA

- ALAKUKU, L. 1996. Persistence of soil compaction due to high axle load traffic.I. Short term effects on the properties of clay and organic soils. *Soil & Tillage Research* 37: 211-222
Sci. 31:439-442
- BACIGALUPPO S.; G. GERSTER 2001. Impacto de densificaciones por tránsito en planteos de siembra directa continua. Técnico Desarrollo Rural EEA INTA Oliveros; Técnico AER INTA Cañada de Gómez. www.e-campo.com
- BALBUENA, R.;ARAGÓN, A.;MAC DONAGH, P.;CLAVERIE, J. Y TERMINIELLO, A. 1995. Efectos de tres sistemas de preparación del suelo en la resistencia a la penetración y la densidad de un suelo. XXIV Congreso Brasileiro de Ingeniería Agrícola. Vicosa. Brasil.
- CLAVERIE, J A & R. H . BALBUENA. 2005. Descompactación por tratamiento mecánico. En: *Reología del suelo agrícola bajo tráfico. Modificaciones físico-mecánicas del suelo vinculadas a la compactación debida al tránsito agrario.* Ed. UNLP. P: 143-157.
- LÁZARO, L.; RESSIA J.; LETT; MENDIVIL, G.; AGOSTINI, M.; DE PABLO C.; BALBUENA R. 2003. Sistemas de labranza e inoculación en soja tardía. Efectos sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo. *Actas del VII Congreso Argentino de Ingeniería Rural, del 7 al 9 de mayo de 2003.* Trabajo completo en CD.
- MALLET, J. B. Y P. M. LANG. 1987. The use of a slant leg plough to relieve compaction in directly drilled maize. *Applied Plant Science.* 1(1): 49-51.
- PERUMPRAL, J.. 1987.Cone penetrometer applications-a review. *Transactions of the ASAE.* Vol 30 (4): 934-944.
- PIDGEON, J. D. 1983. Paraplow - A new approach to soil loosening. ASAE Paper No. 83-2136. St. Joseph, MI: ASAE.
- RAPER, R.L. 2005. Agricultural traffic impacts on soil *Journal of Terramechanics* (en prensa)
- REEDER, R, C. & J. M. SMITH. 1992. Controlled traffic. In *Conservation Tillage Systems and Management*, Ch~ 10, 46-47 Ames, Iowa: MidWest Plan Service.
- REINERT D.; J. REICHERT; C. AITA; M. CUBILLA 2001. Una alternativa para disminuir la compactación en siembra directa. www.revistaelproductor.com.
- SÁNCHEZ GIRÓN RENEDO. 1996.*Dinámica y mecánica de suelos.*Ed Aerotécnicas, S:L: Madrid 426 pp.
- SCHULER, R. T. Y R. K. WOOD 1992. Soil compaction. In *Conservation Tillage Systems and Management*, Ch~9, 42-49. Ames, Iowa: Midwest Plan Service.
- SILVA, F.M.; ORTOLANI, A.F.; DANIEL, LA. 1991. Rodas compactadoras de semeadoras adubadoras– I Influência no condicionamento físico do solo na região da semeadura.

In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20, 1991, Londrina. Anais..
Londrina: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1991a. Vol. II, p. 1126-45.

SOANE, B. 1968. A gamma ray transmission method for measurement of soil density in field tillage studies. *Journal of Agricultural -Engineering Research*. Vol. 11 (5): 340-349.

TERMINIELLO, A.M.; BALBUENA, R.H.; CLAVERIE, J.A.; CASADO, J.P. (2000). Compactación inducida por el tránsito vehicular sobre un suelo en producción hortícola. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 4, n. 2, pp. 290-293.

TERMINIELLO ANTONINO M.; ROBERTO H. BALBUENA; LAURA M. DRAGHI; JORGE A. CLAVERIE; TELMO C. PALANCAR; DANIEL JORAJURÍA. 2004. Comportamento do solo sob tráfico em dois sistemas de preparo do solo. *Revista de la Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola*. en el volumen 24, número 1, p 158-166, enero/abril 2004. Con referato, internacional

THREADGILL, E. 1982. Residual tillage effects as determined by cone index. *Transactions of the ASAE*, 25 (4): 859-863, 867.

UPADHYAYA, S.; CHANCELLOR, W.; PRERUMPRAL, J.; SCHAFFER, S.; GILL, W.;

VANDERBERG, G. 1994. *Advances in Soil Dynamics*. Vol 1 Ed. De Vore-Hansen. St. Joseph, MI. 313 pp.