

RELACIÓN ENTRE EL ESFUERZO CORTANTE DEL SUELO Y LA
RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN: SU UTILIDAD PARA
DIAGNOSTICAR LA COMPACTACIÓN DEL SUELO.

Autores:

Manuel Rodrigo Fernández
Juan Pedro Goñi

Director:

Dr. Ing. Agr. Guido Fernando Botta
Cátedra de Maquinaria Agrícola Facultad de Agronomía UNLPam.

Tribunal:

Dr. Ing. Agr. Alberto Quiroga
Cátedra de Edafología Facultad de Agronomía UNLPam.

Ing. Agr. Miguel Bomben
Cátedra de Economía Agraria Facultad de Agronomía UNLPam.

Dr. Ing. Agr. Guido Fernando Botta
Cátedra de Maquinaria Agrícola Facultad de Agronomía UNLPam.

AÑO 2010

Índice

	Página
• Resumen.....	3.
• Introducción y antecedentes.....	4.
• Objetivos.....	7.
• Hipótesis	7.
• Materiales y Métodos	8.
• Resultados y Discusión.....	15.
• Consideraciones finales.....	22.
• Conclusiones.....	23.
• Bibliografía utilizada.....	24.

Resumen

Nuestro sistema productivo tiende actualmente a la mecanización de todas las operaciones con elevada intensidad de tráfico, acompañado de un incremento en el tamaño y por lo tanto en el peso de las maquinarias agrícolas. Esto produce un aumento en la degradación del suelo por compactación originando una merma en el rendimiento de los cultivos y acrecienta los costos energéticos durante la labranza. El esfuerzo cortante es el método para diagnóstico de compactación menos estudiado en el país. Para aportar datos al respecto se realizó un ensayo de esfuerzo cortante en un suelo agrícola (Argiudol típico) con una placa de corte, que asemeja a la oruga de un tractor o al perfil del neumático, se traccionó de la misma, soportando distintas cargas, hasta que suelo comience a ceder y se produzca el corte. Los objetivos del presente trabajo son: a) Analizar la relación entre los valores de esfuerzo cortante y de resistencia a la penetración para distintas condiciones mecánicas del suelo b) Evaluar la utilidad del esfuerzo cortante para diagnosticar compactación del suelo. Las conclusiones fueron: 1) El parámetro de esfuerzo cortante del suelo es útil para diagnosticar el estado de compactación del mismo 2) Los valores de resistencia a la penetración guardan una relación directa con los valores de esfuerzo cortante independientemente del estado mecánico del suelo 3) El suelo bajo siembra directa continua requiere un elevado esfuerzo de corte con altas cargas sobre la rueda.

Palabras clave: Tracción – Tractor- Capacidad portante – Armonización de equipos.

Introducción y Antecedentes

La compactación del suelo consiste en la modificación de la estructura del suelo por disminución del volumen de poros (Botta et al., 2001). Los procesos de compactación que tienen lugar en los suelos agrícolas responden a dos orígenes: los causados por el hombre o antrópicos y los del tipo genético. En términos generales, puede decirse que estos últimos se presentan en su totalidad en la profundidad del perfil (ej. planchas de tosca, fragipanes, duripanes, etc). En cambio, la zona de enraizamiento se encuentra afectada mayormente por procesos de compactación originados por el hombre (Taboada y Micucci, 2004). El mismo autor considera que debe haber un umbral mínimo del 10% de volumen de poros llenos de aire para que los cultivos no sufran problemas de anoxia. Los macroporos son los principales responsables de abastecer este umbral mínimo en el suelo. Es precisamente sobre estos poros de diámetro mayor a 50 μm donde se realiza el mayor impacto debido a la actividad antrópica, por ejemplo originado por el tránsito de rodados agrícolas, labranzas y pisoteo animal, entre otras. En términos de agregados, la rotura del suelo alcanza a los macroagregados, cuyo tamaño es mayor a 250 μm .

El drenaje rápido, la aireación y el crecimiento radical son los procesos más afectados cuando un suelo sufre deterioro estructural (Taboada y Micucci, op cit). En líneas generales se puede decir que la compactación en las capas superficiales del suelo (camas de siembra o pisos de arado) genera condiciones adversas para la emergencia de las plántulas, mientras que cuando es subsuperficial, se prolonga durante años y puede producir disminución permanente en el rendimiento de los cultivos y anegamiento del suelo en momentos de cosechas.

En síntesis, la compactación provoca la degradación del suelo y mermas en el rendimiento de los cultivos (Botta et al., 2004), pero también por crecientes costos de energía durante la labranza (Taboada y Micucci op. Cit.), debido a los mayores requerimientos de tiro por incremento en la resistencia de corte del suelo.

Los distintos métodos para diagnosticar el grado de compactación de un suelo pueden ser directos mediante la observación del patrón de crecimiento radical de las plantas o indirectos mediante instrumental. En condiciones de campo mediante instrumental específico se puede determinar la resistencia a la penetración, densidad aparente y resistencia al esfuerzo cortante con placa de corte.

La resistencia a la penetración es la respuesta mecánica de un suelo a una determinada presión ejercida. Se mide esta con un penetrómetro, cuyo elemento sensible es un cono unido a una varilla, los más modernos disponen de una celda de carga, y una unidad de almacenamiento de datos que expresa valores precisos de resistencia a la penetración. El uso del penetrómetro es cada vez más difundido, por la gran cantidad de datos que permite almacenar facilitando el posterior procesamiento de los mismos, pero aún hoy es costoso disponer de estos equipos más modernos. La densidad aparente es otro parámetro físico que permite el diagnóstico del grado de compactación de un suelo, la misma puede calcularse mediante el método gravimétrico (cilindro) o por atenuación de rayos gamma utilizando sonda nuclear, el método de los cilindros es el más difundido pero requiere un buen número de muestra para garantizar la representatividad de las mismas, y se torna más trabajoso para medidas a profundidades mayores.

El esfuerzo cortante es el método menos estudiado en el país. Su principio

consiste en que al someter al suelo a una carga externa, y esta ser repartida al interior de la masa del mismo, originando una serie de tensiones que pueden o no producir su rotura o deformación (Botta et al, 2006).

Para definir las respuestas mecánicas del suelo se utiliza un modelo presentado por Coulomb en el año 1776. El mismo fue adaptado en 1944 por Micklethwaite para explicar el modelo de tracción a campo citado por Marrón (2008). Según indica, se puede predecir la fuerza máxima que puede soportar el suelo (τ_{\max}) en función de las cargas normal aplicada (Q), en determinada superficie de apoyo (S), conociendo las fuerzas de cohesión (c), y el ángulo de fricción de las partículas del suelo (ϕ), esto se modifica para cada tipo de suelo y según la condición de humedad del mismo.

$$\tau_{\max} = S \cdot c + Q \cdot t_g \phi$$

En líneas generales se puede decir que los suelos arcillosos tienen un componente de cohesión importante, pero no así el de fricción, por otro lado cuando mas arenoso es un suelo más importante será su componente friccional interno y menos su cohesión (Marrón, 2008).

Al realizar un ensayo de esfuerzo cortante en un suelo agrícola, con una plancha de hierro con resaltes (placa de corte), que asemeja a la oruga de un tractor o al perfil del neumático y al tirar de ella, un vez hundida, el suelo va cediendo hasta “cortarse” (Botta et al., 2008). Para cada carga se miden por dinamometría los esfuerzos demandados, determinando los puntos de máximo esfuerzo. Botta et al.,

(2007) afirman que la compactación ocurre cuando la magnitud de carga aplicada vence la resistencia del suelo.

Según Marrón (2008), la compactación afecta de manera directa el ángulo de fricción interna del suelo, siendo mayor para suelos más compactados. Este trabajo pretende aportar datos referidos a la resistencia al esfuerzo cortante sobre un suelo argiloso típico en distintas condiciones mecánicas, y analizar su respuesta en función del grado de compactación del mismo, evaluado por medio de la penetrometría del suelo en cuestión. A partir del diagnóstico arribado se podrían sugerir recomendaciones con relación a la transitabilidad (intensidad) en suelos agrícolas y además, proveer al técnico de una herramienta para predecir los esfuerzos traccionales para trabajar el suelo en diferentes condiciones.

Objetivos del trabajo

- Analizar la relación entre los valores de esfuerzo cortante y de resistencia a la penetración para distintas condiciones mecánicas del suelo.
- Evaluar la utilidad del esfuerzo cortante para diagnosticar compactación del suelo.

Hipótesis de trabajo

- Las diferentes condiciones mecánicas de un suelo se corresponden con distintos valores de esfuerzo cortante.
- Existe una relación directa entre los valores de esfuerzo cortante y la resistencia a la penetración siendo posible diagnosticar el estado de compactación de un suelo a partir de los datos de esfuerzo cortante.

Materiales y métodos

El ensayo se realizó en un lote del Establecimiento Santa Rosa (Villa Ruiz) 34° 25' latitud sur, 59° 15' longitud oeste, partido de San Andrés de Giles, provincia de Buenos Aires sobre un Argiudol típico, fase inclinada fino, illítico, térmica (Soil Conservation Service. 1994), perteneciente a la serie Solís, y cuyas características generales se presentan en la tabla 1.

Tabla 1: Características del suelo del sitio de ensayo.

Rango de profundidad (mm)	0 – 150	150 - 300	300 – 450	450 - 600
Carbono orgánico (kg ⁻¹)	16.5 ± 4.6	7.00 ± 2.1	5.10 ± 1.1	4.3 ± 1.0
Nitrógeno Total (g kg ⁻¹)	1.80 ± 0.08	0.90 ± 0.02	0.70 ± 0.00	0.8 ± 0.00
C/N ratio	9.10	7.70	7.20	5.4
Arcilla (<2 m) g kg ⁻¹	230 ± 3.37	263 ± 2.30	330 ± 2.88	372 ± 2.63
Limo (2-20 m) g kg ⁻¹	308 ± 4.81	299 ± 4.01	309 ± 2.31	239 ± 1.89
Limo (20-50m) g kg ⁻¹	454 ± 4.51	433 ± 3.46	357 ± 4.01	385 ± 3.86
Arena Fina (100 - 250 mm)	8 ± 1.38	5 ± 1.10	4 ± 0.96	4 ± 1.12
pH en H ₂ O (1: 2.5)	6 ± 0.02	5.6 ± 0.01	6.3 ± 0.03	6.2 ± 0.02

La región está cubierta uniformemente por un manto loésico de más de dos metros de espesor. Este material, denominado loess "Bonaerense" por Frenguelli y loess "Post-Lujanense" por Tricart, es rico en vidrio volcánico, anfíboles, piroxenos y minerales de arcilla del grupo de las illitas (el porcentaje de arcilla es de aproximadamente 17 %).

El paisaje está compuesto por lomas alargadas y planicies suavemente onduladas, recortadas por vías de drenaje.

En las posiciones más elevadas y mejor drenadas se desarrollan Argiudoles

típicos; en las pendientes se encuentran Argiudoles típicos, inclinados; en las posiciones más planas y algo deprimidas evolucionan Argiudoles ácuicos; en las partes bajas adyacentes a los cursos de agua, se encuentran Natracuoles típicos y Natracualfes típicos. Se realizaron tres tratamientos de suelo: arado, siembra directa (12 años de iniciada la técnica) y cama de siembra (Figuras 1, 2 y 3).



Figura 1: parcela con el suelo arado



Figura 2: Parcela suelo cama de siembra



Figura 3: Suelo bajo siembra directa

Sobre cada uno de los tratamientos de suelo mencionado se evaluaron los esfuerzos cortantes con diferentes cargas o pesos de eje trasero y delantero de tractor. Para esto los tractores utilizados en el ensayo fueron pesados, por eje, en balanza pública (Figuras 4 y 5).



Figura 4: Peso del eje trasero del tractor



Figura 5: Peso del tractor completo

Para cada uno de los tratamientos, con el fin de caracterizar el estado mecánico del suelo al momento del ensayo se tomaron datos de humedad gravimétrica y resistencia a la penetración. La resistencia a la penetración fue tomada mediante un penetrómetro SCOUT 900 con data logger de 0 a 450 mm de profundidad, Según ASAE S313 (1998) (Figura 6).



Figura 6: Medición de la Resistencia a la penetración mediante un penetrómetro SCOUT 900

El esfuerzo cortante resultante de los ensayos se midió con un dinamómetro de funcionamiento hidráulico y se realizaron lecturas por medio de un manómetro para determinar el esfuerzo requerido para cortar el suelo en cada uno de los tratamientos. La placa de corte cuyas dimensiones son 0.48 m de largo x 0.18 m de ancho, que dispone de 4 garras de 25 mm de altura (Figura 7) ubicadas en ángulo de 90° respecto a la dirección de avance, propuesta de Botta (2000).



Figura 7: Placa de corte utilizada en el ensayo



Figura 8: Dinamómetro de principio hidráulico usado en los ensayos de tracción.

Para traccionar la placa de corte, se alternó el uso de dos tractores: John Deere 3350 y John Deere 4050. Para variar la carga sobre la placa de corte se procedió a estacionar sobre la placa la rueda de uno u otro tractor según propuesta de Botta (2000), figura 9. Esta propuesta utiliza los diferentes pesos del propio tractor sobre la rueda, en definitiva, se lograron ubicar cuatro cargas sobre la placa de corte, dos de las ruedas delanteras y dos de las ruedas traseras, una de cada tractor.

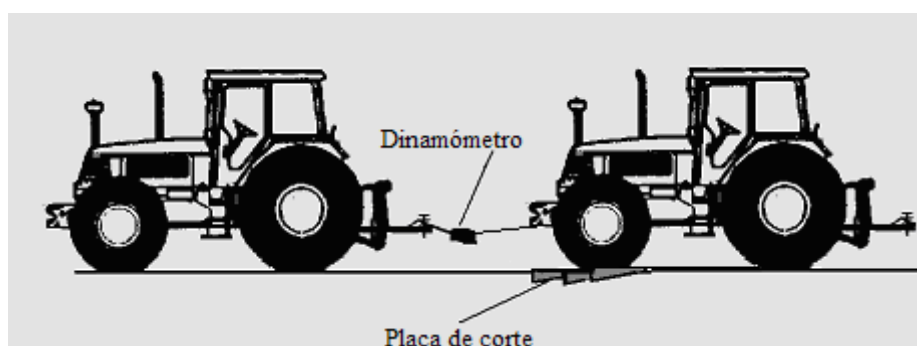


Figura 9: Ensayo de corte de suelo con tractor agrícola

Lo anterior hizo que los pesos aplicados sobre la placa de corte, para cada tratamiento mecánico de suelo sean los que se ven en la tabla 2.

Tabla 2: Pesos aplicados sobre la placa de corte

Pesos aplicados sobre la placa de corte	2WD John Deere 4050	2WD John Deere 3530
Rueda Delantera (kN)	8.6	5.9
Rueda Trasera (kN)	20.1	17.8

La potencia de los tractores utilizados en los ensayos, respondieron a los valores modales obtenidos en estudios previos realizados en la región bajo estudio.

Las características de los tractores utilizados en los ensayos realizados son las explicitadas en la tabla 3.

Tabla 3: Características de los tractores utilizados en los ensayos de corte en las tres condiciones de suelo

Características de los tractores	2WD John Deere	2WD John Deere
	4050	3530
Potencia en el motor (CV/kW)	123/90	90/66
Rodado delantero	1100 -16	750 – 18
Rodado trasero	23.1-30	18.4-34
Presión de inflado rueda delantera (kPa)*	200	180
Presión de inflado rueda trasera (kPa)*	80	110
Peso total (kN)	57.4	47.4
Peso eje delantero (kN)	17.2	11.8
Peso eje trasero (kN)	40.2	35.6
Área de contacto rueda delantera (m ²) Sobre superficie rígida	0.18	0.09
Área de contacto rueda trasera (m ²) Sobre superficie rígida	0.262	0.160
Presión área de contacto rueda delantera (kPa)	47.7	65.5
Presión área de contacto rueda trasera (kPa)	76.7	111.25

*** La presión de inflado de los neumáticos estaba dentro del rango indicado Dwyer y Febo (1987).**

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el programa Statgraf 7.1. Se realizó un análisis de varianza simple ANOVA y las medias de los tratamientos se hicieron por medio del test de Tukey ($p \leq 0,05$).

Resultados y Discusión

Como se explicó en el capítulo anterior, se realizaron las tomas de humedad gravimétrica, para cada tratamiento, al momento de realizar el ensayo de corte y la penetrometría. Esto se realizó para independizar a los dos parámetros: resistencia a la penetración y esfuerzo cortante de la humedad del suelo.

Tabla 3: Humedad gravimétrica en el perfil del suelo para los tres tratamientos mecánicos.

Intervalo de profundidad (mm)	Humedad (% p/p)		
	a) Suelo arado	b) Suelo cama de siembra	c) Suelo bajo siembra directa
0 -150	23.5 a	24.5 a	25.2 a
150 - 300	24 a	24 a	24.5 a
300 - 450	23.4 a	23.3 a	24 a

Diferente letra, para un mismo intervalo de profundidad, en sentido horizontal denotan diferencias significativas (test de Tukey ($p \leq 0.05$)).

Luego de la toma de datos de humedad gravimétrica, no se encontró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los mismo en los tres tratamientos mecánicos de suelo. En consecuencia las diferencias en el parámetro resistencia a la penetración no se debieron a la humedad del suelo, sino al estado mecánico del mismo.

Tomando como base la propuesta de selección de neumáticos del NIAE (Dwyer y Febo 1987) resulta que, para todos los tractores utilizados en los ensayos, los tamaños de sus neumáticos coinciden con la propuesta citada, y con las aconsejadas por el fabricante del tractor.

Cabe aclarar que las presiones de inflado de todos los neumáticos utilizados en los tractores probados estaban comprendidas dentro de los intervalos de presiones recomendados por Dwyer y Febo (1987).

En cuanto a la condición original del suelo sin tráfico, que fuera considerada como sustrato, ésta fue mecánicamente diferente. Para los tres tratamientos mecánicos, tanto la resistencia a la penetración como la resistencia al corte fueron mayores para el suelo bajo siembra directa, seguido por el suelo en cama de siembra y finalmente el suelo arado (Figuras 10 11 y 12).

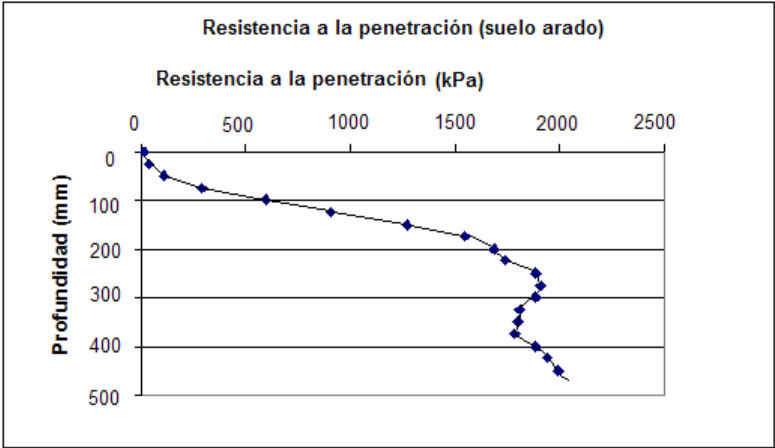


Figura 10: Resistencia a la penetración suelo arado

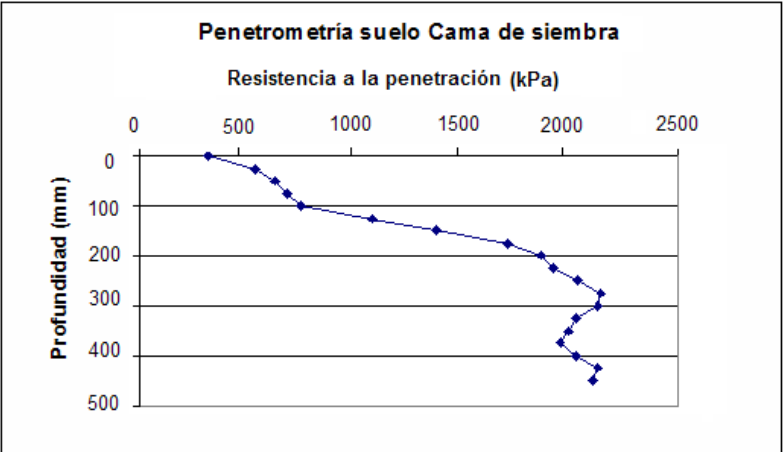


Figura 11: Resistencia a la penetración suelo cama de siembra

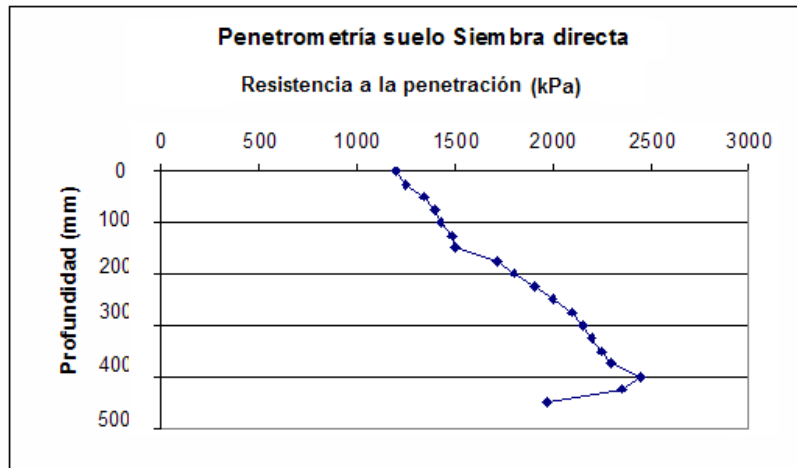


Figura 12: Resistencia a la penetración suelo bajo siembra directa

Esta situación fue predecible al momento de decidir las condiciones mecánicas que se usaron como sustrato para el ensayo. Una menor capacidad portante del suelo con laboreo primario es justificable a través de la labor recibida antes de los tratamientos experimentales. En este sentido es posible coincidir con la descripción citada por Balbuena et al. (1995) como modelo descriptivo del incremento en la resistencia a la penetración producido por el peso de la maquinaria sobre el suelo bajo siembra directa.

En los tres tratamientos si se analizan conjuntamente los datos de resistencia a la penetración (tablas 4, 5, 6) al realizar el ensayo, para las tres condiciones de suelo, se puede corroborar que los valores de este parámetro siempre fueron mayores para el suelo bajo siembra directa, lo anterior se puede relacionar a las diferentes actividades productivas del sistema. Además se debe señalar que los valores de coeficiente de variación fueron siempre inferiores al 30% que, según Little y Hills (1991), señalan la confiabilidad de los mismos.

Tabla 4: Suelo bajo siembra directa: Análisis previo al ensayo de corte de la variabilidad en la evaluación de la resistencia a la penetración.

Prof. mm	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Muestra	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Promedio (kPa)	1230	1280	1370	1417	1500	1910	2283	2300	2560	2200
Coef. de Variación	22	27	26	25	24	24	23	23	22	23

Tabla 5: Suelo Cama de siembra: Análisis previo al ensayo de corte de la variabilidad en la evaluación de la resistencia a la penetración.

Prof. mm	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Muestra	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Promedio (kPa)	400	589	750	1100	1800	2120	2300	2000	2100	2170
Coef. de Variación	29	28	25	23	20	20	20	20	20	20

Tabla 6: Suelo arado: Análisis previo al ensayo de corte de la variabilidad en la evaluación de la resistencia a la penetración.

Prof. mm	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Muestra	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Promedio (kPa)	0	210	520	890	1650	1890	1870	1750	1900	2010
Coef. de Variación	22	27	26	25	24	24	23	23	22	23

En cuanto al esfuerzo cortante (Figuras 13, 14 y 15) los valores medidos en el ensayo a campo con placa se encuentran dentro de lo normal para el tipo de suelo de los tres sistemas productivos, siendo mayores para el suelo bajo siembra directa, esto indica que el suelo de este sistema productivo tiene una capacidad mayor, que los otros dos tratamientos, para soportar el tránsito de una rueda (soporta mayores esfuerzos tangenciales sin que se produzca rotura). Al mismo tiempo esto indica también que el suelo de este tratamiento se encuentra en un estado de mayor compactación que los otros dos.

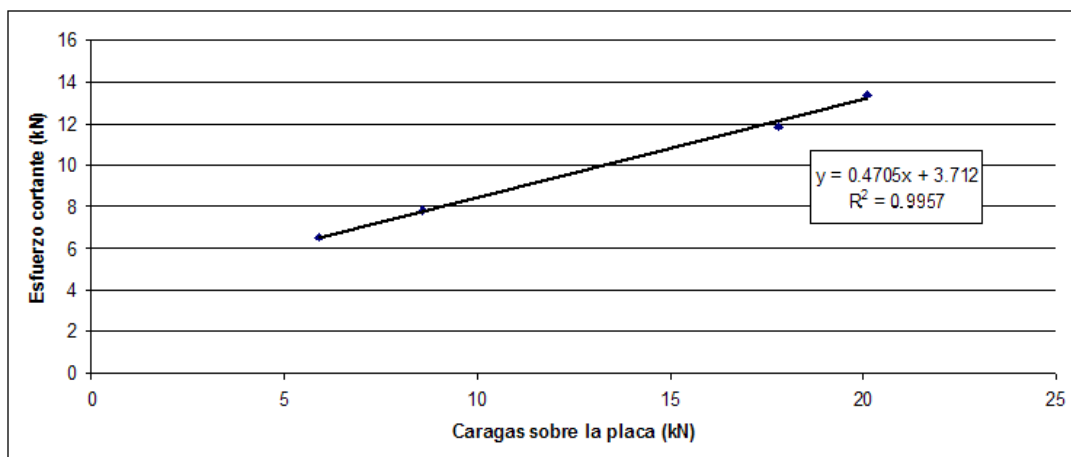


Figura 13: Relación entre el esfuerzo cortante y la carga aplicada sobre el suelo bajo siembra directa.

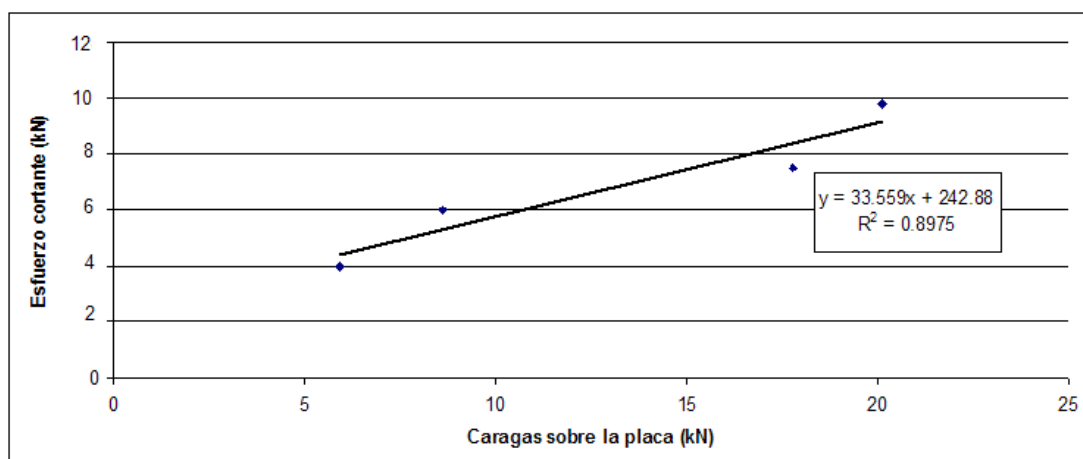


Figura 14: Relación entre el esfuerzo cortante y la carga aplicada sobre el suelo cama de siembra.

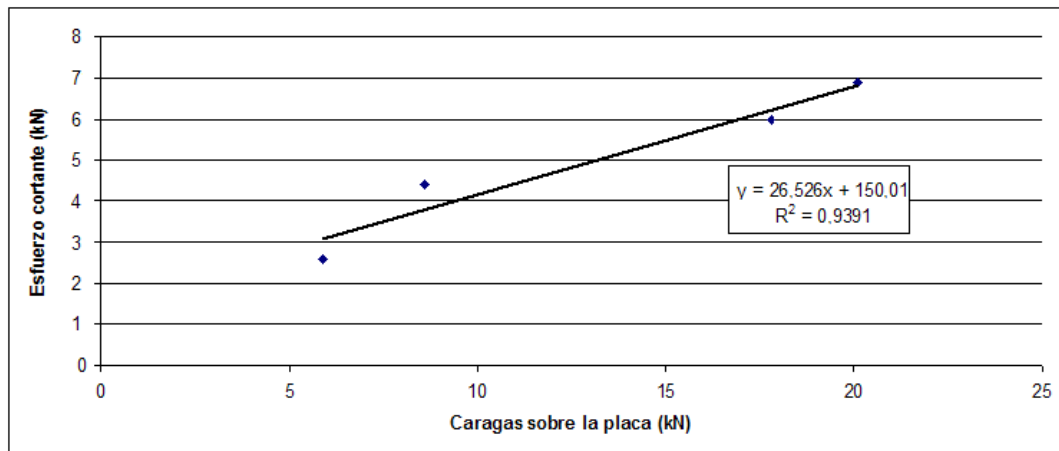


Figura 15: Relación entre el esfuerzo cortante y la carga aplicada sobre el suelo arado.

En las figuras anteriores (Figuras 13, 14 y 15) se puede ver que, ante las mismas cargas aplicadas sobre la placa de corte, el suelo bajo siembra directa (Figura 13) arrojó valores mayores de esfuerzo cortante que los otros dos tratamientos mecánicos siendo el suelo arado, y de menor estado de compactación, el que arrojó los menores valores de corte.

Se debe destacar que el ensayo con placa de corte realizado sobre suelo consolidado (siembra directa) tuvo el mayor valor de R^2 (Figura 13) respecto a los suelos laboreados o no consolidados (Figuras 14 y 15). Esto coincide con lo expresado por Sánchez Girón Renedo (1996) quien señala que los resultados obtenidos en ensayos sobre suelos no consolidados pueden surgir interpretaciones erróneas en la determinación del ángulo de rozamiento interno del suelo y, por lo tanto las lecturas de esfuerzo cortante suelen ser erróneas. Estos errores originan falsas estimaciones en la predicción del esfuerzo de tracción que realiza una rueda o una oruga sobre el suelo agrícola, trayendo dificultades en la formación de conjuntos armónicos.

Finalmente, en las figuras 16, 17 y 18 se puede ver que existe una relación directa entre los valores de índice de cono y de esfuerzo de corte para los tres tratamientos mecánicos de suelo. Sin embargo también se puede ver que, ante una misma carga aplicada sobre la placa de corte, los valores mayores de esfuerzo cortante son para el suelo bajo siembra directa, esto coincide con lo expresado por Botta 2000, respecto a que, cuanto mayor es el estado de compactación de un suelo mayores son los valores de esfuerzo requerido para el corte del mismo.

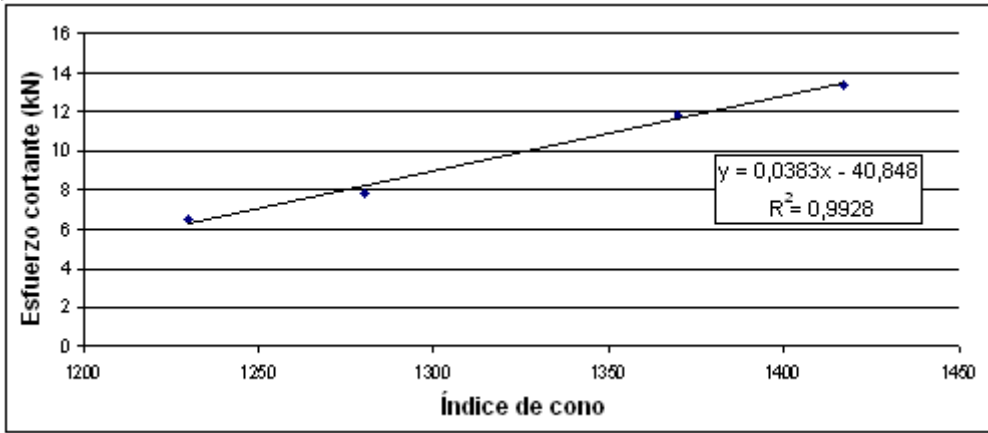


Figura 16: Relación, para las mismas carga sobre la placa de corte, entre los valores de índice de cono y el esfuerzo cortante del suelo bajo siembra directa.

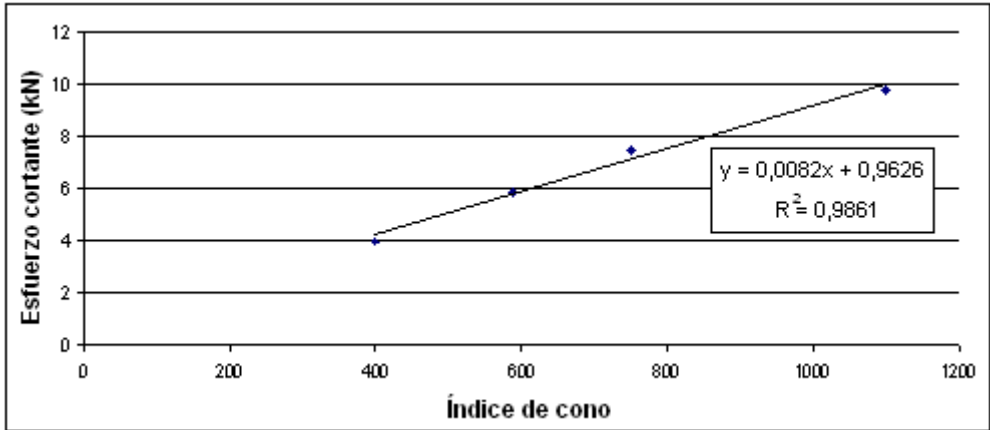


Figura 17: Relación, para las mismas carga sobre la placa de corte, entre los valores de índice de cono y el esfuerzo cortante del suelo cama de siembra.

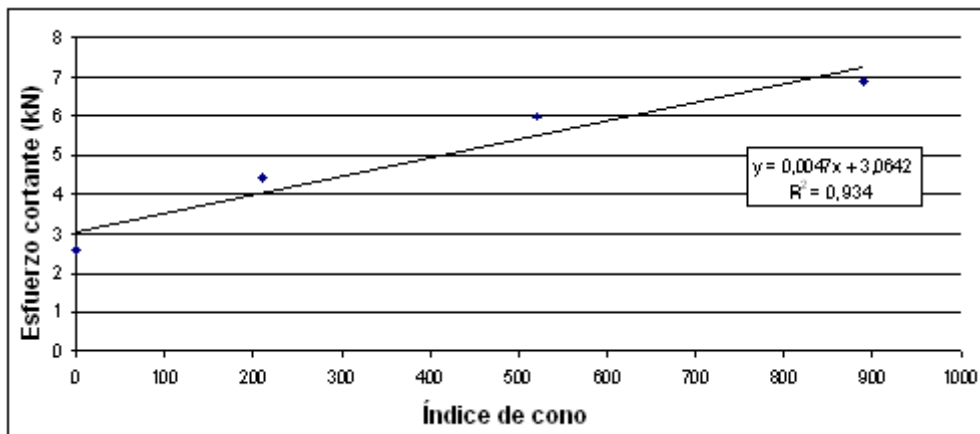


Figura 18: Relación, para las mismas carga sobre la placa de corte, entre los valores de índice de cono y el esfuerzo cortante del suelo arado.

Consideraciones finales y conclusiones

Consideraciones Finales

De la discusión generada en los apartados anteriores quedó demostrado que:

Al comparar los valores de esfuerzo cortante, en los tres tratamientos mecánicos bajo estudio, se encontró que los valores de dicho parámetro fueron siempre mayores en el suelo trabajado bajo siembra directa, siendo menores en los suelos labrados (cama de siembra y arado). Proporcionándose suficiente evidencia como para validar la **hipótesis 1**

Existe una relación directa entre los valores de resistencia a la penetración y los valores de esfuerzo cortante. Al mismo tiempo los valores de dichos parámetros, generados por los tres tratamientos mecánicos, fueron mayor cuanto mayor fue el estado de compactación del suelo. Esto significa que existe evidencia válida como para validar la **hipótesis 2**.

Conclusiones

Dentro de los límites de este experimento, se concluye lo siguiente:

- El parámetro de esfuerzo cortante del suelo es útil para diagnosticar el estado de compactación del mismo.
- Los valores de resistencia a la penetración guardan una relación directa con los valores de esfuerzo cortante independientemente del estado mecánico del suelo.
- El suelo bajo siembra directa continua requiere un elevado esfuerzo de corte con altas carga sobre la rueda.

Bibliografía Utilizada

- ASAE 1998 Standard Soil Cone Penetrometer S313.
- Balbuena, R.; Aragon, 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. Viçosa. Brasil
- Botta, G. F. Rivero, O. Pozzolo, M. Tourn, F. Bellora Melcon, G. Nardon, R. Balbuena, A. Tolón Becerra, H. Rosatto S. Stadler. 2008. Soil compaction produced by tractor with radial and bias - ply tyres in two soil conditions: conventional tillage and direct sowing. ISSN: 0167-1987.Ed. ELSEVIER. Soil and Tillage Research, 101/44 – 51.
- Botta G.F., Pozzolo O., Bomben M., Rosatto H., Rivero D., Ressia M., Tourn M., Soza E. and J. Vázquez. 2007. Traffic alternatives in harvest of soybean (*glycine max* l.): effect on yields and soil under direct sowing system. ISSN: 0167-1987.Ed. ELSEVIER. Soil and Tillage Research, 96/145 – 154.
- Botta G., Jorajuria D., H. Rosatto and C. Ferrero. 2006. Light tractor frequency on soil compaction in the rolling Pampa region of Argentina ISSN: 0167-1987.Ed. ELSEVIER. Soil and Tillage Research, 86/19 – 14.
- Botta G., Jorajuria D., Balbuena R. and H. Rosatto. 2004. Mechanical behavior of an agricultural soil under different traffic intensities: effect on soybean (*glycine max* l.) yields. ISSN: 0167-1987.Ed. ELSEVIER. Soil and Tillage Research 78/1: pp. 53-58.
- Botta,G.F., Draghi, L., Jorajuria, D. 2001. Tractores agrícolas. Ed. Universidad Nacional de Luján. ISBN : 987-9285/11/5. 212 pp.

- Botta, G. F. 2000. Distribución subsuperficial de la compactación inducida por el tráfico agrícola. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Luján. Pp 250.
- Dwyer, M..J., Febo, G. 1987. Agricultural Tyre Hanbook. Editor: Institute of Agricultural Engineering. West Road, Silsoe, Bedford, UK. 32pp.
- Little, T., Hills, J. 1990. Método estadístico para la investigación en la agricultura. Editorial Trillas. pp. 268.
- Marrón, G. 2008. Maquinaria agrícola y labranza. Curso de capacitación para Asesores de Grupo Cambio Rural de la EEA INTA Bordenave.
- Sánchez Girón Renedo V. 1996. Dinámica y Mecánica de suelos. Ed. Aerotécnica pp 457.
- Soil Conservation Service. 1994. Keys to Soil Taxonomy. 6th. edition, Soil
- Taboada M., Micucci F. 2004. Fertilidad física de los suelos. Ed. FAUBA, 30 páginas.