

# ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

## EVALUACIÓN DE DOS DESCOMPACTADORES EN SIEMBRA DIRECTA

### EVALUATION OF TWO SUBSOILERS IN DIRECT DRILLED SOILS

Juan M. Ressia<sup>1</sup>, Laura Lázaro<sup>1</sup>, Gustavo O. Mendivil<sup>1</sup>, Manuel Ise<sup>2</sup>, Nicolás García-Dutriez<sup>2</sup>, Guido F. Botta<sup>2</sup>, María A. Agostini<sup>1</sup>, María C. de Pablo<sup>1</sup>, Roberto H. Balbuena<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Agronomía, UNCPBA, Av. Rep. de Italia 780 (7300) Azul, Bs. As. E-mail: jmressia@faa.unicen.edu.ar.

<sup>2</sup> Departamento de Tecnología, UNLu. Luján, Bs. As.

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, La Plata, Bs As.

#### RESUMEN

**Antecedentes:** La siembra directa se ha generalizado en los sistemas de producción de cultivos extensivos en Argentina. Esta técnica presenta varias ventajas, aunque uno de sus aspectos críticos lo constituye el riesgo de compactación. La labranza vertical profunda es una alternativa viable para solucionar los problemas de compactación. Existen numerosas opciones de descompactadores, sin que se disponga, para la mayoría de ellos, de información sobre sus prestaciones, en términos energéticos y agronómicos. **Objetivos:** a) determinar los requerimientos de energía de diferentes equipamientos de descompactación, b) valorar el efecto de distintos diseños de descompactadores sobre las propiedades físicas del suelo, c) analizar la recompactación de suelos descompactados. **Métodos:** Se realizó un experimento sobre un suelo Argiudol típico, contrastándose tres tratamientos: a) sin descompactar, b) descompactado con paratill y c) descompactado con cincel de arcos rígidos y flexibles. Se cuantificó el esfuerzo de tracción, el área de suelo removida y la resistencia específica al laboreo. Luego de realizadas las labores se evaluaron las propiedades físicas del suelo. **Resultados:** El cincel demandó un 5,5% más de esfuerzo de tracción y tuvo 11,2% más de resistencia específica al laboreo. El subsolado disminuyó la densidad aparente y la resistencia a la penetración, aunque esas diferencias se pierden a los 18 meses. **Conclusiones:** La descompactación de suelos en siembra directa con paratill es energéticamente más eficiente que con cincel. Las labores de descompactado, ya sea por medio del cincel como del paratill, realizadas sobre un suelo con historia en siembra directa, mejoran las propiedades físicas del suelo: densidad aparente y resistencia a la penetración.

**Palabras clave:** Labranza vertical, eficiencia energética, densidad aparente, recompactación.

#### ABSTRACT

**Background:** No tillage is a widely used tillage system in Argentinean extensive grain production. Despite their benefits, the risk of soil compaction is still a critical point. Deep tillage is a valid option to solve compaction problems and several types of deep tillage agricultural equipment are available. Nevertheless, accurate knowledge on their energetic performance rates and agricultural parameters is still limited. **Objectives:** a) determine energy requirements of different subsoiling equipment, b) evaluate the effect of different subsoilers on physical soil properties and c) analyze the recompaction of subsoiled soil. **Methods:** A field experiment in a direct drill system (Typical Argiudol soil type) was carried out. **Treatments were:** a) without decompaction, b) paratill and c) chisel with flexible and rigid shanks. **Traction, soil disturbance and specific resistance were measured. After tillage, physical soil properties**

were assessed. Results: Traction and specific resistance were 5,5% and 11,5% greater in chisel. In general, soil density and penetration resistance were reduced by subsoiling but these benefits do not persist after 18 months. Conclusions: Paratill performance in direct-drilled soils is higher than chisel performance. Subsoiling of direct-drilled soils improve soil physical properties.

**Keywords:** Decomposition, performance, soil density, recompaction.

## INTRODUCCIÓN

La siembra directa se ha generalizado en los sistemas de producción de cultivos extensivos en Argentina. Esta técnica presenta ventajas desde el punto de vista de la conservación del suelo, principalmente porque permite disminuir los procesos de erosión (Sfeir *et al.*, 2006) y de pérdida de materia orgánica. Sin embargo, uno de los aspectos críticos de esta técnica lo constituye el riesgo de compactación motivado por el elevado peso de las máquinas involucradas, especialmente la sembradora, y la ausencia de remoción del suelo. Compactación en suelos bajo siembra directa ha sido citada por Botta *et al.* (2001).

La labranza vertical profunda del suelo es una alternativa viable para mejorar las propiedades físicas del suelo y solucionar los problemas de compactación (Hamza & Anderson, 2005; Ressia *et al.*, 2005), aunque siempre resulta onerosa en términos energéticos. Habitualmente implica la realización de altos esfuerzos de tracción, para lo cual serán necesarios tractores de mayor peso adherente, aumentando así los riesgos de generar mayor compactación a nivel subsuperficial (Unger & Kaspar, 1994).

Cuando la resistencia a la penetración alcanza valores de 2,5 MPa el crecimiento de raíces se detendría (Carter, 1988) mientras que el subsolado disminuye la resistencia a la penetración (Mon & Irurtia, 2002; Botta *et al.*, 2004; Bonel & Montico, 2007) y la densidad aparente (Erbach *et al.*, 1992; Martino & Shaykewich, 1994).

En el mercado argentino existen numerosas alternativas comerciales de descompactadores, sin que se disponga, para la mayoría de ellos, de información respecto a sus prestaciones, en términos energéticos y agronómicos. Chisholm *et al.* (1970) definen que un sistema de labranza resulta eficiente cuando para alcanzar el estado final deseado, minimiza la energía requerida para el laboreo. Por lo tanto, herramientas de descompactación más eficientes ayudarían, por un lado, al ahorro energético involucrado en la producción de los cultivos pero, por sobre todas las cosas, a reducir el peso de los tractores para realizar esa labor, disminuyendo así los riesgos de generar más compactación en los estratos profundos del suelo. ASABE S313.3 (2008a) brinda como referencia para el subsolado a 0,35 m de profundidad, valores de esfuerzo de tracción

por m de ancho de herramienta de 16,7 kN m<sup>-1</sup> aunque con un rango de variación, en función del tipo y condición del suelo y tipo de herramienta, de  $\pm 50\%$  de ese valor.

Cuando se realiza labranza vertical profunda, existe el riesgo que la herramienta alcance la profundidad crítica, donde el suelo deje de roturarse bajo el modelo de fallas crecientes y sólo se produzca fracturamiento lateral (Spoon & Godwin, 1978), lo que produce un aumento importante del requerimiento tractivo sin beneficios de aflojamiento importantes. El valor de la profundidad crítica dependerá de la geometría de la herramienta y del estado del suelo.

McKyes (1985) propone el trabajo en dos estratos como forma de reducir los requerimientos de tracción. Balbuena *et al.* (1996) ensayaron una combinación de dientes rígidos y flexibles, estos últimos trabajando más superficialmente y por delante de los arcos rígidos. Ellos encuentran que la resistencia específica al laboreo fue un 13% inferior para esta combinación de órganos activos en relación al pasaje en una sola vez de cinceles flexibles, concluyendo que la combinación de arcos flexibles y rígidos es una alternativa válida para el trabajo en 2 estratos. Esta última sería una alternativa "económica" para el productor, puesto que permitiría la adaptación de un antiguo cincel de arcos flexibles, generalmente disponibles en muchos establecimientos, al cambiar sólo la mitad de sus órganos activos, por arcos rígidos de mayor despeje.

Payne & Tanner (1959), trabajando con una amplia gama de ángulos de ataque, encuentran que la resistencia específica al laboreo resulta inferior para los menores ángulos, mientras que el esfuerzo de tracción crece a partir de los 50°. Al trabajar con arcos flexibles en condiciones de altos esfuerzos de tracción, el ángulo de ataque se modifica permanentemente al variar la intensidad de la resistencia del suelo. La disminución de las variaciones en el ángulo de ataque estará garantizada por la utilización de un montante rígido, habiéndose verificado menores demandas de esfuerzo de tracción, atribuibles a esta situación, en suelos arcillosos (Terminiello *et al.*, 1995).

Otro aspecto que resulta relevante es la persistencia de las condiciones de baja resistencia a la penetración generadas por la labranza profunda. Esto es importante al momento de definir la frecuencia de este tipo de operación (Barber, 1994).

Sojka *et al.* (1990) sostienen que los beneficios de aflojamiento del perfil mediante el subsolado dependen de la profundidad y magnitud de la disrupción y de la persistencia de la misma a lo largo de la estación de crecimiento del cultivo. La bibliografía documenta reconsolidaciones del suelo producidas a los 27 días luego de la labor (Sojka *et al.*, 1990), al año (Busscher *et al.*, 1986) o a los tres años (Carter *et al.*, 1996). Spoor *et al.* (2003) establecen que la descompactación no debe generar un excesivo aflojamiento del suelo ya que, de ser así, el subsuelo puede tornarse más sensible a la recompactación en el futuro. El principal objetivo debería ser, entonces, la creación de fisuras o grietas a través de la zona compactada para restaurar la capacidad de enraizamiento y drenaje, pero con mínima perturbación del resto del perfil de suelo. Esta perturbación implicaría entonces "fisurar sin aflojar", permitiendo mantener la capacidad portante del suelo. Las herramientas de labranza apropiadas para inducir este tipo de fallas son los subsoladores alados, las rejas subsuperficiales y los subsoladores de pie inclinado tipo el Paraplow (Spoor & Godwin, 1978). Los mecanismos de la reconsolidación no son claros. Barber (1994) sostiene que cuando las precipitaciones ingresan al perfil, disgregan los terrones débilmente estructurados, promoviendo un rearrreglo y empaquetamiento cerrado de las partículas, conformando nuevamente una matriz densa. Sin embargo, el tránsito con maquinarias (Botta *et al.*, 2004; Hamza & Anderson, 2005) que se efectúa sobre un suelo vulnerable es uno de los factores más importantes de recompactación del suelo.

El presente trabajo tiene por objetivos: a) determinar los requerimientos de energía de dos equipos diferentes de descompactación, b) valorar el efecto de dos descompactadores de diferente diseño sobre algunas propiedades físicas del suelo y c) analizar la recompactación de suelos descompactados.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un ensayo en el establecimiento "Santa María" en la provincia de Buenos Aires (36°52'S y 60°00'W), en un sistema de producción con más de 10 años de agricultura continua, de los cuales los últimos 4 fueron bajo siembra directa; ésta ha sido la forma de transición de labranza convencional a siembra directa más habitual de la región. El suelo fue clasificado como Argiudol típico, relieve muy suavemente ondulado, con pendiente menor a 1% (Soil Conservation Service, 1994). La secuencia de horizontes es: A1: de 0-0,17 m, franco arcilloso, estructura granular; B1: 0,17-0,23 m, franco arcilloso de estructura en bloques subangulares; B2t: 0,23-0,5 m, arcilloso, estructura en prismas simples irregulares. Al momento de realización de las labores,

la materia seca era de 10.320 kg ha<sup>-1</sup>. El cultivo anterior fue trigo (*Triticum aestivum*), siendo el porcentaje de cobertura de 99%. La humedad del suelo era de 25,4%, 26,4% y 27,5% en los estratos de 0-0,2 m, 0,2-0,4 m y 0,4-0,6 m, respectivamente.

Se contrastaron tres tratamientos: a) sin descompactar, b) descompactado con paratill y c) descompactado con cincel. Se empleó un diseño estadístico en bloques al azar con tres repeticiones, con parcelas de 50 m de longitud y 3 m de ancho.

Los montantes del paratill eran de 0,025 m de espesor, poseían un sector superior vertical de 0,35 m de longitud y un sector inferior inclinado, con un ángulo de 60° respecto a la horizontal. La distancia vertical entre la punta del escarificador y la unión del montante con el chasis fue de 0,77 m, mientras que la distancia horizontal entre la punta del escarificador y la porción vertical del montante fue de 0,127 m. La punta por su parte, poseía un ancho de 0,037 m y un ángulo de ataque de 25°. Para este tratamiento con paratill se utilizaron 4 arcos convergentes, ubicando las puntas con una separación de 0,425 m. Los dos arcos centrales se ubicaron sobre un plano ubicado a 0,5 m por delante del plano sobre el cual estuvieron ubicados los dos arcos exteriores. En el tratamiento con cincel se utilizó una disposición combinada, con dos arcos flexibles, superficiales, trabajando por delante de tres arcos rígidos, rectos. Los arcos flexibles eran de 0,051 m de ancho, 0,025 m de espesor, poseían un despeje de 0,64 m y un ángulo de ataque de 45°. Los arcos rígidos por su parte, eran de 0,032 m de ancho, poseían un despeje de 0,77 y el mismo ángulo de ataque que los flexibles. Los 5 arcos tuvieron rejas del tipo "pie de ganso", mientras que la separación entre los arcos profundos fue de 0,72 m. Ambos descompactadores fueron regulados para que sus púas trabajen a una profundidad máxima de 0,35 m. Con esta disposición, las púas profundas del cincel quedan dispuestas con una relación separación/profundidad igual a 2, mientras que en el caso del paratill, la separación queda en el límite inferior de separación óptima, según las recomendaciones de Godwin (2007).

Durante el pasaje del implemento se registró el esfuerzo de tracción y la velocidad de avance, sobre los 25 m centrales de cada parcela, por medio de un dinamómetro electrónico LYP y una celda de carga de 50 kN interpuesta entre el tractor y el implemento. El dinamómetro LYP consiste en un integrador de los esfuerzos registrados por la celda de carga, al mismo tiempo que registra el tiempo utilizado para recorrer la parcela de medición. La frecuencia de muestreo del integrador es de 1 Hz y los valores de tracción indicados por el equipo son el promedio de la integración de los valores obtenidos en el intervalo de medición. La exactitud del equipo es mayor al 99%. Luego del pasaje del im-

plemento se determinó el área removida en un plano vertical y perpendicular a la dirección de avance. Para esto, y previa remoción manual del suelo trabajado, se hicieron 3 determinaciones de perfilometría en cada parcela, utilizando un perfilómetro con un intervalo de medición de 0,02 m, siguiendo la metodología utilizada por Williat & Willis (1965) y por Spoor & Godwin (1978). La resistencia específica se calculó, en cada parcela, como el cociente entre el esfuerzo de tracción demandado y el área de suelo removida.

El efecto de la descompactación sobre las propiedades del suelo se evaluó a los 11 días de realizadas las labores, mientras que los efectos de la reconsolidación fueron cuantificados a los 18 meses. En cada parcela se realizaron 2 determinaciones de densidad aparente y 10 de resistencia a la penetración al azar, pero evitando las zonas directamente interesadas por los timones. La densidad aparente se midió con una sonda gammamétrica (Troxler 3440) en la medición inicial y por el método del cilindro en la segunda medición. Se hicieron determinaciones cada 0,1 m, desde la superficie y hasta los 0,5 m. La resistencia a la penetración se midió utilizando un penetrómetro de cono bajo norma ASABE (ASABE S313.3, 2008) con registrador de datos (Rimik CP20). Se midió cada 0,025 m, desde la superficie y hasta los 0,6 m, promediándose luego los valores para obtener el índice de cono, en los estratos de 0-0,2 m, 0,2-0,4 m y 0,4-0,5 m. Se monitoreó también la humedad gravimétrica, en conjunto con la densidad aparente y a los efectos de detectar posibles interferencias sobre la resistencia a la penetración. Los valores de densidad aparente medidos en las diferentes profundidades se

promediaron luego para componer los mismos estratos que para el índice de cono. En el caso de la medición de resistencia a la penetración a los 18 meses, la escasa humedad hizo imposible realizar las mediciones en todo el perfil, provocando el aborto de las lecturas cuando los valores alcanzaban los 5,5 MPa. En este caso, se determinó la profundidad a la cual la resistencia a la penetración superaba los 2,5 MPa (Carter, 1988).

Luego de realizada la descompactación, en el lote se sembró soja (*Glicine max*) y posteriormente un doble cultivo trigo (*Triticum aestivum*)/soja, usando la tecnología del productor. Esto se hizo con tráfico aleatorio, monitoreándose la intensidad de tráfico (Botta *et al.*, 2004) a través del registro de las labores que se iban realizando y las características de la maquinaria con que cada labor era efectuada, durante la realización del experimento.

Sobre los datos obtenidos se realizó análisis de la varianza, determinándose las diferencias significativas por medio del test de LSD.

## RESULTADOS

### Requerimientos energéticos

Los requerimientos energéticos de ambas herramientas se resumen en la Tabla 1. Las velocidades de desplazamiento fueron bajas, en función de la potencia disponible, aunque resultaron similares entre ambos tratamientos.

El cincel demandó un 5,5% más de esfuerzo de tracción. En cuanto al área removida por cada implemento, si bien las diferencias no fueron significativas (Tabla 1), la misma tendió a ser mayor en paratill. La resistencia específica del cincel resultó 11,2% superior que la del paratill.

**Tabla 1.** Requerimientos energéticos de dos descompactadores.  
**Table 1.** Energy requirements to pull two deep tillage machines.

	Velocidad	Tracción	Área Removida	Resistencia Específica
	[m s <sup>-1</sup> ]	[daN]	[dm <sup>2</sup> ]	[daN dm <sup>-2</sup> ]
Paratill	0,78 a	2939 b	48,99 a	59,9 b
Cincel	0,77 a	3102 a	46,62 a	66,6 a

Letras diferentes en una columna indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (Test de LSD,  $p \leq 0,1$ ).

### Efectos sobre el suelo

La aplicación de los tratamientos originó, luego de la realización de las labores, diferencias en la densidad aparente; también hubo diferencias entre es-

tratos e interacción de estratos por tratamientos. Por eso se recurrió al análisis de los tratamientos dentro de cada estrato (Tabla 2).

**Tabla 2.** Densidad aparente de los tratamientos en los diferentes estratos, luego de la descompactación.  
**Table 2.** Bulk density values measured, over three depth ranges after the application of subsoil treatments.

Estrato	Paratill	Cinzel	Testigo
Densidad aparente en seco [Mg m <sup>-3</sup> ]			
00-0,2 m	1,19 ba	1,14 b	1,24 a
0,2-0,4 m	1,14 c	1,17 b	1,29 a
0,4-0,5 m	1,38 c	1,44 a	1,41 b

Letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas entre tratamientos al 10 %, según test LSD.

Ambos tratamientos de descompactación tuvieron valores de densidad aparente menores que el testigo, en los estratos que recibieron la influencia directa de las herramientas. En los estratos afectados por el laboreo, el cinzel siempre se diferenció estadísticamente del tratamiento testigo; las diferencias fueron 8,1 y 9,3% a favor del cinzel en los estratos de 0-0,2 m y 0,2-0,4 m respectivamente. En esos estratos, el tratamiento con paratill presentó menores valores de densidad aparente que el testigo, aunque sólo se diferenció estadísticamente con éste entre los 0,2 y los 0,4 m. Las diferencias entre este tratamiento y el testigo fueron de 4 y 11,2% en los estratos de 0-0,2 m y 0,2-0,4 m respectivamente. En el estrato 0,2-0,4 m paratill tuvo significativamente menos densidad aparente que el cinzel, aunque del orden del 2%.

En el tercer estrato (0,4-0,5 m) hubo diferencias significativas entre los tres tratamientos (Tabla 2) que resultaron en una reducción de la densidad aparente en el tratamiento con paratill (2,17 % menos que el testigo) y un aumento en esta propiedad en el caso del cinzel.

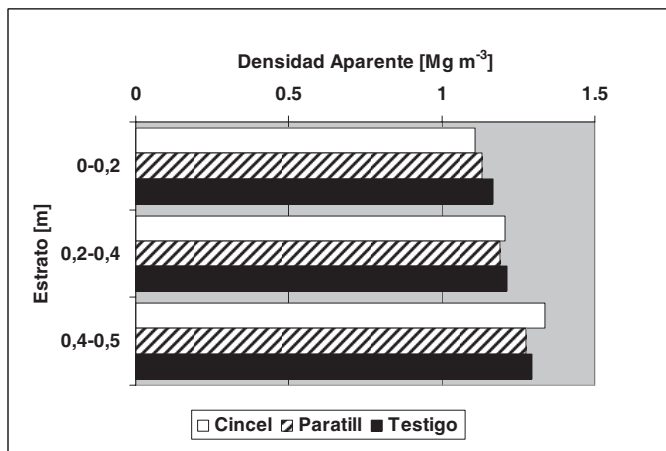
En cuanto a la resistencia a la penetración (Tabla 3), el índice de cono en el tratamiento testigo estuvo en el valor crítico de 2 a 2,5 MPa propuesto por Threadgill (1982) como límite de detención del crecimiento radical, a partir de los 0,2 m. El modelo

estadístico mostró diferencias entre estratos, así como interacción de estratos por tratamientos.

En el estrato 0-0,2 m, el índice de cono del tratamiento con cinzel resultó 33% menor que el tratado con paratill. El tratamiento con cinzel tuvo un índice de cono 59 % menor que el testigo. En el segundo estrato (0,2-0,4 m) se observó que tanto el cinzel como el paratill realizaron un trabajo similar (Tabla 3); ambos produjeron idéntica disminución del índice de cono con respecto al testigo (34%). En el estrato 0,4-0,5 m de profundidad se observó la misma tendencia que en el estrato anterior, con diferencias significativas entre los valores de índice de cono de las parcelas subsoladas y el del tratamiento testigo (Tabla 2). La reducción con respecto al testigo fue del 21% en el tratamiento con cinzel y del 18 % en paratill.

**Reconsolidación del suelo**

A los 18 meses luego de realizada la labor, tanto la densidad aparente (Fig. 1) como la profundidad a la cual la resistencia a la penetración es de 2,5 MPa (Fig. 2) manifestaron escasa variación entre tratamientos. Al momento de realizar esta medición la intensidad de tráfico acumulada desde la realización de los tratamientos de descompactación era de 164 Mg km ha<sup>-1</sup>.



**Figura 1.** Densidad aparente del perfil de suelo bajo diferentes tratamientos de descompactación, a los 18 meses de establecidos los tratamientos de descompactación.

**Figure 1.** Bulk density, over three depth ranges, 18 months after subsoiling.

**Tabla 3.** Índice de cono bajo diferentes tratamientos, luego de la descompactación.**Table 3.** Soil cone index measured, over three depth ranges after the application of subsoil treatments.

Estrato	Paratill	Cinzel	Testigo
Índice de cono [MPa]			
0-0,2 m	0,91 b	0,61 c	1,49 a
0,2-0,4 m	1,48 b	1,47 b	2,24 a
0,4-0,5 m	2,39 b	2,30 b	2,92 a

Letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas entre tratamientos al 10 %, según test LSD.

## DISCUSIÓN

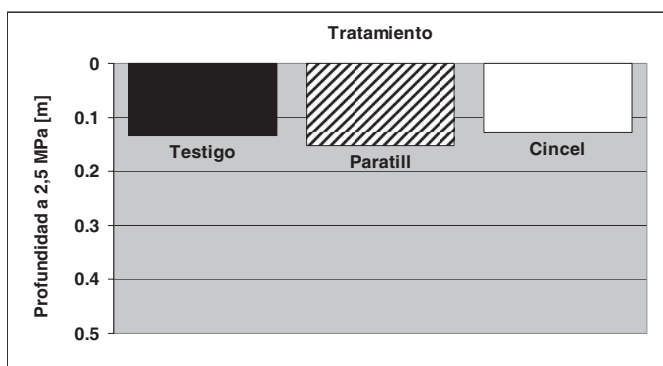
### Requerimientos energéticos

Los valores de tracción medidos (Tabla 1) son muy similares a los informados por ASABE (2008b), resultando los promedios 9 y 4% inferiores en paratill y cinzel, respectivamente. El mayor esfuerzo de tiro demandado por el cinzel contribuye a aumentar el patinamiento y determina una mayor potencia demandada por el implemento. Spoor & Godwin (1978) no verificaron aumentos en el esfuerzo de tracción cuando a una púa profunda le colocaron otras 2 por delante y más superficiales. Por lo tanto, este incremento en el esfuerzo de tiro se debería a lo explicado por algunos autores (Terminiello *et al.*, 1995), quienes afirman que las características de trabajo de los montantes flexibles, que se encuentran dentro de la configuración del cinzel utilizado, originan variaciones en el ángulo de ataque de las púas. Estas variaciones en el ángulo de ataque de las púas afectarían, de manera diferencial, el esfuerzo de tiro demandado por el implemento (Payne & Tanner, 1959), situación que no se presenta en los montantes rígidos del paratill.

En cuanto a la tendencia a una menor área re-

movida por el cinzel (Tabla 1), éste fue regulado para que los arcos rígidos trabajen a igual profundidad que el paratill; la combinación de arcos rígidos con arcos flexibles intermedios y trabajando a menor profundidad en el tratamiento con cinzel, no habría sido tan eficiente para remover el suelo en profundidad, especialmente en el espacio entre los arcos rígidos.

Con igual área removida, el tratamiento con cinzel tuvo significativamente mayor resistencia específica al laboreo (Tabla 1). Esta propiedad sería la más indicada para describir la eficiencia energética de cada implemento, ya que combina la fuerza que demanda el implemento con la remoción del suelo que produce. Los valores de resistencia específica de estos implementos resultaron un 16% menores, en promedio, a los medidos por Ressia *et al.* (2005) con igual tipo de suelo y herramientas y en un sistema que incluye ganadería y labranza convencional. En relación a lo propuesto por McKeyes (1985) y por Balbuena *et al.* (1996), el trabajo en dos estratos no sería suficiente cuando esto incluya arcos flexibles, para compensar el aumento en los requerimientos energéticos que este tipo de herramientas produce, por más que trabajen en estratos superficiales.



**Figura 2.** Profundidad de suelo a la que se alcanza el valor de resistencia a la penetración de 2,5 MPa, bajo diferentes tratamientos de descompactación, a los 18 meses de establecidos los tratamientos.

**Figure 2.** Deep to a 2,5 MPa soil penetration resistance, 18 months after subsoiling.

### Efectos sobre el suelo

La disminución de la densidad aparente en los estratos que recibieron la influencia directa de las he-

rramientas (Tabla 2) concuerda con lo encontrado por varios autores (Erbach *et al.*, 1992; Martino *et al.*, 1994).

De acuerdo a los resultados, el cinzel provocó una mayor remoción del suelo en los primeros 0,2 m. Esta

mayor remoción puede atribuirse a la presencia de arcos flexibles en esta profundidad de trabajo y a la mayor fragmentación de los agregados dentro del área removida, producto de la variación del ángulo de ataque característico en este tipo de arcos. En el caso del paratill, aunque se produjeron disminuciones de la densidad aparente en todo el perfil interesado por la herramienta, el estrato de 0,2-0,4 m fue el que recibió la mayor influencia mecánica, sin que se haya producido un gran disturbio en el estrato más superficial.

Las diferencias en densidad aparente por debajo de la profundidad de trabajo de la herramienta (estrato de 0,4 a 0,5 m) podrían deberse a dos factores. El primero de ellos sería la diferencia de cota que provocaron las labores; luego del pasaje de las herramientas se monitoreó la elevación del nivel de suelo provocado por la descompactación, determinándose que ésta fue del orden de 0,07 m y 0,025 m para los casos de cincel y paratill, respectivamente. El segundo factor podría atribuirse a las características del filo de la herramienta que, según lo concluido por Fielke (2006), podría producir grietas por debajo de la profundidad de trabajo de la herramienta. Al respecto, las herramientas utilizadas en este trabajo carecían de filo, en consonancia con prácticamente la totalidad de las rejas comercializadas en el país.

En cuanto a la resistencia a la penetración (Tabla 3), al igual que con la densidad aparente, también se observó que el suelo en los tratamientos descompactados tuvo una mejor condición física en comparación con el testigo. Esto fue reflejado por el menor índice de cono de estos tratamientos, en todos los estratos estudiados, diferencias que fueron significativas y que no pueden ser atribuidas a diferencias en el contenido hídrico puesto que las mismas no fueron significativas. Esto fue mencionado por varios autores (Mon & Irurtia, 2002; Botta *et al.*, 2004; Bonel & Montico, 2007).

En el estrato 0-0,2 m y coincidiendo con la densidad aparente, el índice de cono indica que la mayor remoción en este estrato, fue producida por el tratamiento descompactado con cincel. La descompactación con paratill produjo una disminución en el índice de cono, aunque de menor magnitud. No obstante, esto demuestra que aún provocando un mínimo disturbio, limitado solamente al paso de cada timón del subsolador, se producen importantes disminuciones del índice de cono, comparado con un suelo no disturbado.

La disminución del índice de cono con respecto al testigo, en el estrato 0,4-0,5 m, coincide con lo informado por Terminiello *et al.* (2007) y por Fielke (1996). Como en el caso de la densidad aparente, este efecto sería explicado en parte por la elevación de la cota provocada por las labores y en parte por las grietas que se producen por debajo de la pro-

fundidad de labor, según lo informado por (Fielke, 1996).

### Reconsolidación del suelo

Tras 18 meses de realizada la labor no se observaron efectos significativos sobre el suelo, indicando que éste se reconsolidó, habiéndose perdido los beneficios de la labor (Barber, 1994; Sojka *et al.*, 1990). Al realizar esta medición la intensidad de tráfico acumulada desde los tratamientos de descompactación de 164 Mg km ha<sup>-1</sup>; esta intensidad sería suficiente, (Botta *et al.*, 2004) para reducir el rendimiento de soja en siembra directa, cuando se la compara con testigos sin traficar (Botta *et al.*, 2004). En este caso el efecto sería más importante aún, dada la mayor vulnerabilidad del suelo descompactado.

Es importante también analizar los resultados en el contexto de la propuesta de Spoor *et al.* (2003) de "fisurar sin aflojar", habiendo asumido que el paratill sería una herramienta apta para lograr esto, a semejanza del paraplow propuesto por (Spoor & Godwin, 1978). En este experimento no se vislumbraron diferencias marcadas entre herramientas en los efectos logrados sobre el suelo, tanto en la magnitud del aflojamiento, cuantificado inmediatamente después de establecidos los tratamientos, como luego de 18 meses de esto. A diferencia de lo observado por Ressia *et al.* (2005), el alto grado de fracturamiento del suelo producido por el paratill, como la escasa altura de las crestas de suelo en los espacios entre púas, sugieren que podría haberse trabajado con mayor separación entre arcos; la interacción entre los estados del suelo y la separación entre arcos debería ser estudiada con mayor profundidad para poder mejorar la eficiencia de este tipo de labor.

### CONCLUSIONES

En los sistemas de siembra directa, la descompactación de suelos con paratill es energéticamente más eficiente que con cincel. Las labores de descompactado, ya sea por medio del cincel como del paratill, realizadas en un suelo con historia en siembra directa, mejoran las propiedades físicas del suelo medidas: resistencia a la penetración y densidad aparente. Al cabo de 18 meses de realizada la descompactación de un suelo, con varios años en siembra directa, no se registran efectos de la misma sobre sus propiedades físicas, resistencia a la penetración y densidad aparente.

### BIBLIOGRAFÍA

- ASABE. 2008a. S313.3. Standard Soil Cone Penetrometer. ASABE Standards pp: 980-981.
- ASABE. 2008b. D497.5. Agricultural machinery management data. ASABE Standards pp: 367-374.

- Balbuena, R.H., G.O. Mendivil & J.M. Ressia. 1996. Energía requerida en distintos sistemas de labranza vertical. *Agro-Ciencia, Rev. Chil. Cs. Agropec.* 1: 22.
- Barber, R.G. 1994. Persistence of loosened Horizons and Soybean Yield Increases in Bolivia. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 943-950.
- Bonel, B. & S. Montico. 2007. Las posibilidades del escarificado en suelos del sur de Santa Fe. *Agrimensajes*, N° 21. Facultad de Ciencias Agrarias, UNR. ISSN 1669-8584.
- Botta, G., M. Ressia & C. Dagostino. 2001. Siembra directa: aspectos generales y máquinas sembradoras. Máquinas, serie de producción agrícola, tomo 5. Ed. Agro Medios Argentina S.R.L.
- Botta, G., D. Jorajuria, R. Balbuena & H. Rosatto. 2004. Mechanical and cropping behavior of direct drilled soil under different traffic intensities: effect on soybean (*Glycine max* L.). *Soil Till. Res.* 78: 53-58.
- Busscher W.J., R.E. Sojka & C.W. Doty. 1986. Residual effects of tillage on Coastal Plain soil strength. *J. Soil Sci.* 141: 144-148.
- Carter M.R. 1988. Penetration resistance to characterize the depth and persistence of soil loosening in tillage studies. *Can. J. Soil Sci.* 68: 657-668.
- Carter M.R., D.A. Holmstrom, L.M. Cochrane, P.C. Brenton, J.A. Roestel, D.R. Langille & W.G. Thomas. 1996. Persistence of deep loosening of naturally compacted subsoils in Novo Scotia. *Can. J. Soil Sci.* 76: 541-547.
- Chisholm, T.S., J.G. Poterfield & D.G. Batchelder. 1970. A soil bin study of three dimensional interference between flat plate tillage tools operating in an artificial soil. *ASAE Paper* N° 70-122.
- Erbach, D.C., J.G. Benjamin, R.M. Cruse, M.A. Elamin, S. Mukhtar & C.H. Choi. 1992. Soil and crop response to tillage with paraplow. *Trans. ASAE* 35: 1347-1354.
- Fielke, J. 1996. Interactions of the cutting edge of tillage implements with soil. *J. Agric. Engng. Res.* 63: 61-72
- Godwin, R. 2007. A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. *Soil Till. Res.* 97 (2): 331-340.
- Hamza, M.A & W.K. Anderson. 2005. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Till. Res.* 82: 121-145.
- Martino, D.L. & C.F. Shaykewich. 1994. Root penetration profiles of wheat and barley as affected by soil penetration resistance in field conditions. *Can. J. Soil Sci.* 74: 193-200.
- McKyes, E. 1985. *Agricultural engineering soil mechanics.* Elsevier Science Publishers. Amsterdam.
- Mon, R. & C.B. Irurtia. 2002. Recuperación de la productividad de suelos degradados mediante el subsolado con agregado de yeso. Informe del acuerdo de asistencia técnica entre el Instituto de Suelos del Centro de Recursos Naturales del INTA y Agrotécnica Las Rosas SRL. pp. 1-8. [http://www.inta.gov.ar/suelos/info/documentos/informes/recuperacion productividad.htm](http://www.inta.gov.ar/suelos/info/documentos/informes/recuperacion%20productividad.htm) [consulta: 10 de noviembre de 2009].
- Payne, P. & D. Tanner. 1959. The relationship between rake angle and performance of simple cultivation implements. *J. Agric. Engineering Res.* 4: 312-325.
- Ressia, J.M., L. Lázaro, G. Mendivil, G. Botta, M. Agostini, M. de Pablo & R. Balbuena. 2005. Evaluación de diferentes alternativas para la descompactación de suelos. En: *Avances de Ingeniería Agrícola 2003-2005.* Ed. O. Barbosa. Pp: 190-195.
- Sfeir, A., M. Varni, M. Piscitelli, G. Ares, R. Crespo & E. Usunoff. 2006. Efecto de la siembra directa permanente sobre la reducción del escurrimiento superficial. *Actas del III Congreso Iberoamericano Sobre el Control de la Erosión y los Sedimentos.*
- Soil Conservation Service. 1994. *Keys to soil Taxonomy (6<sup>th</sup> Ed.)* Soil Survey Staff. USDA, Washington DC. USA.
- Sojka R.E., W.J. Busscher, D. Gooden & W.H. Morrison. 1990. Subsoiling for sunflower production in the Southeast Coastal Plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1107-1112.
- Spoor, G. & R. Godwin. 1978. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. *J. Agric. Engng. Res.* 23: 243-258.
- Spoor, G., F. Tjink & P. Weisskopf. 2003. Subsoil compaction: risk, avoidance, identification and alleviation. *Soil Till. Res.* 73: 175-182.
- Terminiello A.M., R.H. Balbuena & J.A. Claverie. 1995. Requerimientos energéticos de rejas de diseño alado sobre montantes rígidos y flexibles a diferentes velocidades de trabajo. *Revista de la Facultad de Agronomía. La Plata.* 71(2): 187-194.
- Threadgill, E. 1982. Residual tillage effects as determined by cone index. *Transactions of the ASAE.* Vol. 25: 859-863, 867.
- Unger, P. & T. Kaspar. 1994. Soil compaction and root growth: a review. *Agronomy J.* 86: 759-766.
- Williat, S. & H. Willis. 1965. A study of the trough formed by the passage of tines through soil. *J. Agric. Engng. Res.* 10: 1-4.

**Recibido:** 18.11.2009

**Aceptado:** 16.03.2010