

DESCOMPACTACIÓN DE UN SUELO Y DEMANDA ENERGÉTICA DE UN ARADO PARATILL A TRES PROFUNDIDADES Y DOS ANCHO DE LABOR

SOIL COMPACTION AND ENERGETIC DEMAND OF A PARATILL PLOW AT THREE DEPTHS AND TWO WORKING WIDTHS

Adrián Vallejos*, Cristian Zajac, Juan Silenzi, y Nora Echeverría.

Universidad Nacional del Sur, Departamento de Agronomía, San Andrés 800, Bahía Blanca 8000, Argentina. *Autor para correspondencia: E-mail: avallejo@criba.edu.ar

RESUMEN

Los suelos del sur de la Región Pampeana de Argentina se cultivaban con herramientas de discos, que por su reiterado e inoportuno uso provocaron la formación de pies de arado. El objetivo de esta investigación fue determinar la descompactación de un suelo y evaluar la demanda energética con un arado paratill a diferentes profundidades y configuración de rejas. Se utilizó un tractor de 88,3 KW y un arado paratill en las configuraciones de arcos: máximo ancho de labor, profundidad máxima (C1), intermedia (C2), mínima (C3), y mínimo ancho de labor, profundidad máxima (C4). Se midió velocidad de avance, esfuerzo de tracción, frente de labor, resistencia a la penetración, profundidad media de trabajo y se calculó patinamiento, potencia a la barra, y resistencia específica. Los resultados fueron que el esfuerzo de tracción fue mayor para C1 (23868 N), seguido por C4 (18445 N), C2 (15384 N) y C3 (8404 N). Las variaciones de esfuerzo de tracción provocaron patinamientos y velocidades diferentes entre tratamientos. La resistencia específica fue menor para C3 (3,42 N cm⁻²) seguido de C2 (4,38 N cm⁻²), C4 (3,84 N cm⁻²) y C1 (5,32 N cm⁻²). El frente de labor se incrementó con la profundidad de trabajo. Para C4 y C1 se obtuvieron valores de resistencia a la penetración significativamente menores que el testigo. Se concluyó que el arado paratill demostró ser una herramienta útil para descompactar el suelo a nivel subsuperficial, y que con C4 se logró alcanzar la mayor eficiencia energética.

Palabras clave: subsolado, resistencia a la penetración, esfuerzo de tracción.

ABSTRACT

The south soils of the Pampas Region were cultivated with discs tools, but the repeated and improper use produced the formation of hardpans. This study aimed to determine the compaction alleviation of the soil and evaluate the energetic demand with a paratill plow at different depths and configuration of tines. A tractor with 88.3 KW and a drag paratill plow was used in the configuration of the tines: maximum working widths with maximum (C1), intermediate (C2) and minimum depth (C3); and for a minimum working width at a maximum depth (C4). Forward speed, draft, cross sectional area, penetrometer resistance (RP), mean depth of tillage were measured and tractor slip, power demand, and specific resistance (RE) were calculated. Results showed that draft was higher for C1 (23868 N), followed by C4 (18445 N), C2 (15384 N) y C3 (8404 N). Variation of draft caused sliding and different speed among treatments. The RE was lower for C3 (3,42 N cm⁻²) followed by C4 (3,84 N cm⁻²), C2 (4,38 N kg⁻²), y C1 (5,32 N cm⁻²). The profile cross section of disturbed soil did not vary between C1 and C4. Significantly lower values for RP were observed for C4 and C1 compared to the control value. It was concluded that the paratill plow is a useful tool to produce compaction alleviation of the subsurface level of the soil, and that the highest energy efficiency was achieved with C4.

Key words: deep tillage, penetration resistance, draft.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción del sur de la Pampa Argentina son agrícolas-ganaderos, basados en la producción de trigo y avena para forraje. Hasta principios de la década del 90 se cultivaba con aperos convencionales, básicamente arados rastras y rastras de discos (Buschiazzi et al., 1996), que por su reiterado e inoportuno uso provocaron la formación de pies de arado (Kruger, 1996). A partir de los años 90, la siembra directa (SD) reemplazó en gran parte a la agricultura convencional en la producción de trigo y en la mayoría de los casos los suelos no fueron subsolados.

Los barbechos químicos presentan varias ventajas tales como la protección del suelo contra los efectos de la erosión, aumento de la infiltración y la reducción en la evaporación (Unger, 2002). Sin embargo, en algunas situaciones donde la agricultura en SD es continua, se ha producido cierto grado de compactación superficial del suelo (Ferrerías et al., 2000), la cual se suma a la compactación residual del sistema de labranza anterior.

Los pies de arado se forman por el esfuerzo vertical de los discos de labranza sobre el fondo del surco (Tessier et al., 1997). El tráfico de tractores, cosechadoras y tolvas con altas cargas por eje también provocan compactación en las capas profundas del suelo (Raper, 2005; Hammel, 1994) además este tipo de densificación puede ser acumulativa (Jorajuría et al., 1997).

La compactación del horizonte superficial con el transcurso del tiempo en lotes de siembra directa es común tanto en la región pampeana como en otros lugares del mundo (Lampurlanés y Cantero-Martínez, 2003; Ferrerías et al., 2000). La compactación influye sobre la porosidad, estructura, capacidad de retención de agua y la resistencia mecánica del suelo, propiedades que en mayor o menor medida afectan el desarrollo radicular y el rendimiento de los cultivos (Lampurlanés y Cantero-Martínez, 2003).

La compactación del suelo se puede minimizar o revertir empleando prácticas como enmiendas de materia orgánica, rotaciones de cultivos y pasturas con especies vegetales que posean raíces capaces de penetrar capas densificadas, y realizar control del tráfico y escarificación (Hamza y Anderson, 2005).

En la superficie del suelo, la densificación puede ser corregida fácilmente con labores superficiales. Sin embargo la utilización de herramientas de discos o de cinceles disminuyen la cobertura superficial y generan excesiva rugosidad obligando a realizar otra labor (Unger, 1993). La densificación subsuperficial sólo puede ser revertida a corto plazo mediante subsolado (Jorajuría et al., 1997) o a largo plazo mediante la actividad radical de

pasturas (Silenzi, 1998).

Existen diversos modelos de subsoladores; el paratill tiene la particularidad de romper una mayor zona del perfil del suelo comparado con los subsoladores rectos (Busscher et al., 2006) y dejar los residuos vegetales en la superficie (Unger, 1993).

La demanda de esfuerzo de tracción para un determinado implemento depende básicamente del ancho de labor, profundidad, velocidad de trabajo, de las condiciones del suelo y la geometría del implemento (Upadhyaya et al., 1984).

En la región Pampeana Norte se han realizado mediciones de la demanda energética del arado paratill en Argiudoles, de textura franca arcillosa (Hilbert y Pincu, 2000; Hilbert y Tesouro, 2001), pero no se conocen antecedentes en Paleustoles Petrocálculos de textura franca arenosa que dominan la región Pampeana Sur.

Ante la escasa información, este trabajo puede contribuir al conocimiento en el tema presentado y facilitar decisiones de adquisición de equipos, planificación de labores y manejo de suelo. Se plantearon las siguientes hipótesis de trabajo: a) mediante la utilización del arado paratill es posible descompactar el suelo en subsuperficie, y b) la demanda de energía y la eficiencia de descompactación varía con la profundidad de trabajo y la configuración o disposición de las rejas sobre el chasis del arado paratill.

En este trabajo se plantearon los siguientes objetivos: determinar la descompactación de un suelo y evaluar la demanda energética de un arado paratill a diferentes profundidades y configuración de rejas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el campo experimental del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional de Sur, Bahía Blanca (38°44' S, 62°10' O), Argentina.

La precipitación media anual es de 591 mm (Serie 1896-2004), la humedad relativa media es del 63%, y la evapotranspiración es de 770 mm anuales (Mormeneo y Díaz, 2003). Según Thornthwaite y Matter (1957) el índice hídrico es -20 resultando en un clima Subhúmedo Seco.

El suelo fue clasificado como Paleustol Petrocálico (USDA, 1999), presenta un perfil poco desarrollado. La textura del horizonte Ap es franco-arenosa. La profundidad promedio se encuentra en un rango de 70 a 90 cm, con capacidad de agua útil en el perfil de 85 mm. La secuencia de horizontes fue Ap, A2, AC, C y 2Ck2, el tenor de carbono orgánico y la capacidad de campo del horizonte Ap fueron 11,8 g kg⁻¹ y 17%, respectivamente.

El lote utilizado fue cultivado durante 8 años con

trigo (*Triticum aestivum*) y los últimos 5 años fueron en SD.

La morfología de los horizontes Ap y A2 mostraba rasgos de la compactación antropogénica. El Ap presentaba una estructura en bloques subangulares, de tamaños gruesos (20-50 mm) y muy gruesos (> 50 mm) con tendencia a la masificación; la densidad aparente de campo fue de $1,41 \text{ Mg m}^{-3}$, mientras que el ensayo Proctor (ASTM, 1992) alcanzó $1,65 \text{ Mg m}^{-3}$. El horizonte A2 era masivo con ruptura en bloques gruesos; la densidad aparente de campo fue de $1,50 \text{ Mg m}^{-3}$ y la del ensayo Proctor $1,73 \text{ Mg m}^{-3}$.

La densidad de raíces del trigo, medido al momento de mayor masa biológica del año anterior, mostró una reducción del 30 y 50% en el horizonte Ap y A2, respectivamente, en relación a raíces creciendo sin ningún tipo de impedancia mecánica, según escala de Silenzi (1998) para estos suelos. La capa densificada se encontró entre los 15 y los 25 cm afectando parte de los horizontes Ap y A2. La cobertura vegetal fue del 92%; dicho valor fue obtenido por el método de la línea transecta.

Para la realización del ensayo se utilizó un trac-

tor de tracción convencional (ruedas traseras tractoras y delanteras directrices) marca Agco Allis modelo 5.125L TS (origen, Argentina), de 88,3 KW producidos a 2300 rpm, equipado con rodados traseros 23, 1-30, un paratill de arrastre Dolbi modelo PD-400 (origen, Argentina), provisto de 4 arcos rígidos con discos de cortes delanteros y 2 rolos posteriores.

Es posible configurar los arcos del arado de dos formas: colocando los dos arcos centrales con las rejas hacia el centro del arado y los dos exteriores en posición opuesta; la segunda forma es colocando todos los arcos hacia el centro del arado. En la primera configuración el ancho de labor es máximo (2,80 m) y en la segunda configuración el ancho es mínimo (2,20 m) (Fig. 1). A su vez, mediante regulaciones sobre el bastidor del arado, el mayor ancho de labor fue probado a 3 profundidades, tomando como referencia la punta de la reja: Tratamiento C1 (máxima, aproximadamente 35 cm); Tratamiento C2 (media, aproximadamente 25 cm); Tratamiento C3 (mínima, aproximadamente 15 cm); Tratamiento C4, el ancho mínimo fue probado a la profundidad máxima solamente).

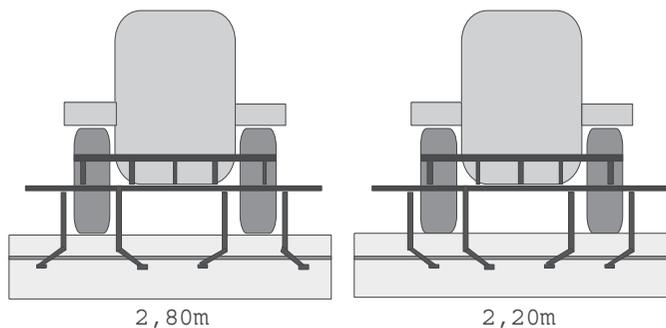


Fig. 1. Configuración de arcos con el mayor ancho de labor (izquierda) y con el menor ancho de labor (derecha).

Fig. 1. Configurations of the tines with the maximum width of labor (left) and with the minimum width of labor (right).

Tratamientos ensayados:

C1: Suelo arado con el paratill con un ancho de labor 2,80 m y profundidad máxima.

C2: Suelo arado con el paratill con un ancho de labor 2,80 m y profundidad media.

C3: Suelo arado con el paratill con un ancho de labor 2,80 m y profundidad mínima.

C4: Suelo arado con el paratill con un ancho de labor 2,20 m y profundidad máxima.

T: Suelo no arado con paratill, se consideró como el testigo del ensayo.

Los parámetros evaluados fueron:

a) Humedad edáfica: Se utilizó para su determi-

nación el método gravimétrico. Se extrajeron muestras de suelo a 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 cm. Las mismas fueron pesadas y secadas a estufa a una temperatura de 105°C hasta peso constante. Los valores porcentuales se calcularon como diferencia porcentual tomando como referencia el peso seco de las muestras.

b) Resistencia a la penetración (RP): Para evaluar este parámetro se utilizó un penetrómetro estandarizado, según norma ASAE S 313.2 (ASAE Standards, 1993). Se realizaron 5 determinaciones por unidad experimental a un intervalo de 5 cm solamente para los tratamientos C1, C4 y testigo (sin arar).

c) Frente de labor: se define como el área transversal de suelo disturbada por el trabajo del implemento. Las mediciones de este parámetro se realizaron a un espaciamiento horizontal de 10 cm mediante un perfilómetro similar al descrito por McKyes y Maswaure (1997).

d) Profundidad media de trabajo: se obtuvo como el promedio de las profundidades obtenidas con el perfilómetro para cada una de las determinaciones realizadas.

e) Velocidad de avance: Se utilizó la marcha 1ra media a 2300 rpm del motor, cuya velocidad teórica, para el neumático utilizado (23.1 - 30), es de 4,2 km hora⁻¹. La velocidad real a campo se calculó como el tiempo empleado para recorrer una distancia de 50 m. La distancia fue medida utilizando una cinta métrica graduada al centímetro y para cuantificar el tiempo se usó un cronómetro.

f) Esfuerzo de tracción: se midió mediante un dinamógrafo con una capacidad de carga total de 3000 kg.

g) Patinamiento: se evaluó mediante el tiempo empleado para recorrer con carga y sin carga una distancia de 50 metros.

h) Potencia demandada: se calculó como el producto del esfuerzo de tracción y la velocidad obtenidos.

$$\text{Potencia (CV)} = \frac{\text{Fuerza (kg)} \times \text{Velocidad (m seg}^{-1}\text{)}}{\frac{75 \text{ (kg)} \times \text{(m seg}^{-1}\text{)}}{\text{(CV)}}}$$

i) Resistencia específica: se calculó a partir del cociente entre el esfuerzo de tracción y el área de suelo movilizada por el implemento.

El diseño estadístico utilizado fue en bloques completos al azar con 4 tratamientos arados y 3 réplicas. Las evaluaciones de la resistencia a la penetración fueron realizadas solamente en los tratamientos C1, C4 y testigo sin arar, debido a ello esta variable fue analizada con un diseño estadístico en bloques completos al azar con 3 tratamientos y 3 réplicas.

RESULTADOS

Los valores medios de humedad edáfica en el momento de la labranza fueron homogéneos para toda el área experimental y no variaron entre bloques ni tratamientos (Tabla 1). Los mayores valores se encontraron entre los 40 a 60 cm de profundidad, fueron altos en todas las profundidades (muy cercanos a capacidad de campo) debido a lluvias abundantes acumuladas en el perfil de suelo.

Tabla 1. Valores medios de humedad edáfica para distintas profundidades previas a la realización del ensayo.
Table 1. Mean values of edaphic humidity for several depths prior to the test.

Profundidad (cm)	% de humedad (g g ⁻¹)
0 - 10	18,37 a
10 - 20	17,95 a
20 - 40	17,15 a
40 - 60	19,98 a

Medias seguidas de letras iguales no difieren entre si. ANOVA 5 %.

Los gráficos obtenidos de RP para C1 y C4 mostraron una diferenciación con respecto a la resistencia del suelo original (Fig. 2). La operación del equipo paratill se caracterizó por una evidente re-

ducción en los niveles de RP, resultados análogos fueron encontrados por otros autores cuando trabajaron con equipos similares (Hilbert y Pincu, 2002; Terminello et al.; 2006. Draghi et al., 2006).

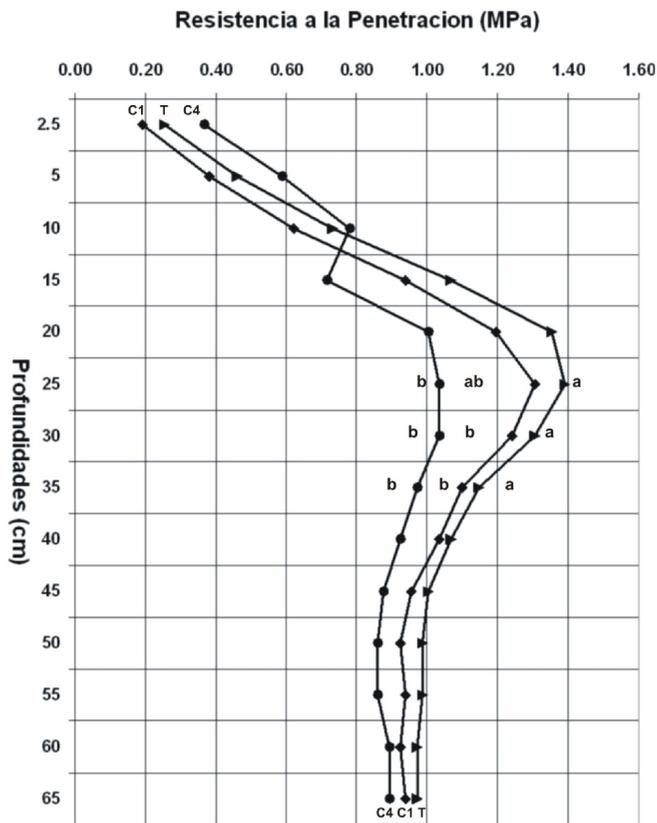


Fig. 2. Resistencia a la penetración medida a intervalos de 5 cm para los tratamientos evaluados. Medias de tratamientos seguidas de la misma letra no se diferenciaron entre sí. Tukey 5 %.

C1: Suelo arado con paratill, ancho de labor 2,8 m profundidad máxima; C4: Suelo arado con paratill, ancho de labor 2,2 m profundidad máxima; T: testigo.

Fig. 2. Resistance to penetration measured at 5 cm intervals for the treatment evaluated. Mean of treatments with same letter are not different. Tukey 5 %.

C1: soil plowed with paratill, working width 2.8 m maximum depth; C4: soil plowed with paratill, working width 2.2 m maximum depth; T: Control.

En la Figs. 3, 4, 5 y 6 se muestran gráficos del frente de labor típico o modal para cada configuración. Los mayores valores de frente de labor, en orden decreciente fueron para C4, C1 y C2, que no difirieron estadísticamente entre sí, C3 fue

estadísticamente inferior a C4 y C1, no se encontraron diferencias estadísticas entre C2 y C3; en la Tabla 2 se encuentra los valores medios en centímetros cuadrados para cada tratamiento.

Tabla 2. Promedios de frente de labor, profundidad media de trabajo y resistencia específica.

Table 2. Averages of cross sectional area of soil disturbance, mean depth of tillage and specific resistance.

Tratamientos	Frente de labor (cm ²)	Profundidad media de trabajo (cm)	Resistencia específica (N cm ⁻²)
C1	4485,00 a	14,89 b	5,32 a
C2	3511,67 ab	12,88 ab	4,38 ab
C3	2451,67 b	8,88 a	3,42 b
C4	4798,33 a	26,00 c	3,84 b

Medias de tratamientos seguidas de la misma letra no difieren entre sí. Tukey 5 %.

C1: Suelo arado con paratill ancho de labor 2,8 m profundidad máxima; C2: Suelo arado con paratill ancho de labor 2,8 m profundidad media; C3: Suelo arado con paratill ancho de labor 2,8 m profundidad mínima; C4 Suelo arado con paratill ancho de labor 2,2 m profundidad máxima.

La profundidad media fue mayor para C4 que para C1, aunque ambas fueron reguladas para la misma profundidad máxima de labor, las diferencias se deben a la disposición diferente de las rejas del arado (Fig. 1).

La velocidad del tratamiento C1 fue la más lenta y difirió estadísticamente de las obtenidas para los restantes tratamientos; en la Tabla 3 se encuentran los valores registrados.

El esfuerzo de tracción difirió significativamente en todos los tratamientos (Tabla 3)

El patinamiento disminuyó casi a la mitad entre C4 y C1 como consecuencia de una disminución del esfuerzo de tracción del 22,7 % entre ambos tratamientos. Los tratamientos C2 y C3 presentaron los menores valores (Tabla 3).

La potencia siguió un comportamiento similar al esfuerzo de tracción, aumentó significativamente a medida que se incrementó la profundidad de trabajo, pero no se encontraron diferencias entre los tratamientos C1 y C4 (Tabla 3).

Tabla 3. Valores medios de velocidad, esfuerzo de tracción, patinamiento y potencia según configuraciones.
Table 3. Mean values of speed, draft, tractor slip and power according to tine configurations.

Tratamientos	Velocidad (km h ⁻¹)	Esfuerzo de tracción (N)	Patinamiento (%)	Potencia (kW)
C1	3,0 b	23868 a	19,03 a	19,89 a
C2	3,7 a	15384 c	3,21 c	15,81 b
C3	3,8 a	8404 d	2,74 c	8,87 c
C4	3,6 a	18445 b	9,74 b	18,45 ab

Medias de tratamientos seguidas de la misma letra no difieren entre si. Tukey 5 %.

C1: Suelo arado con paratill ancho de labor 2,8 m profundidad máxima; C2: Suelo arado con paratill ancho de labor 2,8 m profundidad media; C3: Suelo arado con paratill ancho de labor 2,8 m profundidad mínima; C4 Suelo arado con paratill ancho de labor 2,2 m profundidad máxima.

DISCUSIÓN

Humedad edáfica. Los valores medios de humedad edáfica en el momento de la labranza fueron homogéneos para toda el área experimental y no variaron entre bloques ni en las parcelas correspondientes a los diferentes tratamientos aplicados cuando fueron analizados para cada una de las profundidades estudiadas (Tabla 1).

Resistencia a la penetración. Analizando las distintas profundidades del perfil (Fig. 2), se observó que entre los 25 y 35 cm se encontraron los mayores valores de RP, registrándose entre 1,15 a 1,39 MPa para los tratamientos C4 y testigo respectivamente. Estos valores de RP serían inferiores a los reportados por la bibliografía como limitantes para el crecimiento radicular. Jorajuria et al. (1997) menciona 1,5 MPa, en tanto que Taylor y Gardner (1963) informan reducciones en la velocidad de crecimiento a partir de 1,31 MPa y la reducción total del crecimiento a 2,9 Mpa; solamente a partir de esta última referencia podemos afirmar que tendríamos limitaciones al crecimiento de raíces en este suelo.

En este aspecto, se debe tener presente que al momento de tomar los registros de RP, el suelo se encontraba cercano a la capacidad de campo, y no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos. Durante el desarrollo del cultivo general-

mente el suelo está más seco, la matriz del mismo se hace dura y de escaso desplazamiento ante el esfuerzo de penetración de las raíces. Esta situación se vio claramente en la estructura masiva de la capa de suelo, los vestigios de raíces de gramíneas y los desvíos radiculares en especies de raíz pivotante; estas observaciones estarían indicando problemas de compactación en esta capa del suelo.

En superficie no existieron diferencias estadísticas entre los tratamientos ensayados.

A profundidades mayores respecto al piso de arado (por debajo de los 45 cm) los valores disminuyeron y se hicieron constantes alrededor de 1 MPa hasta los 65 cm de profundidad, siendo los mismos normales para las profundidades evaluadas y los suelos de la región. Al no encontrarse diferencias entre los tratamientos aplicados C1, C4 y testigo para la profundidad mencionada, podemos decir que el arado no influyó por debajo de su profundidad de labor.

Con respecto a los tratamientos ensayados se observaron diferencias estadísticas significativas entre los mismos para profundidades entre los 25 a 35 cm, a los 25 cm se observó que el tratamiento que presentó la menor RP fue el C4, seguido por C1 y testigo, aunque solamente se detectaron diferencias estadísticas entre los tratamientos C4 y el testigo sin arar (Fig. 2).

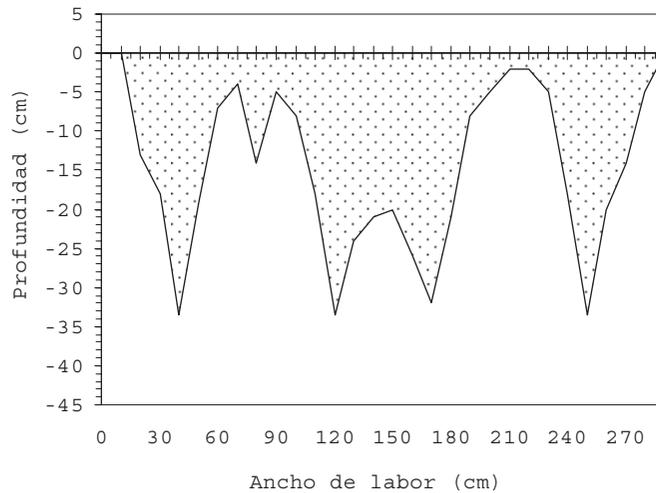


Fig. 3. Frente de labor para C1 (suelo arado con paratill, ancho de labor 2,8 m profundidad máxima).

Fig. 3. Profile cross section of soil disturbance for C1 (soil plowed with paratill, working width 2.8 m maximum depth).

Coincidentemente con lo observado anteriormente a los 30 cm de profundidad, el tratamiento que presentó la menor RP fue C4, seguido por C1 y C3. En esta profundidad se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos C4 y C1 con respecto al testigo.

Por último a los 35 cm de profundidad se observó una situación similar a la descrita para la profundidad anterior, en la cual el tratamiento que presentó la menor RP fue el C4, seguida por C1 y testigo, no presentándose diferencias estadísticas entre los tratamientos C4 y C1, pero sí con respecto al testigo.

Estadísticamente no se verificaron diferencias entre los tratamientos C4 y C1, aunque los valores hallados tendieron a ser menores en C4 (Fig. 2). Cabe mencionar que este tratamiento poseía un ancho de labor inferior al utilizado por C1 lo cual demanda en las operaciones de laboreo una mayor cantidad de pasadas para concluir una labor, no obstante esta configuración opera más homogéneamente. En C1 las rejas laterales quedan muy distanciadas de las centrales dejando zonas sin fragmentar, estas zonas cuando fueron evaluados con el penetrómetro presentaron valores elevados de RP incrementando el promedio para el tratamiento, esto explica la razón por

la cual a los valores de C1 fueron mayores que C4 y a 25 cm no se encontraron diferencias significativas con el testigo.

Frente de labor. En C1, C2 y C4 la remoción del suelo alcanzó la superficie del suelo de forma similar a la descrita por Unger (1993).

Según Godwin (2007), cuando un diente trabaja en el suelo genera rupturas hacia delante, los laterales y hacia arriba; existe una relación entre el ancho de la reja, la separación entre arcos y la profundidad, que determinan el frente de labor, esta relación explica por qué C3 dejó zonas en superficie sin romper, es decir, la profundidad fue escasa para la separación entre arcos utilizada.

La configuración de los arcos que trabajaron a la misma profundidad, influyó sobre el patrón de ruptura, siendo el frente de labor mayor y más homogénea en C4 que en C1; en este último tratamiento quedaron zonas importantes entre arcos sin romper (Figs. 3 y 4). Este comportamiento se explica a partir de la geometría del arco, ya que como la reja es asimétrica y el ángulo de ruptura del suelo es mayor hacia donde se encuentra la reja, en C4 las rejas se montaron hacia el centro y quedaron más próximas entre sí generando mayor remoción de suelo.

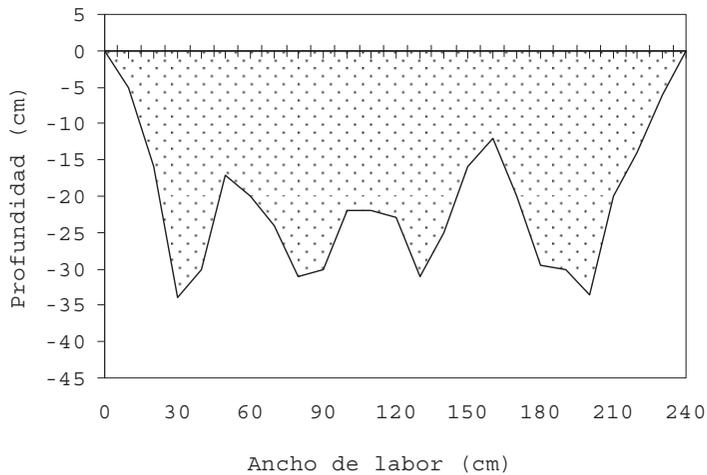


Fig. 4. Frente de labor para C4 (suelo arado con paratill, ancho de labor 2,2 m profundidad máxima).
Fig. 4. Profile cross section for C4 (soil plowed with paratill, working width 2.2 m maximum depth).

Godwin (2007) muestra cómo a medida que los arcos se acercan entre sí, la remoción del suelo aumenta, y recomienda espaciamientos para rejas simples de 1,5 veces la profundidad de trabajo y para rejas aladas 2 veces la profundidad; en C4 las rejas trabajaron dentro de estos rangos, no obstante en C1 la distancia de las rejas exteriores fue mayor. Si bien estas recomendaciones fueron realizadas por Godwin (2007) para arcos rectos y rejas simétricas, fueron también válidas para el tipo de arco y reja utilizado en este ensayo.

El comportamiento general indica que a medida que las rejas del paratill alcanzaron mayor profundidad promedio, se incrementó el frente de labor.

En este aspecto, Mckyes y Maswaure (1997) encontraron el mismo comportamiento cuando estudiaron la remoción del suelo mediante dientes planos.

Profundidad media de trabajo. El tratamiento C4 operó a mayor profundidad que los restantes, C1 fue regulado a la misma profundidad máxima de trabajo que C4 no obstante la profundidad media fue significativamente menor (Tabla 2); esto se debe a las zonas de suelo sin remover donde se midieron profundidades muy someras (Figs. 3 y 4)

El tratamiento C3 trabajó en forma muy superficial sin alcanzar zonas compactadas en profundidad; C2 alcanzó el piso de arado pero dejó grandes zonas sin trabajar (Figs. 5 y 6).

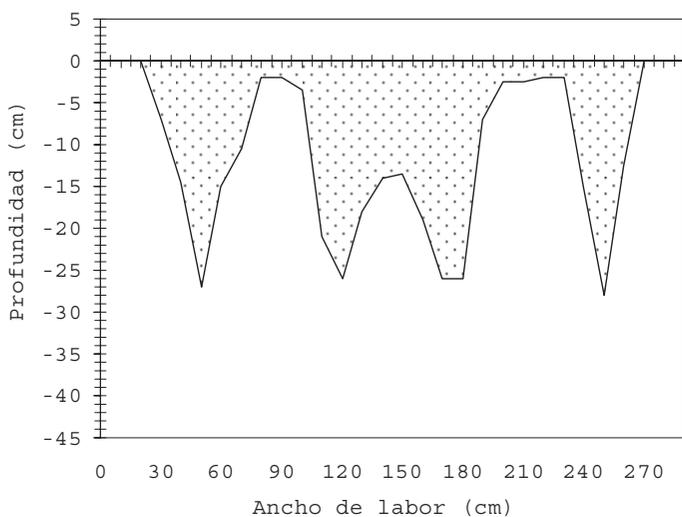


Fig. 5. Frente de labor para C2 (suelo arado con paratill, ancho de labor 2,8 m profundidad media).
Fig. 5. Profile cross section for C2 (soil plowed with paratill, working width 2.8 m mean depth).

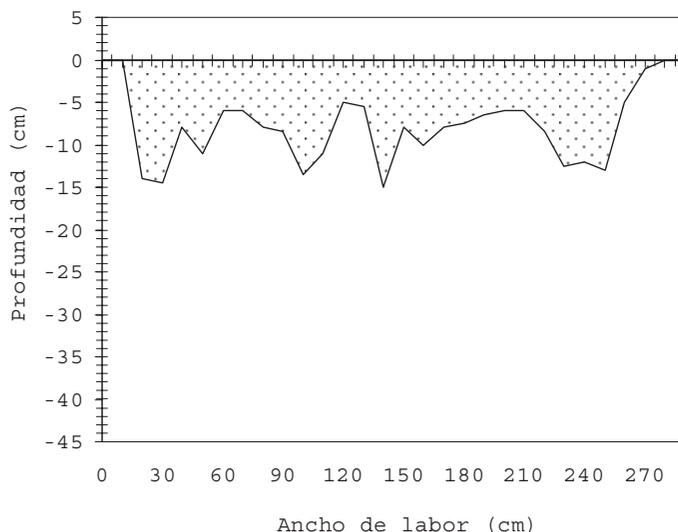


Fig. 6. Frente de labor para C3 (Suelo arado con paratill, ancho de labor 2,8 m profundidad mínima).

Fig. 6. Profile cross section of soil disturbance for C3 (soil plowed with paratill, working width 2.8 m minimum depth).

Resistencia específica. Los valores obtenidos en este trabajo fueron inferiores a los informados tanto por Hilbert y Pincu (2000) como Balbuena et al. (2003), probablemente debido a la textura de los suelos y las velocidades de trabajo.

Comparando los distintos tratamientos se puede observar que C3 fue el más eficiente (Tabla 3), teniendo en cuenta los valores de resistencia específica; sin embargo, su desempeño agronómico no fue bueno, dado que dejó zonas sin labrar en superficie y no alcanzó la capa densificada en subsuperficie.

Como resultado de esto se puede afirmar que C4 fue más eficiente que C1 y la calidad de labor fue superior a los restantes tratamientos debido a que movilizó un mayor frente de labor. El mayor número de recorridos de C4 se compensa en parte con el aumento de la velocidad de trabajo y fundamentalmente con la calidad de labor.

Velocidad de avance. La velocidad de C1 fue la más lenta y difirió estadísticamente de C2, C3 y C4. El aumento en la demanda de esfuerzo de tracción incrementó el patinamiento, disminuyendo a su vez la velocidad de avance del conjunto (Tabla 2).

Esfuerzo de tracción. El esfuerzo de tracción difirió significativamente en todos los tratamientos (Tabla 2). La profundidad de trabajo provocó los incrementos en esta variable (Godwin, 2007). Sin embargo, C1 y C4 operaron a profundidades máximas similares y se encontraron diferencias estadísticas en el esfuerzo de tracción; en este caso la causa fue la configuración de los arcos. Según el modelo de Godwin et al. (1984) citado por Desbiolles et al. (1999), el solapamiento de las áreas de suelo removidas en

tre dos arcos (interacción), puede ser interpretado como fracturado por un arco imaginario de ancho cero, resultando en una disminución en el esfuerzo de tracción, que es función de la profundidad de trabajo, el ancho de la reja y la separación entre arcos.

Patinamiento. Disminuyó casi a la mitad entre C4 y C1 como consecuencia de una disminución del esfuerzo de tracción del 22,7 % entre ambos tratamientos (Tabla 2).

Potencia. Siguió un comportamiento similar al esfuerzo de tracción, aumentó significativamente a medida que se incrementó la profundidad de trabajo, pero no se encontraron diferencias entre los tratamientos C1 y C4, que trabajaron a la misma profundidad (Tabla 2). La disminución del patinamiento en C4, a causa de la caída en el esfuerzo de tracción, provocó un incremento en la velocidad de avance; como la potencia se obtiene del producto del esfuerzo de tracción por la velocidad, el valor resultante no difirió estadísticamente de C1. Los valores de potencia para C4 y C2 no difirieron entre sí, debido al aumento de velocidad de C2 producto de la caída del patinamiento. El tratamiento C3 demandó menor potencia dado el bajo requerimiento de esfuerzo de tracción (Tabla 2).

CONCLUSIONES

El arado Paratill demostró ser una herramienta útil para descompactar el suelo a nivel subsuperficial de acuerdo a las condiciones de trabajo empleadas.

Según los resultados de este trabajo se recomienda emplear el arado Paratill con las rejas dispuestas hacia el centro y a la profundidad máxima de

labor (C4), de esta forma se logra alcanzar una adecuada descompactación del suelo, una mayor profundidad media de labor y una mejor eficiencia energética.

BIBLIOGRAFIA

- ASAE Standards. 1993. Soil Cone Penetrometer S 313.2. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, Michigan, USA.
- ASTM. 1992. Annual Book of ASTM Standards. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, Pensilvania, USA.
- Buschiazzo, D.E., J.L. Panigatti, y F.J. Barbinec. 1996. Labranzas en la región semiárida Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Centro Regional La Pampa, San Luis, Argentina. 126 p.
- Busscher, W., J. Bauer, and P.J. Frederick Jr. 2006. Deep tillage for high strength southeastern USA Coastal Plain soils. *Soil and Tillage Research* 85:78-185.
- Desbiolles, J.M., R.J. Godwin, J. Kilgour, and B. Blackmore. 1999. Prediction of tillage implement draught using cone penetrometer data. *J. Agric. Engng Res.* 73:65-66.
- Ferreras, L.A., J.L. Costa, F.O. Garcia, and C. Pecorari. 2000. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern "Pampa" of Argentina. *Soil and Tillage Research* 54:31-39.
- Godwin, R.J. 2007. A review of the effect of implement geometry on soil failure & implements forces. *Soil and Tillage Research* 97:331-340
- Hammel, J.E. 1994. Effect of high-axle load traffic on subsoil physical properties and crop yields in the Pacific Northwest USA. *Soil and Tillage Research* 29:195-203.
- Hamza, M.A., and W.K. Anderson. 2005. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research* 82:121-145.
- Hilbert, J.A., y M. Pincu. 2000. Demanda energética de subsoladores Paratill. VI Congreso Argentino de Ingeniería Rural, II Congreso Americano de Educación en Ingeniería Agrícola. Departamento de Ingeniería Agrícola y Uso de la Tierra. Universidad de la Plata, Facultad de Agronomía. Argentina.
- Hilbert, J.A., y M. Pincu. 2002. Demanda energética de subsoladores paratill. Instituto de Ingeniería Rural INTA, EEA Castelar, Buenos Aires, Argentina.
- Hilbert, J.A., y M.O. Tesouro. 2001. Descompactador de arcos curvos. Prestación y esfuerzo tractivo. *Revista de Investigación Agropecuaria RIA* 30(1):13-24.
- Jorajuría D., L. Draghi, and A. Aragon. 1997. The effect of vehicle weight on de distribution of compaction with depth and the yield of Lolium/trifolium grassland. *Soil and Tillage Research* 41:1-12.
- Kruger, H.R. 1996. Compactación en Haplustoles del sudoeste Bonaerense (Argentina) bajo cuatro sistemas de labranza. *Cienc. Suelo* 14:104-106
- Lampurlanés, J., and C. Cantero-Martínez. 2003. Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop managements systems and their relationship with barley root growth. *Agron. J.* 95:526-536.
- McKyes, E., and J. Maswaure. 1997. Effects of design parameters of flat tillage tools on loosening of a clay soil. *Soil and Tillage Research* 43:195-204.
- Mormeneo, I., y R. Díaz. 2003. Método para clasificar la anomalía de las lluvias. *Rev. Bras. de Agrometeorol.*, Santa María 11:159-167.
- Raper, R.L. 2005. Agricultural traffic impacts on soil. *Journal of Terramechanics* 42:259-280.
- Silenzi, J.C. 1998. Degradación antropica y manejo sustentable de tierras (Sector norte del Partido de Villarino, Bs. As.). Tesis de Magíster en Ciencias del Suelo. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. Argentina.
- Taylor, H.M., and H.R. Gardner. 1963. Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content, and strength of soil. *Soil Sci.* 96(3):153-156.
- Tessier, S., B. Lachance, C. Laguë, Y. Chen, L. Chi, and D. Bachand. 1997. Soil compaction reduction with a modified one-way disker. *Soil and Tillage Research* 42:63-77.
- Thorntwaite, C. W. and J.R. Matter. 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Drexel Institute of Technology. *Climatology* 10(3):185-311.
- Unger, P.W. 1993. Paratill effects on loosing of Torrertic Paleustoll. *Soil and Tillage Research* 26:1-9.
- Unger, P.W. 2002. Conservation tillage for improving dryland crop yields. *Cienc. Suelo* 20:1-8
- Upadhyaya, S.K., T.H. Williams, L.J. Kemble, and N.E. Collins. 1984. Energy requirement for chiseling in coastal plain soils. *Trans. ASAE* 27(6):1634-1649.
- USDA. 1999. Soil Taxonomy. 2nd ed. A basic system of soil classification for making and interpretation soil surveys. United States Department of Agriculture (USDA), Natural Resources Conservation Service (NRCS). Washington D.C., USA.

Recibido: 10.05.2010

Aceptado: 30.06.2010