

Evaluación en campo de arcos de escarificador rígidos y flexibles

J.A. CLAVERIE, R.H. BALBUENA & A.M. TERMINIELLO

Departamento de Ingeniería Rural, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. CC 31, 1900 La Plata, Argentina. E-mail: djorajur@isis.unlp.edu.ar

CLAVERIE J.A., R.H. BALBUENA & A.M. TERMINIELLO. 1997. Evaluación en campo de arcos de escarificador rígidos y flexibles. Rev. Fac. Agron., La Plata 102 (2): 155-162.

Se llevaron a cabo ensayos en campo con el objeto de evaluar parámetros de prestación de arcos de escarificador rígidos y flexibles. Se empleó un tractor de diseño convencional de 73 kW de potencia y un bastidor de tracción libre, registrándose los esfuerzos traccionales mediante una celda de carga interpuesta entre ambos, determinándose el área removida mediante un perfilómetro y obteniéndose los valores de resistencia específica. Los arcos rígidos produjeron un frente de labor significativamente mayor que los arcos flexibles. Los arcos rígidos son energéticamente más eficientes que los arcos flexibles.

Palabras clave: escarificador, labranza, eficiencia, arcos rígidos, arcos flexibles.

CLAVERIE J.A., R.H. BALBUENA & A.M. TERMINIELLO. 1997. Field evaluation of rigid and flexible scarifier shanks. Rev. Fac. Agron., La Plata 102 (2): 155-162.

Field tests were carried out with the aim to evaluate both rigid and flexible scarifier shanks performance parameters. A 2WD, 73 kW tractor and a pull type implement were used. The draft force was measured with a force transducer with strain gauges. The loosening area was recorded through a profilometer and, from this data, the specific resistance was calculated. The rigid shanks produced a significantly greater working area than the flexible shanks. The rigid shanks shows higher efficiency than the flexible shanks.

Key words: scarifier, tillage, efficiency, rigid shanks, flexible shanks.

INTRODUCCIÓN

No obstante existir antecedentes que se remontan a 1950 (Demmi & Puricelli, 1987), es en los últimos años que aparecen en el mercado argentino los escarificadores de arcos rígidos. Sus características constructivas, permiten utilizarlos en trabajos de descompactación a profundidades a las cuales los arcos flexibles ven limitada su eficiencia. La posibili-

dad de variaciones en el ángulo de ataque, definido según Payne & Tanner (1959) y Spor & Godwin (1978), en los órganos activos de estos implementos inherentes a la flexibilidad de los arcos, podrían restringir su prestación.

En otros países, los escarificadores de arcos rígidos son utilizados, también, como implementos de laboreo primario del suelo a profundidades menores de 350 mm, considerada como límite entre las labores de cincelado y

subsulado (ASAE EP291.2). Al respecto, pueden ser citados trabajos efectuados por Abreu de Figueiredo & Magalhaes (1992) y Klein *et al.* (1992), en los que las profundidades ensayadas fluctuaron entre 170 y 270 mm. Siendo escasa en la Argentina la información disponible acerca de la eficiencia energética y del trabajo que realizan estos implementos, comparativamente con los escarificadores de arcos flexibles a profundidades menores que las de subsulado, se planteó la siguiente hipótesis: Los arcos de escarificador rígidos son energéticamente más eficientes que los de arcos flexibles.

El objetivo del presente trabajo es valorar la prestación de los escarificadores de arcos rígidos frente a la alternativa de los de arcos flexibles, para su posible inclusión en sistemas de labranza tendientes a la conservación del suelo.

ANTECEDENTES

Payne & Tanner (1959), trabajando con una amplia diversidad de ángulos de ataque (definiendo como tal al formado por la inclinación de la reja con respecto a la horizontal en la dirección de avance), encontraron que con valores de hasta 45° el suelo proveía una componente vertical que favorecía la penetración de la reja, cuyo sentido se invertía para mayores inclinaciones. Balbuena *et al.*, (1992a) determinaron que la limitación de la capacidad de profundización para diferentes rejas obedecía a variaciones en el ángulo de ataque, que derivarían de la elasticidad de los arcos. Spoor & Godwin (1978) hallaron que, a niveles superficiales, el suelo se desplaza hacia adelante, arriba y lateralmente, bajo un patrón de rotura denominado falla creciente, rompiéndose a lo largo de planos bien definidos que se propagan desde el extremo de la reja hacia la superficie con una angulación aproximada a los 45° con respecto a la horizontal. El volumen de suelo removido deter-

mina en la superficie un área semicircular, manteniéndose dicho modelo de ruptura con el incremento de la profundidad hasta que, a un determinado nivel denominado profundidad crítica, el suelo comienza a deslizarse solamente hacia adelante y hacia los lados, generando compactación en profundidad. Dicho fenómeno se producía a relaciones profundidad/ancho de reja de 5 a 7:1; pudiendo variar con la densidad del suelo. En tal sentido, Abreu de Figueiredo *et al.* (1992), observaron que las áreas de suelo movilizadas por arcos rígidos resultaron significativamente mayores que las obtenidas con arcos flexibles, debido a la elevada densidad del suelo. En este contexto, Gregory & M'hedbi (1988) informaron que el esfuerzo de tracción de un escarificador de cinceles varía directamente con el total del área trabajada, mientras que Godwin *et al.* (1984) establecieron valores mínimos de resistencia específica y uniformidad en el laboreo con espaciamientos entre órganos activos comprendidos entre 1,05 y 1,75 veces la profundidad de trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se llevaron a cabo en el partido de Azul, provincia de Buenos Aires, sobre un suelo Argiudol típico (United States Department of Agriculture, 1992), de composición textural franca. Se empleó un diseño estadístico en bloques totalmente al azar con 3 repeticiones, tomándose los arcos rígidos y flexibles descritos por Claverie *et al.* (1996) como tratamientos y dos profundidades de trabajo, designadas como superficial y profunda, como subtratamientos. Se posicionó el cilindro hidráulico de control remoto de manera de obtener una relación profundidad/ancho de la reja entre 5 a 7:1, considerada como límite, de acuerdo a Spoor & Godwin (1978) para evitar la profundidad crítica. Los arcos se montaron en un bastidor de tracción libre, en dos planos constituidos por dos arcos ubicados por de-

lante de uno central posterior, modificándose la distancia entre las rectas de acción de los arcos para ambos subtratamientos con la finalidad de mantenerla dentro del rango de 1,05 a 1,75 veces la profundidad de labor, relación recomendada por Godwin *et al.* (1984). Las rejas utilizadas fueron del tipo convencional, de 51 mm de ancho, tal como las descritas por Balbuena *et al.* (1995). Se efectuaron 10 determinaciones del índice de cono en cada parcela, a 0; 76; 152; 228 y 305 mm, mediante un penetrómetro de cono bajo norma ASAE S.313.2., con valores promedio de 0,51; 0,86; 1,14 y 1,26 MPa en los respectivos intervalos de profundidad, y cuatro mediciones por parcela de densidad aparente hasta 250 mm de profundidad a través de una sonda de neutrones, utilizándose ambos parámetros como variables explicativas de posibles variaciones del esfuerzo traccional (Larney & Kladviko, 1989). Las parcelas tenían una longitud de 50 m, considerándose los 30 m centrales para determinar el tiempo insumido en transitarlos, a fin de obtener la velocidad real de avance. En el mismo espacio se realizaron, previa remoción manual del suelo trabajado, (Spoor & Godwin, 1978; Godwin *et al.*, 1984), 4 determinaciones del perfil del suelo removido utilizando un perfilómetro similar al descrito por Willat & Willis (1965) y Godwin *et al.* (1984). A partir del análisis sobre la proyección en tamaño natural de diapositivos tomados en cada estación de muestreo, se obtuvo el área de suelo removida, mediante la fórmula de Simpson (Balbuena *et al.*, 1992b). Se utilizó un tractor de tracción simple marca Massey Ferguson modelo 1098, de 73 kW, fluctuando la velocidad de trabajo entre 2,05 y 2,13 m.s⁻¹ resultando compatible con el rango citado en ASAE D497, que oscila entre 1,8 a 2,9 m.s⁻¹. Los esfuerzos de tracción se registraron mediante una celda de carga de 34.300 N de capacidad, interpuesta entre el tractor y el implemento. La potencia desarrollada se calculó como el producto entre el esfuerzo de tracción y la velocidad real de avance, calculándose la resistencia específi-

ca como el cociente entre el esfuerzo de tracción demandado y el área de suelo removida, con el objeto de obtener la eficiencia energética de los tratamientos y subtratamientos (Spoor & Godwin, 1978; Godwin *et al.*, 1984).

La evaluación estadística de los resultados se realizó a través del análisis de la varianza, comparándose las diferencias mediante el test de Tukey ($p>0,05$).

RESULTADOS

La Tabla 1 muestra los resultados para la totalidad de los parámetros evaluados.

No se registraron diferencias significativas en el esfuerzo de tracción para los tratamientos de mayor profundidad de trabajo. Los valores de profundidad indican una mayor capacidad de profundización para los arcos rígidos, ya que los datos medidos arrojan diferencias significativas con respecto a los arcos flexibles en el subtratamiento profundo. Si bien estos demandaron mayores esfuerzos de tracción, las áreas trabajadas resultaron significativamente menores a las producidas por los arcos rígidos a la mayor profundidad, e incluso no difirieron significativamente del área trabajada por los arcos rígidos en el subtratamiento superficial, coincidiendo con Abreu de Figueiredo & Magalhaes (1992), provocando mayores valores de resistencia específica.

Los resultados observados indicarían una menor aptitud de los arcos flexibles para el trabajo a mayor profundidad, lo que produce valores de resistencia específica que no difieren estadísticamente de los registrados a nivel superficial.

Con respecto a los subtratamientos superficiales, los arcos rígidos produjeron en profundidad un incremento en el área trabajada del 22,5%, mientras que para los arcos flexibles dicho valor sólo alcanzó el 12%. Las Figuras 1, 2, 3 y 4 representan las perfilometrías promedio registradas para la totalidad de los tratamientos.

Tabla 1. Análisis estadístico de los valores medidos en los ensayos.

Statistical analysis of the data measured in the field tests.

Tratamientos	Esfuerzo de tracción [N]	Potencia [kW]	Profundidad [mm]	Area trabajada [dm ²]	Resistencia específica [N.dm ²]
Rígido Profundo	12.554 ab	26 a	258 a	19,07 a	658 ab
Rígido Superficial	9.098 c	19 b	226 b	15,57 bc	584 a
Flexible Profundo	12.825 b	27 a	243 c	16,64 c	771 c
Flexible Superficial	11.346 a	24 ab	224 b	14,86 b	763 bc

Las medias verticales seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas según el test de Tukey ($p>0,05$).
Vertical means followed by the same letter are not significantly different according to Tukey's test ($p>0,05$).

DISCUSIÓN

El análisis de los datos de densidad (Tabla 2) permite detectar la ausencia de diferencias significativas entre las parcelas destinadas a los tratamientos y subtratamientos. Esto indicaría que las limitaciones en el incremento del área trabajada por los arcos flexibles son inherentes a variaciones en su geometría derivadas de la densidad del suelo, de acuerdo con Spoor & Godwin (1978).

En nuestro trabajo, no obstante mantenerse la distancia entre las rectas de acción de los arcos dentro de la amplitud recomendada por Godwin *et al.* (1984), las diferencias encontradas podrían ser atribuidas a variaciones en el ángulo de ataque, de acuerdo a Payne & Tanner (1959), limitantes de la capacidad de profundización de los órganos activos montados sobre los arcos flexibles, según Balbuena *et al.* (1992a), que restringirían su eficiencia energética. Las perfilometrias registradas (Figs. 1, 2, 3 y 4) permitieron determinar que si bien ambos tratamientos permanecieron trabajando en una relación profundidad/ancho de

la reja menor que 5:1; los arcos flexibles podrían haber alcanzado su nivel de profundidad crítica debido a los aumentos en el índice

Tabla 2. Valores de la densidad aparente hasta 250 mm de profundidad.

Bulk density values up to 250 mm depth.

Tratamientos	Densidad en seco [Mg.m ⁻³]	Densidad en húmedo [Mg.m ⁻³]
Rígido Profundo	0,78 a	1,14 a
Rígido Superficial	0,78 a	1,13 a
Flexible Profundo	0,81 a	1,17 a
Flexible Superficial	0,77 a	1,12 a

Las medias verticales seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas según el test de Tukey ($p>0,05$).

Vertical means followed by the same letter are not significantly different according to Tukey's test ($p>0,05$).

de cono con la profundidad, representados en la Figura 5, limitando las posibilidades de incrementos en el área trabajada, lo cual coincidiría con lo informado por Spoor & Godwin (1978). Por otra parte, las limitaciones observadas para los arcos flexibles se corroboran

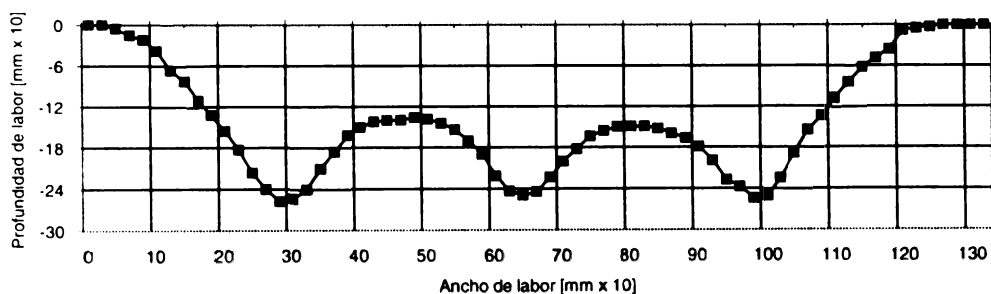


Figura 1. Area removida por los arcos rígidos trabajando en profundidad.
Deep rigid shanks working area.

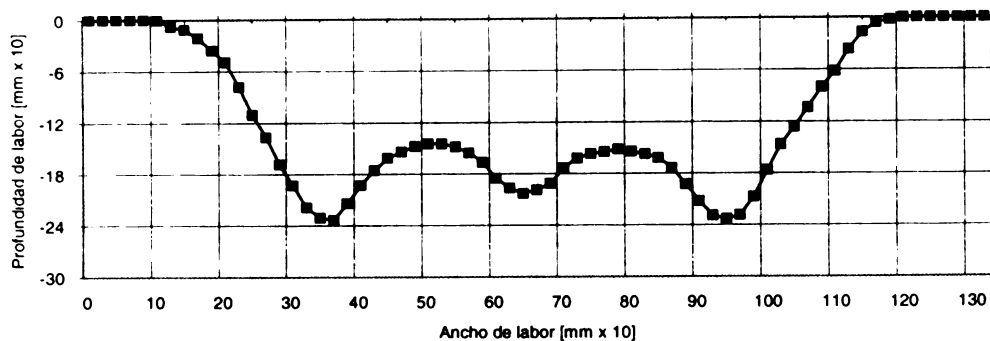


Figura 2. Area removida por los arcos rígidos trabajando a nivel superficial.
Shallow rigid shanks working area.

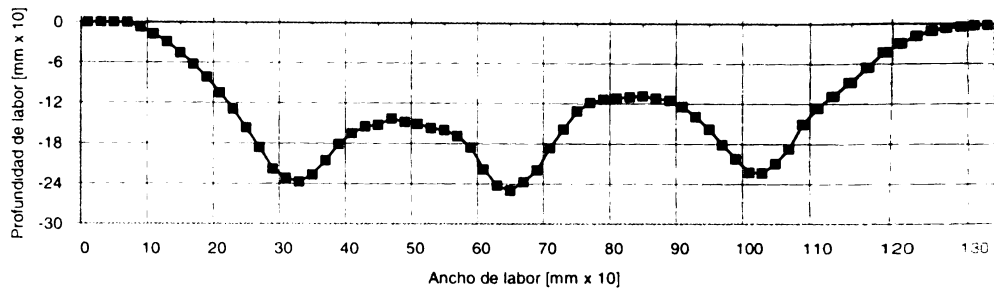


Figura 3. Area removida por los arcos flexibles trabajando en profundidad.
Deep flexible shanks working area.

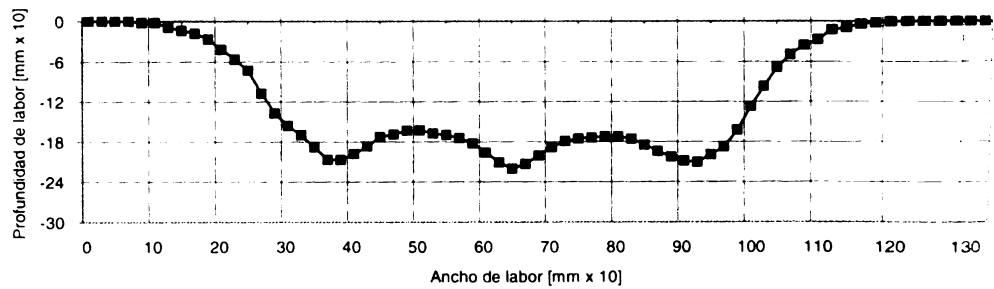


Figura 4. Area removida por los arcos flexibles trabajando a nivel superficial.
Shallow flexible shanks working area.

en función de los resultados obtenidos al efectuar las regresiones entre área trabajada y esfuerzo de tracción para ambos tratamientos (Tabla 3). Dicha información permite deducir que para los arcos flexibles el incremento en el esfuerzo traccional no sólo es función del área trabajada, lo cual no concordaría con el modelo propuesto por Gregory & M'Hedbi (1988).

Los valores de resistencia específica determinados permiten atribuir a los arcos rígidos una mayor eficiencia energética, ya que a nivel profundo estos produjeron áreas trabajadas significativamente mayores que los arcos flexibles sin incrementos significativos en

el esfuerzo de tracción demandado, determinando en consecuencia menores valores de

Tabla 3. Regresión entre el área trabajada y el esfuerzo de tracción.

Loosening area-draft force regression.

Tratamientos	Coefficiente de correlación	R ² [%]
Arcos Rígidos	0,84	70,69
Arcos Flexibles	0,31	10,08

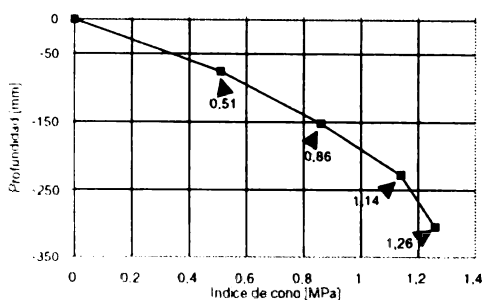


Figura 5. Índices de cono (promedios del ensayo).
Cone index (means of test).

resistencia específica con respecto a los arcos flexibles para ambos niveles de profundidad. A nivel superficial los arcos rígidos áreas trabajadas sin diferencia estadística con respecto a las dos profundidades de los arcos flexibles, pero con un esfuerzo de tracción significativamente menor, determinantes de valores de resistencia específica significativamente menores con respecto a los dos subtratamientos de arcos flexibles, representando en consecuencia una mayor eficiencia energética por parte de los arcos rígidos.

CONCLUSIONES

Los arcos de escarificadores rígidos son más aptos para el trabajo en profundidad, producen un mayor frente de labor y son energéticamente más eficientes que los arcos flexibles.

BIBLIOGRAFÍA

Abreu de Figueiredo P.R. & P.S.G. Magalhaes. 1992. Otimização do desempenho de uma máquina de preparo mínimo de solo. Anais do XXI

- Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Vol 3. pp.1405-1418.
- ASAE D497. 1992. Agricultural machinery management data. En: ASAE Standards. Ed. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph. pp. 293-299.
- ASAE EP291.2. 1992. Terminology and definitions for soil tillage and soil-tool relationships. En: ASAE Standards. Ed. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph. pp. 106-108.
- ASAE S313.2. 1992. Soil cone penetrometer. En: ASAE Standards. Ed. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph. p. 611.
- Balbuena R.H., J. Claverie & A.M. Terminiello. 1992a. Evaluación a campo de rejas de escarificador de cinceles. Anais do XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Vol.3. pp. 1707-1717.
- Balbuena R.H., J. Claverie & A.M. Terminiello. 1992b. Evaluación de combinaciones de rejas de escarificador de cinceles de arcos flexibles trabajando en dos estratos. Anais do XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Vol. 3. pp. 1693-1705.
- Balbuena R.H., J. Claverie & A.M. Terminiello. 1995. Influencia del diseño de las rejas de escarificador de cinceles sobre la resistencia al laboreo. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata 71: 195-202.
- Claverie J.A., R. Balbuena & A.M. Terminiello. 1996. Field performance of rigid and flexible chisel plough shanks. Proceedings of the AgEng 96 International Conference on Agricultural Engineering, Madrid, 23-26 de Septiembre 1996 (en prensa).
- Demmi M.A. & C.A. Puricelli. 1987. Efectos del uso del arado-cinzel sobre la compactación del suelo. Información Técnica INTA 112. p. 5.
- Godwin R.J., G. Spoor & M.S. Soomro. 1984. The effect of tine arrangement on soil forces and disturbance. Journal of Agricultural Engineering Research 30: 47-56.
- Gregory J.M. & K. M'hedbi. 1988. Draft prediction for chisel plows. Proceedings of American Society of Agricultural Engineers Winter Meeting. Paper N° 88: 1616. 13 pp.
- Klein V.A., W. Boller, A. Dallmeyer, A. Candaten, D. Bortolotti, E. Civardi, M. Vieira & R. Dalpaz. 1992. Avaliação do desempenho de seis escarificadores em latossolo vermelho escuro distrofico. Anais do XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Vol. 3. pp. 1337-1348.
- Larney F.J. & E.J. Kladvko. 1989. Soil strength properties under four tillage systems at three long-term study sites in Indiana. Soil Science Society of America Journal 53: 1539-1545.
- Payne P.C.J. & D.W. Tanner. 1959. The relation-

CLAVERIE ET AL.

- ship between rake angle and the performance of simple cultivation implements. *Journal of Agricultural Engineering Research* 4: 312-325.
- Spoor G. & R.J. Godwin.** 1978. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. *Journal of Agricultural Engineering Research* 23: 243-258.
- United States Department of Agriculture.** 1992. *Keys to soil taxonomy by soil survey staff.* Pocahontas Press Inc., Blacksburg, Virginia. 541 pp.
- Willatt S.T. & A.H. Willis.** 1965. A study formed by the passage of tines through soil. *Journal of Agricultural Engineering Research* 10: 1-4.