

LABRANZA VERTICAL: EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO Y EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE SOJA (*Glycine max*) BAJO DIFERENTES GRADOS DE COMPACTACIÓN.

Paredes, Diego⁽¹⁾, Marcos Roba⁽¹⁾, Juan P. D'Amico⁽¹⁾, Angel Romito⁽¹⁾, Rodolfo Florean⁽¹⁾, Jorge Cura⁽¹⁾, Omar Tesouro^(1,2)

(1) Instituto de Ingeniería Rural, CNIA – INTA. CC 25 1712 Castelar, Prov. de Buenos Aires

(2) Instituto de Ingeniería Rural, CNIA – INTA. CC 25 1712 Castelar, Prov. de Buenos Aires - Cátedra de Maquinaria Agrícola. FAUBA

e-mail: dparedes@cnia.inta.gov.ar, otesouro@cnia.inta.gov.ar.

RESUMEN: Los procesos de densificación en suelos con alto contenido de arcillas se magnifican bajo el uso continuado de sistemas de siembra directa. El deterioro del suelo, se expresa, tanto a través de un incremento en su densidad aparente y de su resistencia a la penetración, como también en una disminución de la capacidad de infiltración del agua y del intercambio gaseoso. De esta manera se vuelve necesario probar alternativas de tratamiento del suelo como la labranza en franjas o la labranza vertical para intentar mantener una adecuada condición edáfica. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del cincelado sobre las propiedades físicas de un suelo Argiudol vértico con diferentes grados de compactación y sobre el rendimiento de un cultivo de soja. El experimento se llevó a cabo en el campo experimental del Instituto de Ingeniería Rural (INTA Castelar). El cincelado disminuyó significativamente la densidad aparente. Se observó una diferencial respuesta a la labranza en función del nivel de compactación de las parcelas. La resistencia a la penetración del suelo se redujo significativamente por efecto del tratamiento de labranza. La persistencia del efecto se observó a través de todo el ciclo del cultivo. Los rendimientos variaron por efecto del tratamiento de acuerdo al nivel de compactación de las parcelas.

Palabras clave: Densidad aparente, resistencia mecánica a la penetración, rendimiento del cultivo de soja

VERTICAL TILLAGE: EFFECT OVER SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND SOYBEAN (*Glycine max*) CROP UNDER DIFFERENT COMPACTION DEGREES

ABSTRACT: Densification processes on soils with high clay content get magnified under continuous use of no-tillage cropping. Soil degradation is expressed, as an increment of its bulk density and its penetration resistance, like also as a decrease in water infiltration and air exchange rate. It becomes necessary to test alternative soil treatments as strip tillage, subsoilers and planter attachments in order to maintain an adequate soil physical condition. The objective of this study was to determinate the effects of chisel tilling over the soil physical properties and the yield of a soybean crop on a vertic argiudol with different compaction degrees. The experience was carried over on a compaction experimental plot of the Rural Engineering Institute (INTA Castelar). The chiselling treatment decreased soil bulk density. A differential response was observed as function of the plot compaction degree. Soil resistance was significantly reduced by tilling treatment. The persistence of the effect was observed over all the soybean cycle. Yield varied by effect of the treatment according to the compaction degree.

Key words: Soil compaction, vertical tillage, bulk density, cone index, yield

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, se ha producido un incremento sistemático en el peso de la maquinaria agrícola, lo que puede haber propiciado una persistente compactación del subsuelo (Hakansson y Reeder, 1994). Por su parte, han ocurrido en nuestro país cambios sustanciales en el manejo de los sistemas de producción agrícola. Quizás, el más emblemático, haya sido el retroceso de las formas tradicionales de preparación del suelo frente al avance de la siembra directa. La técnica de

no labranza presenta su principal desafío en suelos pobremente drenados, en los cuales sus propiedades físicas superficiales son afectadas debido a la ausencia de la labranza como medida correctiva (Licht, y col., 2005). En muchos casos, el aumento del escurrimiento superficial del agua observado en suelos con esta forma de cultivo, ha sido atribuido al incremento de la compactación y de la densidad aparente (Lindstrom y Onstad, 1984; Potter y Chichester, 1993; Cassel y col., 1995; Hussain, et al. 1998).

El tránsito repetido provoca un fuerte reacomodamiento de los agregados del suelo y la formación de una estructura masiva o platiforme con fisuras horizontales (Horn y col., 1995). Estos tipos de estructura pueden originarse principalmente con texturas limosas o arcillosas.

El deterioro del estado físico del suelo puede ser mitigado mediante sistemas de labranza conservacionistas como la labranza en franjas (Raper y col., 1994; Schwab y col., 2002) o por medio de labranza vertical. (Al Adawi y Reeder, 1996).

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto sobre el suelo y el rendimiento del cultivo de soja, de la labranza vertical sobre un Argiudol vértico con diferentes grados de compactación.

MATERIALES Y METODOS

Descripción del ensayo: El ensayo se realizó en el campo experimental del Instituto de Ingeniería Rural (INTA Castelar. Pcia de Buenos Aires) sobre un suelo que pertenece al gran grupo de los Argiudoles Vérticos. El contenido de arcilla del horizonte Ap es del 28,5 %, y el de materia orgánica del 4,6 %. La clase textural es franco arcillo limoso, siendo la humedad equivalente del 24,9 %. El relieve del área es Normal. En el área experimental se efectuaron en el mes de julio de 2000 tres tratamientos de compactación, consistentes en 8, 6 y 4 pasadas con un tractor de diez toneladas de peso, permaneciendo como testigo un sitio sin transitar, con lo cual quedaron definidas las parcelas 8, 6, 4 y 0 respectivamente (Figura 1). Cada tratamiento fue repetido tres veces, en un diseño en bloques completos aleatorizados. En el año correspondiente al presente ensayo la parcela 4 no fue relevada. Los bloques poseen una extensión de 20 metros y un ancho de 10,5 metros y están dispuestos en forma perpendicular a una toposecuencia que determina que el horizonte textural se encuentre a distinta profundidad. El bloque I, de perfil más somero, se ubica en la loma, el II en la media loma y el III, el más profundo, en el bajo. Las dimensiones de cada una de las 12 parcelas son de 10,5 metros de largo por 5 metros de ancho. Luego de la preparación de las parcelas se inició una rotación de trigo y soja implantados mediante siembra directa.

En julio de 2004, cada una de las parcelas fue dividida en dos subparcelas. En una de ellas, se efectuó un escarificado del suelo en sentido transversal a los bloques con un cultivie de seis arcos separados a 0,5 metros. A partir de ese momento se mantuvieron subparcelas bajo siembra directa y subparcerlas con labranza, las que fueron roturadas mediante un arado de cinceles de arco flexible separados a 27cm. En este ensayo, para implantar la soja, se utilizó una sembradora Migra de 7 surcos separados a 0,7 metros con su tren de distribución estándar compuesto por cuchillas circulares lisas, surcadores de doble disco con ruedas limitadoras de profundidad y ruedas dobles gemelas cubridoras y compactadoras. La máquina sembradora fue traccionada mediante un tractor Ford 4600 con una trocha de 1,40 metros.

La siembra se realizó a principios de noviembre de 2006 empleando semilla certificada Nidera 4404 SG con una densidad efectiva de siembra de 28 semillas por metro lineal de surco.

Luego de efectuada la cosecha, en la última semana de mayo y a fin de cuantificar la magnitud y la persistencia del efecto del escarificado, fueron relevados en los bloques II y III, el contenido de humedad y la densidad aparente del suelo en los surcos y en los entresurcos y los perfiles de resistencia del suelo. La densidad aparente se determinó tomando tres muestras de suelo en cada una de las subparcelas, empleando cilindros de 50 milímetros de longitud por 50 milímetros de diámetro, los cuales fueron colocados a cuatro profundidades sucesivas a fin de evaluar el horizonte superficial entre 0,0 y 0,2 metros, totalizando 24 muestras por parcela. Debido a las características texturales y mineralógicas del suelo donde se realizó el ensayo, este parámetro resulta sustancialmente afectado por el contenido de humedad del suelo al momento de extraer las muestras. Para superar este inconveniente, la densidad aparente se calculó considerando la contracción que experimentan las muestras de suelo luego de ser mantenidas a 105 grados centígrados hasta constancia de peso. Se determinó el contenido de humedad gravimétrica expresado como porcentaje sobre suelo seco a partir de la diferencia entre las muestras en húmedo y luego secadas a estufa. Las muestras de humedad gravimétrica y resistencia a la penetración fueron tomadas simultáneamente debido a la estrecha relación existente entre dichas

variables. Los perfiles de resistencia del suelo fueron determinados, en cada una de las parcelas, muestreando a lo largo de tres transectas, perpendiculares a la dirección de siembra, hasta una profundidad de 0,45 metros. Utilizando un penetrómetro estandarizado (ASAE Standard S.313. 1992), se efectuaron mediciones cada 0,35 metros abarcando la totalidad de los surcos de la sembradora.

La cosecha, que incluyó las subparcelas cinceladas y sin cincelar de los tres bloques, se realizó manualmente a fines de mayo de 2007, recolectando al azar tres muestras de dos metros de surco por subparcela. Las muestras fueron trilladas mediante una máquina estacionaria.

La evaluación estadística de los parámetros físicos del suelo se efectuó mediante análisis de varianza para un diseño en bloques completos aleatorizados (DBCA). Los efectos principales considerados en dicho análisis fueron los bloques, el cincelado (tratamiento), las parcelas y las profundidades. Se incluyeron en el modelo las interacciones entre el tratamiento y el resto de los efectos. La significación estadística del tratamiento en los bloques, parcelas y profundidades fue determinada mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$) y contrastes ortogonales. Para el análisis del rendimiento del cultivo se utilizó el mismo modelo estadístico, pero en este caso los efectos principales considerados fueron el tratamiento, las parcelas y los bloques.

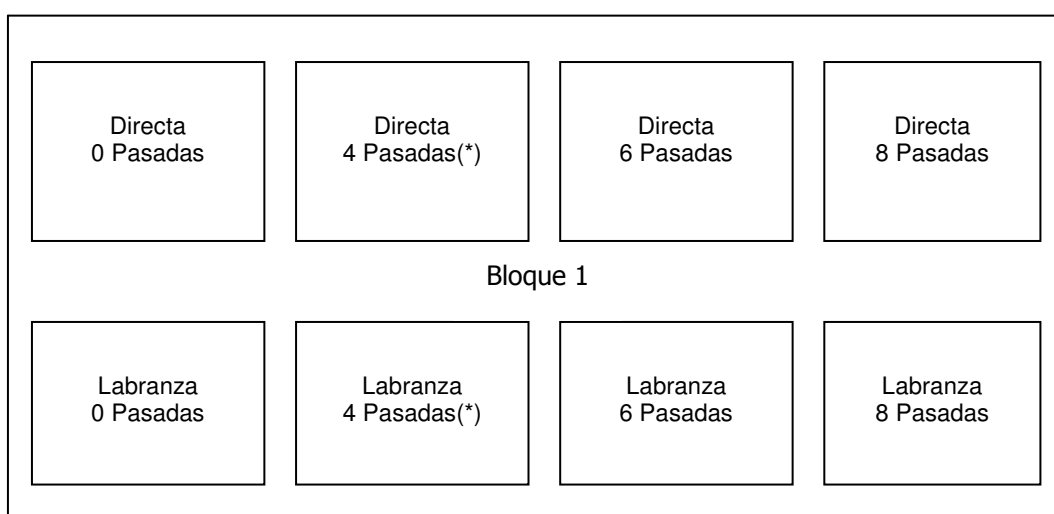


FIGURA 1: Representación esquemática del diseño experimental. El mismo diseño fue repetido en dos bloques. Referencias: Directa: Siembra Directa. Labranza: Cincelado, Pasadas: Compactación aplicada a través de pasadas de tractor. (*) En la presente campaña la pasada 4 no fue relevada.

RESULTADOS Y DISCUSION

Densidad aparente:

Se detectaron diferencias altamente significativas en la densidad aparente del suelo por efecto de los bloques ($F=29.42$), de la labranza ($F=55.4$), de las parcelas ($F=22.43$) y de la profundidad a la cual fue obtenida la muestra ($F=101.09$), todas ellas con una $Pr>F<0.0001$. Las interacciones entre la labranza y las parcelas presentó significación estadística ($F=3.59$; $P=0.0150$) como así también la interacción bloque x parcela ($F=3.79$; $P=0.0116$)

La densidad aparente promedio de los sitios sin disturbar, fue estadísticamente superior a la de los sitios disturbados, alcanzando valores de 1.51 y 1.45 g.cm^3 respectivamente.

En lo que respecta a los bloques, el bloque 3 presentó una media de 1.46 g.cm^3 , mientras que las del bloque 2 fue de 1.50 g.cm^3 . La densidad aparente promedio de los sitios sin disturbar del bloque II, fue levemente superior aunque estadísticamente significativa, a la del BIII, alcanzando valores de 1.54 y 1.48 g.cm^3 respectivamente. En el mismo orden, la densidad aparente en los sitios laboreados fue de 1.46 y 1.43 g.g.cm^3 . La reducción de la densidad aparente a causa del tratamiento de labranza resultó prácticamente idéntica en ambos bloques, lo cual se refleja en la falta de significación (0.1107) de la interacción bloque x tratamiento.

La interacción significativa entre la labranza y las distintas parcelas fue consistente con los contrastes ortogonales que se efectuaron comparando la densidad aparente de los sitios

disturbados y sin disturbar, dentro de cada parcela. Dichos contrastes resultaron significativos para los testigos sin compactar ($F= 3,38$; $Pr>F= 0,0315$) y altamente significativos en las parcelas compactadas ($F= 45,58$; $Pr>F= 0,0001$ y $F= 16,18$; $Pr>F= 0,0001$ en los casos de las parcelas 6 y 8 respectivamente (Figura2)

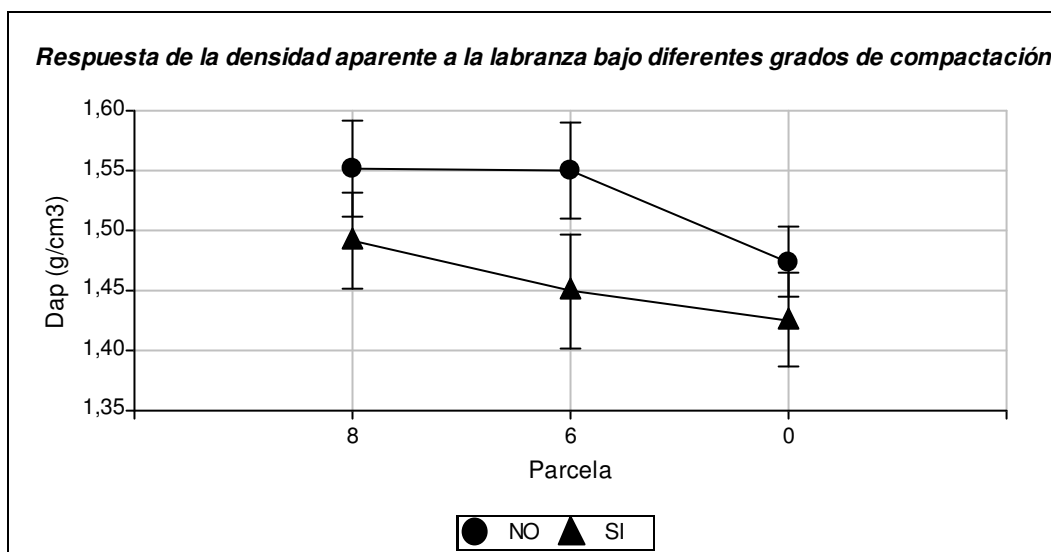


FIGURA 2: Densidad aparente de las parcelas con diferente grado de compactación en los sitios laboreados (Si) y en los sitios sin laborear (No). Intervalos de confianza de la media al 95 %.

En este sentido, al comparar mediante contrastes ortogonales los testigos sin cincelar con los sitios cincelados en las parcelas compactadas, no se obtuvieron diferencias significativas, alcanzando un valor de “F” de 1.65, y un valor p de 0,201. Si bien este resultado no significa necesariamente una reversión del efecto de la compactación, es evidente que se ha alcanzado una mejora en la condición física del suelo en los sitios compactados.

Consistentemente, cuando dicho análisis se realizó comparando los testigos sin disturbar y las parcelas compactadas también sin disturbar, pudieron observarse diferencias altamente significativas entre los tratamientos mencionados. ($F=12.68$; $p=0.0005$)

Por otra parte, al considerar los sitios no laboreados, la densidad aparente de las parcelas compactadas se diferencia claramente de los testigos ($F= 7.11$; $Pr>F< 0.0002$), lo cual indica que el efecto del tratamiento de compactación realizado en el año 2000 fue perceptible, pese al tiempo transcurrido y a que por las características texturales del suelo donde se realizó este ensayo puede considerarse como altamente resiliente. Dicho comportamiento coincide con lo hallado por Al-adawi y Reeder, 1996, quienes observaron que los efectos de la compactación persistían hasta 5 años después de efectuados los tratamientos.

En lo que respecta a la profundidad, la acción del escarificador se manifestó en todo el perfil del suelo. Las diferencias entre los sitios escarificados y sin escarificar fueron significativas en todos los niveles.

Resistencia a la penetración:

La resistencia a la penetración es un parámetro del suelo que normalmente presenta un elevado grado de variabilidad espacial y temporal. Resulta profundamente afectado por otras magnitudes físicas como la densidad aparente y fundamentalmente, por el contenido de humedad existente en el momento de efectuar las mediciones). Dicha variabilidad dificulta la observación precisa y las comparaciones de los efectos de los tratamientos. Pese a ello, los resultados obtenidos a partir de la realización de las transectas en las distintas parcelas, muestran una serie de tendencias unívocas y con significación estadística, las cuales se señalan a continuación.

Se detectaron diferencias altamente significativas en la resistencia a la penetración por efecto del cincelado ($F=626.85$), de las parcelas ($F=8.71$) y por la profundidad ($F=151.44$), todas ellas con $Pr>F <0,0001$. Existieron interacciones significativas del tratamiento de labranza con las parcelas ($F=30.16$; $Pr>F <0,0001$) y con la profundidad ($F=2.39$; $Pr>F <0,0001$).

Todos los tratamientos disturbados presentaron valores de índice de cono significativamente menores a los tratamientos sin disturbar.

Si bien el efecto de la labranza fue altamente significativo ($p < 0.0001$) en todas las parcelas, la diferencia en los valores de índice de cono entre tratamientos varió con el grado de compactación de las mismas, siendo de 247 kPa en los testigos sin compactar y de 777 kpa en las parcelas mas compactadas.

Por su parte, no existieron diferencias estadísticamente significativas por efecto de los bloques como así tampoco por efecto de sus interacciones. Los valores medios de índice de cono de los tratamientos con labranza fueron de 1337 Kpa, mientras que los tratamientos sin labranza arrojaron valores de 1910Kpa.

Como puede observarse en la Figura 3, en el rango de acción del implemento de labranza, la resistencia a la penetración se incrementó significativamente con el aumento de la profundidad. En este sentido y en base a la interacción labranza x profundidad, pudo observarse que las diferencias entre tratamientos fueron mínimas en los estratos más superficiales y máximas en los más profundos, dentro del rango de acción del implemento.

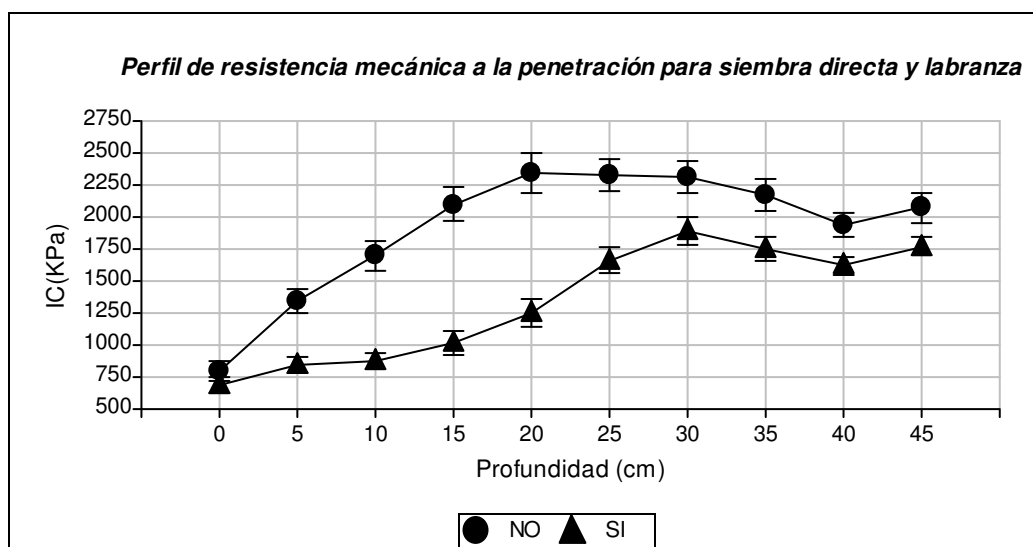


FIGURA 3: Resistencia mecánica a la penetración en función de la profundidad del suelo. Sitios laboreados (Si) y sin laborear (No) Intervalos de confianza de la media al 95 %.

Rendimiento del cultivo

El rendimiento del cultivo presentó diferencias significativas entre bloques ($F=19.15$; $Pr > F < 0,0001$) y por la acción del cincelado ($F=4.57$; $Pr > F = 0,0371$). No se detectaron interacciones significativas entre la labranza y los bloques ($F=0.39$; $Pr > F = 0,6780$) ni entre los bloques y las parcelas ($F=0.12$; $Pr > F = 0,99310$).

El rendimiento promedio de las parcelas disturbadas fue de 4082 kg/ha, mientras que la media de las parcelas sin disturbar fue de 3692 kg/ha (Figura 4)

A su vez, si bien la interacción Parcela x tratamiento no alcanzó significación estadística ($F=1,14$; $pr > F=0,3402$), las diferencias en los rendimientos medios entre los sitios con y sin labranza resultaron mayores en las parcelas con mayor grado de compactación y menores en los testigos. Por su parte, las parcelas más compactadas y laboreadas, alcanzaron rendimientos equivalentes a los testigos sin laborear.

En lo que respecta a los bloques, el bloque 2 presentó mayores valores que el bloque 3 con una media de 3101 y 4161 kg/ha respectivamente.

La falta de respuesta al tratamiento de compactación puede deberse a que el ensayo se realizó bajo condiciones de escaso contenido hídrico, lo que pudo haber determinado, a través de una adecuada tasa de infiltración, condiciones no limitantes de aireación para el cultivo. Dicha tendencia coincide con Gaultney y col., 1982, quienes informaron que compactaciones severas en temporadas secas duplicaban los rendimientos en comparación con temporadas húmedas. Consistentemente, Al-adawi en 1996, reportó que la compactación edáfica provocaba la mayor pérdida de producción en años con abundantes precipitaciones.

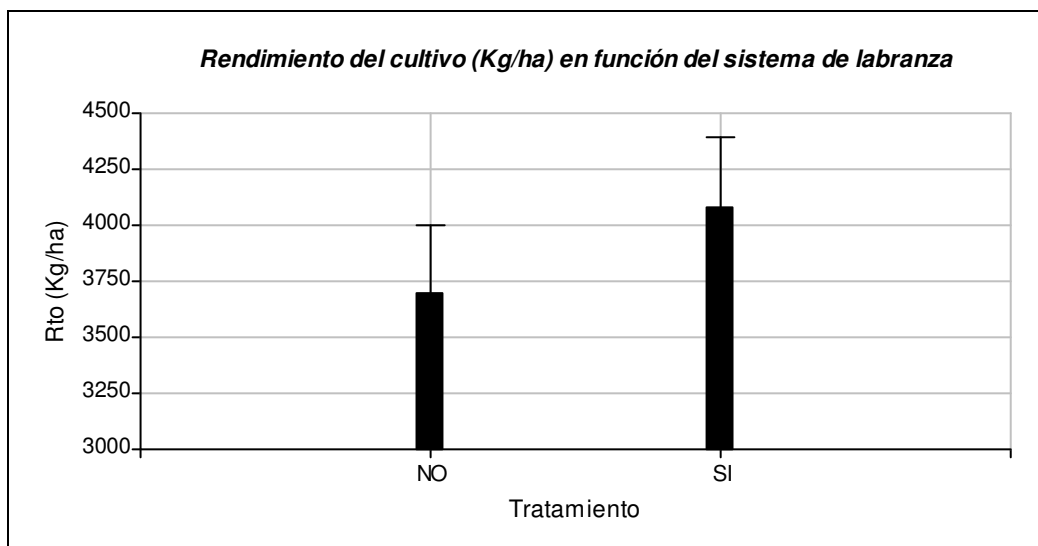


FIGURA 4: Rendimiento del cultivo de soja en los sitios labreados (Si) y sin laborear (No).

CONCLUSIONES

El tratamiento de cincelado redujo la densidad aparente y la resistencia mecánica a la penetración, evidenciando una mejora en la condición física del suelo.

La intensidad de su efecto varió en función del grado de compactación del suelo.

La labranza incrementó el rendimiento del cultivo. Existió una respuesta diferencial según el grado de compactación de las parcelas.

BIBLIOGRAFIA

- AL ADAWI, S. S.; R.C. REEDER. 1996. Compaction and subsoiling effects on corn and soybean yields and soil physical properties. *Transaction of the ASAE* 1996 Vol 39 (5): 1641 – 1649
- CASSEL, D.K.; RACZKOWSKI, C.; DENTON, H.P. 1995. Tillage effects on corn production and soil physical conditions. *Soil Sci.Soc. Am.J.* 59 (5): 1436-1443.
- GAULTNEY, L.; KUTZ, G.W.; STEINHARDT, G.; LILJEDAHL, J.B. 1982. Effects of subsoil compaction on corn yields. *Transactions of the ASAE* 25(3): 563-575
- HÅKANSSON, I. Reeder, C.R. 1994. Subsoil compaction by vehicles with high axle load - extent, persistence and crop response. *Soil & Tillage Research*, 29 (2-3) 277-304.
- HUSSAIN, I.; OLSON, K.R.; SIEMENS, J. 1998. Long-term tillage effects on physical properties of eroded soil. *Soil Science*. 163 (12): 970-981.
- LICHT, M. A.; AL KAISI, M. 2005. Strip tillage effect on seedbed soil temperature and other soil physical properties. *Soil & Tillage Research* 80 (2005) 233-249
- LINDSTROM, M. J.; ONSTAD, C. A. 1984. Influence of tillage systems on soil physical parameters and infiltration after planting. *J. Soil & Water Conservation*. 39: 149-152.
- POTTER, K.N.; CHICHESTER, F. W. 1993 Physical and chemical properties of a vertisol with continuous controlled-traffic no till management. *Transaction of the ASAE* 36(1): 95-98.
- RAPER R.L.; REEVES, D.W.; BURT E.C.; TORBERT, H.A. 1993. Conservation tillage and traffic effects on soil condition. *Transaction of the ASAE* 37 (3): 763-768
- SCWAB, E.B.; REEVES, D.W.; BURMESTER, C.H.; RAPER, R.L. 2002- Conservation tillage systems for cotton in Tennessee Valley. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66 (3): 569-577.