



Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata Tomo 71 (2), Año 1995: 187-194

Requerimientos energéticos de rejas de diseño alado sobre montantes rígidos y flexibles a diferentes velocidades de trabajo

AM Terminiello, RH Balbuena y JA Claverie

Departamento de Ingeniería Rural, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. CC 31, 1900 La Plata, Argentina.

Recibido: 15 de Noviembre de 1994. Aceptado: 14 de Setiembre de 1995.

RESUMEN

Se condujeron ensayos en el campo a los efectos de determinar las características de labor y requerimientos energéticos de rejas de diseño alado montadas sobre arcos rígidos y flexibles en laboreo primario de un suelo Argiudol típico de textura franco limosa. Se utilizaron rejas "pata de ganso" y "convencional alada", colocándose el conjunto, montante-órgano activo, sobre un bastidor de tracción libre, que fue arrastrado por un tractor de diseño convencional de 68,6 kW de potencia. Se seleccionaron para el desarrollo de los tratamientos 3 marchas del grupo de velocidades medias teóricas de 1,41, 1,88 y 2,34 m.s⁻¹. Se determinó el esfuerzo de tracción, la velocidad de avance, la potencia en la barra de tiro, el frente de labor y la resistencia específica al laboreo. El trabajo con arcos rígidos demandó un promedio de 7679 N mientras que los arcos flexibles requirieron 10546 N para las distintas rejas y velocidades. La resistencia específica al laboreo fue un 37% superior para los arcos flexibles. No se encontraron diferencias entre ambos tipos de rejas para los distintos parámetros evaluados. La velocidad de avance no influyó en el esfuerzo de tracción y la resistencia específica al laboreo. Los montantes rígidos fueron más eficientes en el trabajo con rejas aladas en las velocidades habituales de trabajo con escarificadores.

Palabras claves: Cíncel, escarificadores rígidos, rejas aladas, resistencia específica, tracción.

Field performance of winged chisel plough shares mounted on flexible and rigid shanks at different work speeds

SUMMARY

A field test was carried out to determine the characteristics of disturbance and tractive requirements of winged chisel plough shares mounted on rigid and flexible shanks in tillage operations in a typical argiudol soil. Plain and conventional-winged shares, with each type of shank mounted on a pull-type implement, and a FWD 68.6 kW tractor were used. Three gears of the intermediate group were chosen, with theoretical velocities of 1.41, 1.88, and 2.34 m.s⁻¹. Drawbar pull, forward speed, drawbar power, effective loosening area and specific resistance were determined. The means of drawbar pull requirements, at the different forward speeds and shares

studied, was 7679 and 10546 N for the rigid and flexible shanks, respectively. The specific resistance of flexible shanks was 37% greater than the rigid shanks. No significant differences were found between each type of share. The forward speeds have not influence on the drawbar pull and on specific resistance. The rigid shanks have higher efficiency than flexible ones at the usual forward speed operation with scarifiers

Key words: Chisel plough, rigid shanks scarifiers, specific resistance, traction, winged shares.

INTRODUCCION

La utilización durante muchos años de técnicas convencionales de labranza con arados de reja y vertedera, rastras de discos y siembra sobre suelo desnudo, han producido una aceleración de los procesos de degradación del suelo. Coscia (1990) cita que sobre 230 . 10⁶ ha con aprovechamiento agropecuario que tiene el país, 46 . 10⁶ ha presentan en mayor grado procesos erosivos. Dentro de este contexto, los escarificadores de cinceles constituyen una alternativa válida para la disminución de los mismos, en la medida que su inserción en los distintos sistemas productivos sea el resultado de la armonización entre su real prestación y las diferentes condiciones en que deben desempeñarse.

Existen diferentes tipos de órganos activos e implementos que permiten incrementar la oportunidad de labor de los escarificadores, pero no han sido mayormente adaptados debido a la inadecuada caracterización y determinación de su prestación (Balbuena *et al*, 1992a). Demmi y Puricelli (1987) citan la existencia de aperos con arcos rígidos desde mediados de siglo; sin embargo no han sido prácticamente utilizados y, sólo recientemente, existe una diversidad en la oferta que puede incentivar su adquisición por parte de los productores agropecuarios. La flexibilidad de los arcos de los cinceles generalmente utilizados en nuestro país, podría restringir su pres-

tación en trabajos de labranza primaria debido a las variaciones en el ángulo de ataque de las rejas

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.

Payne y Tanner (1959) detectaron aumentos significativos en la resistencia específica al laboreo con el aumento del ángulo de ataque, mientras que el esfuerzo de tracción se mantuvo relativamente constante para ángulos de entre 20 y 50°. Kuczewski y Majewski (1986) determinaron que el esfuerzo de tracción es función del ángulo de ataque y del ancho de la reja. Spoor y Godwin (1978) encontraron que a niveles superficiales, el suelo es desplazado bajo un patrón de roturación denominado falla creciente, hasta una profundidad llamada crítica, en que comienza a deslizarse solamente hacia adelante y los lados.

Abreu de Figueiredo y Magalhaes (1992) encontraron que las áreas de suelo movilizadas por arcos rígidos resultaron significativamente mayores que las obtenidas con arcos flexibles. Ahmed y Godwin (1983) afirman que la utilización de las alas acopladas al subsolador incrementan el esfuerzo de tracción, pero disminuyen la resistencia específica. Magalhaes y de Souza (1990) no en-

contraron diferencias significativas en la resistencia específica para los distintos modelos ensayados. Balbuena *et al* (1992a) determinaron una mayor aptitud en la remoción del suelo en profundidad para las rejas aladas.

Con respecto a la velocidad de trabajo, Dransfield *et al* (1964) adjudicaron a la consolidación del suelo el aumento del esfuerzo de tracción con el incremento de la velocidad entre 0,4 y 2 m.s⁻¹. Stafford (1979) determinó que con bajos contenidos de humedad el esfuerzo de tracción aumenta en una relación creciente con el incremento de la velocidad. Willat y Willis (1965) concluyeron, que el área trabajada aumenta con el incremento de velocidad, pero el efecto es pequeño. Gregory y M'Hedbhi (1988), encontraron que el esfuerzo de tracción de un escarificador de cinceles varía directamente con el total del área trabajada, y es una función aproximadamente lineal de la velocidad de trabajo. Balbuena y Terminiello (1993) determinaron que la variación de la velocidad no modificó el esfuerzo de tracción para los 3 niveles de profundidad de trabajo. Lancas y Losnak (1992), encontraron diferencias significativas en el esfuerzo de tracción entre 0,9 y 1,74 m.s⁻¹, en el trabajo con subsoladores.

Las hipótesis de trabajo fueron: 1) Los escarificadores de arcos rígidos son energéticamente más eficientes que los de arcos flexibles. 2) La resistencia específica al laboreo de las distintas rejas es dependiente del tipo de montante utilizado. 3) La velocidad de trabajo influye sobre el área de trabajo y el esfuerzo de tracción, independientemente del tipo de montante utilizado.

El objetivo general del presente trabajo fue valorar críticamente la prestación de diferentes órganos activos y montantes, para su adecuada utilización en los sistemas de labranza tendientes a la conservación del recurso suelo.

MATERIALES Y METODOS

El ensayo se realizó en la Estación Experimental "Julio Hirschhorn" perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata (34°55'S y 57° 57'W), en un suelo Argiudol típico de textura franco limosa, con una humedad promedio del 13 %. La densidad aparente fue de 1,030 Mg.m⁻³, la resistencia a la penetración de 0,645 MPa en la superficie, 1,368 MPa a 76,2 mm y 2,052 MPa a 152,4 mm con el cono de 0,5 pulgadas cuadradas. El suelo presentó un horizonte A de 170 mm de desarrollo, de estructura suelta, desmenuzable, media y fuerte en los primeros 50 mm y granular, media fina entre los 50 y 120 mm. Desde allí hasta los 170 mm se diferenció un horizonte A3 de máxima eluviación, de estructura masiva. De los 170 y hasta los 500 mm de profundidad se encontró un horizonte B21, de textura franco arcillosa y estructura de grandes prismas compuestos. En estado seco se encontró intensamente fracturado.

Para la realización de los ensayos se utilizó un bastidor de escarificador de cinceles marca "La Cantábrica" con 2 planos de ubicación de montantes, disponiéndose los arcos en el último plano de los mismos. Se utilizaron arcos flexibles y rígidos, que trabajaban sin interacción, sobre los cuales se montaron rejas "pata de ganso" y "convencional alada", similares a las utilizadas por Balbuena *et al* (1992a). Se seleccionaron posiciones del cilindro hidráulico de control remoto que permitiesen el trabajo de las 2 rejas utilizadas a la profundidad de 220 a 300 mm, la cual se encuentra dentro de la relación profundidad/ ancho de la reja entre 5 y 7:1, para evitar riesgos de sobrepasar el nivel de profundidad crítica (Spoor y Godwin 1978). Los 2 tipos de montantes utilizados poseen una curvatura similar en el sector de anclaje de la reja, por lo

cual el ángulo de ataque inicial de las rejas fue igual.

Para el desplazamiento del implemento se utilizó un tractor de tracción simple, Zanella V 210, de 68,6 kW, rodado directriz 7,50 . 18, rodado motriz 18,4 . 34 y una masa total de 4090 kg. Con el objeto de evaluar el efecto de la velocidad se seleccionaron las marchas 2da, 3ra y 4ta del grupo de velocidades medias, las cuales brindan velocidades teóricas de 1,41 m.seg⁻¹, 1,88 m.seg⁻¹ y 2,34 m.seg⁻¹, respectivamente. Las mismas se encuentran dentro de la amplitud de velocidades ensayadas por Stafford (1979), y son ligeramente inferiores a las citadas en ASAE D 497 (1992).

El tipo de arco se tomó como tratamiento y, al tipo de reja y la velocidad de avance del conjunto, como subtratamientos. Se empleó un diseño estadístico de bloques con tres repeticiones, dentro de las cuales los tratamientos y subtratamientos se distribuyeron totalmente al azar. Cada parcela tuvo una longitud de 40 m y las mediciones se realizaron sobre los 20 m centrales. La velocidad real de avance se calculó a partir de la medición del tiempo insumido para el traslado del equipo en la parcela de medición.

Previo al pasaje de los implementos se efectuaron 10 determinaciones de penetrometría en cada parcela a 0, 76,2 y 152,4 mm mediante un penetrómetro de cono, bajo norma ASAE S.313.2., y cuatro mediciones de humedad y densidad aparente a través de una sonda de neutrones Troxler. Estos parámetros se utilizaron como variables explicativas de posibles variaciones del esfuerzo traccional según Bowers, 1989. Durante el pasaje del implemento se registraron los esfuerzos de tracción por medio de un dinamógrafo hidráulico Amsler interpuesto entre el tractor y el implemento de acuerdo a Mc Kyes (1989). Luego del pasaje del implemento y previa remoción manual del suelo

trabajado por cada órgano activo (Johnson 1988), se hicieron 3 determinaciones de perfilometría, utilizando un perfilómetro similar al descrito por Stafford (1979), de 1260 mm de ancho efectivo, con un intervalo de medición de 20 mm.

En cada determinación se tomó, una vez que todas las varillas alcanzaron la profundidad correspondiente, un diapositivo de la grilla graduada del perfilómetro. Por medio de la proyección posterior a escala natural se midió la profundidad de cada varilla y se calculó el área de suelo removida por medio de la fórmula de Simpson (Balbuena *et al*, 1992b).

La potencia insumida se calculó como el producto del esfuerzo traccional medio y la velocidad real de avance del conjunto. La resistencia específica se calculó como el cociente entre el esfuerzo traccional demandado y el área de suelo removida.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los análisis estadísticos no mostraron interacción entre montantes, rejas y velocidades de avance. El efecto del tipo de montante sobre los parámetros de prestación se muestra en la Tabla 1. Los arcos flexibles demandaron, en promedio, un 37,3 % más esfuerzo traccional que los montantes rígidos. El frente de labor, en cambio, no mostró diferencias significativas, siendo los valores determinados muy homogéneos. Tampoco se detectaron diferencias entre ambos tratamientos en las profundidades medias. En virtud de ello, las diferencias podrían atribuirse al mayor ángulo de ataque que ofrecen las rejas trabajando con arcos flexibles en condiciones de alta resistencia traccional. Esta deformación fue fácilmente observable a simple vista. Es posible, que con rejas de diseño alado, la mayor superficie de trabajo sobre el suelo que



se produce al modificarse el ángulo de ataque ocasiona incrementos de importancia con menores valores que los citados por Payne y Tanner (1959) para rejas estrechas. De acuerdo con Kuczewski y Majewski (1986), las diferencias en los efectos principales entre arcos flexibles y rígidos se deberían al factor "ángulo de ataque", puesto que el ancho de la reja fue uniforme.

La resistencia específica, presentó un comportamiento similar al del esfuerzo de tracción. En forma contrapuesta a lo encontrado por Payne y Tanner (1959), el aumento en la resistencia específica se produjo por un incremento en el esfuerzo de tracción, sin reducción del área trabajada. Tampoco el tratamiento con arcos flexibles mostró, tal como cita Abreu de Figueiredo y Magalhaes (1992), una menor movilización de suelo con respecto a los montantes rígidos, aunque sí una menor eficiencia en el laboreo evaluada a través de la resistencia específica. La potencia requerida, al no registrarse diferencias en la velocidad de avance entre los distintos montantes y rejas, siguió una tendencia similar al esfuerzo

Tabla 1. Efecto del tipo de montante sobre los parámetros de prestación. T: esfuerzo de tracción, FL: frente de labor, R.Esp: resistencia específica al laboreo, N: potencia.

Shank type effects on performance parameters. T: traction effort, FL: loosened soil, R.Esp: specific resistance, N: power.

Montante	T (N)	FL (dm ²)	R.Esp (N.dm ²)	N (kW)
Rígido	7679a	8,31a	935a	13,3a
Flexible	10546b	8,33a	1280b	17,3b

Medias seguidas de igual letra indican diferencias no significativas al 5 % del test de Tukey.

Means follow by the same letter are not significantly different at 5 % level by Tukey's test.

traccional y resistencia específica al laboreo

Existieron, sin embargo, diferencias de comportamiento entre las rejas, para el esfuerzo de tracción, siendo mucho más marcado el incremento para la reja pata de ganso con los arcos flexibles (66,3 %), que con la convencional alada (12,4 %), tal como se indica en la Tabla 2.

En relación a la roturación del suelo, no se encontraron diferencias entre los diseños ensayados. De acuerdo a Spoor y Godwin (1978), los cambios en los patrones se deberían a problemas de profundidad crítica. Este hecho no se encontró, siendo el comportamiento similar para ambas rejas trabajando con bajos tenores de humedad, a la profundidad establecida en el ensayo. Tal como citan Dransfield *et al* (1964) los esfuerzos a campo son mucho mayores en relación a ensayos similares en canales edafométricos. Los resultados concuerdan con los obtenidos por Magalhaes y de Souza (1990), ya que pese a las importantes diferencias en el diseño de las rejas, no se encontraron diferencias significa-

Tabla 2. Efecto del tipo de reja sobre la energía requerida y la remoción del suelo. PG: pata de ganso, CA: convencional alada T: esfuerzo de tracción, FL: frente de labor, R.Esp: resistencia específica al laboreo, N: potencia.

Share type effects upon the energy requirements and loosened soil. PG: plain share, CA: conventional-winged share, T: traction effort, FL: loosened soil, R.Esp: specific resistance, N: power.

Reja	T(N)	FL(dm ²)	Esp(N.dm ²)	N(kW)
PG	9444a	8,63a	110,6a	15a
CA	8784a	8,01a	110,9a	16a

Medias seguidas de igual letra indican diferencias no significativas al 5 % del test de Tukey.

Means follow by the same letter are not significantly different at 5 % level by Tukey's test.

tivas en la resistencia específica para ambos modelos. También son coincidentes con los obtenidos por Balbuena et al (1992a), en relación a la aptitud de estas rejas para la remoción del suelo en profundidad.

La velocidad de avance no influyó en el esfuerzo de tracción, resistencia específica al laboreo y roturación del suelo (Tabla 3).

Estos resultados son contradictorios con el efecto informado por la mayoría de los investigadores en relación al trabajo con equipos de labranza primaria del suelo. La amplitud de velocidades ensayado quizás haya sido demasiado estrecho para estudiar los efectos generales de la velocidad sobre el esfuerzo de tracción. Pese a ello, las velocidades medias reales de los distintos tratamientos y subtratamientos se encontraron dentro de los valores citados por distintos autores para el trabajo con escarificadores rígidos y flexibles. El suelo, tal como se desprende de la descripción del perfil cultural, ofrecía una alta resistencia traccional por el bajo contenido de humedad, la masificación del horizonte A3 y el alto contenido de arcilla y coherencia del ho-

rizonte B21. Al contrario de los resultados alcanzados por Dransfield et al (1964), pese a la consolidación del suelo, un aumento de velocidad del 55,27 % no provocó modificación alguna en la resistencia traccional. Es posible suponer que, pese a la tenacidad de las capas medias y profundas, las tensiones a las que se encontraba sometido el suelo por la baja humedad permitieron que el mismo reaccionara al paso del implemento sin que la velocidad a la cual lo hiciera tuviera importancia. A diferencia con los arados, la energía requerida para la elevación del terreno tiene mucha menor importancia, por lo que sería lógico que, de crecer el esfuerzo de tracción con la velocidad, la relación no fuese exponencial, sino a lo sumo lineal, como sugiere Gregory y M'Hedbhi (1988), y función principalmente del área trabajada. Esto parecería coincidir con los resultados encontrados, puesto que no existieron diferencias en el área removida por los distintos tratamientos y subtratamientos, por lo que el esfuerzo de tracción no debiera, según esta hipótesis, modificarse. También resultó esto coincidente con lo obtenido por Willat y Willis (1965) con respecto a la independencia del frente de labor con la velocidad de desplazamiento. Se podría, entonces, en función de lo expuesto hipotetizar que en estos suelos, y en condiciones de baja humedad, el requerimiento de esfuerzo traccional para iniciar la roturación del suelo es alto, pero al iniciarse el proceso, el mismo se produce sin que la velocidad de desplazamiento influya sobre el tipo e intensidad de fractura. El esfuerzo traccional dependería, de acuerdo a lo encontrado por Stafford (1979), de la capacidad de reacción del suelo y, como consecuencia de ello, de la sección de terreno trabajado. El esfuerzo traccional podría incrementarse con la velocidad de avance en condiciones intermedias de humedad, en las que la mayor energía fuese absorbida

Tabla 3. Efecto de la velocidad de avance sobre los parámetros de eficiencia de la labranza. T: esfuerzo de tracción, FL: frente de labor, R.Esp: resistencia específica al laboreo N: potencia.

Forward speed effects upon tillage efficiency parameters. T: traction effort, FL: loosened soil, R. Esp: specific resistance, N: power.

Marcha	T(N)	FL(dm ²)	R.Esp(N/dm ²)	Pot(kW)
2	9345a	8,55a	111a	12,6a
3	9330a	8,22a	113a	16 a
4	8662a	8,20a	108a	18 a

Medias seguidas de igual letra indican diferencias no significativas al 5 % del test de Tukey.

Means follow by the same letter are not significantly different at 5 % level by Tukey's test.

a través de la deformación del suelo, causando compactación.

Estos resultados son coincidentes con los obtenidos por Balbuena y Terminiello (1993) para similares velocidades teóricas y por Lancas y Losnak (1992), puesto que los mismos encontraron incrementos en el esfuerzo de tracción entre 0,9 y 1,74 m.s⁻¹, pero las diferencias no resultaron significativas en la amplitud de 1,44 y 1,74 m.s⁻¹, cercanas a las velocidades empleadas en este trabajo.

De acuerdo al análisis de los resultados, se validan las hipótesis de mayor eficiencia de los arcos rígidos con respecto a los flexibles y dependencia de la resistencia específica de las rejas del tipo de montante utilizado. Se

rechaza, en cambio, la hipótesis del efecto de la velocidad de trabajo sobre el área removida y el esfuerzo de tracción.

CONCLUSIONES

Los montantes rígidos son más eficientes que los flexibles en la roturación del suelo, en forma independiente de la reja utilizada.

El esfuerzo traccional es independiente de la velocidad de avance del conjunto.

Las rejas de diseño alado son aptas para la remoción del suelo en profundidad, independientemente del tipo de montante utilizado.

BIBLIOGRAFIA

- Abreu de Figueiredo PR e PSG Magalhaes** (1992) Otimização do desempenho de uma máquina de preparo mínimo do solo. Anais do XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola 3: 1405-1418.
- Ahmed M and R Godwin** (1983) The influence of wing position on subsoiler penetration and soil disturbance. Journal of Agricultural Engineering Research 28: 489-492.
- ASAE Standards** (1992) ASAE D497 Agricultural machinery management data. American Society of Agricultural Engineers 293-299.
- ASAE Standards** (1992) Standard Soil Cone Penetrometer S313.2. American Society of Agricultural Engineers. p.611.
- Balbuena RH, Claverie J y AM Terminiello** (1992a). Evaluación a campo de rejas de escarificadores de cincelos. XXI Congreso Brasileiro de Ingeniería Agrícola. Santa Maria, Brasil 3: 1707-1717.
- Balbuena RH, J Claverie y AM Terminiello** (1992b) Evaluación de combinaciones de rejas de cincelos de arcos flexibles trabajando en 2 estratos. XXI Congreso Brasileiro de Ingeniería Agrícola. Santa Maria, Brasil 3: 1693-1705.
- Balbuena RH y AM Terminiello** (1993) Determinación en campo del comportamiento dinámico de un conjunto tractor-escarificador. CIT 5: 55-64.
- Bowers CG** (1989) Tillage draft and energy measurements for twelve Southeastern soil series. Transactions of the ASAE 32: 1492-1502.
- Chisholm TS, JG Porterfield and DG Batchelder** (1970) A soil bin study of three dimensional interference between flat plate tillage tools operating in an artificial soil. ASAE Paper 70-122.
- Coscia A** (1990) Desarrollo agropecuario sostenible. Agricultura sostenible. Publicación N° 5 INTA p. 5.
- Demmi MA y CA Puricelli** (1987) La compactación de los suelos en la región centro este de la provincia de San Luis. INTA San Luis, Argentina. Informe Técnico 111. 30pp.
- Dransfield P, S Williat and H Willis** (1964) Soil to implement reaction experienced with simple lines at various angles of attack Journal of Agricultural Engineering Research 9: 220-224.
- Gregory JM and K M'hedhbi** (1988). Draft prediction for chisel plows. ASAE Paper 88-1616.
- Johnson R** (1988) Soil engaging tool effect on surfaced residue and roughness with chisel-type implements. Soil Science Society of America Journal 52: 237-243.
- Kuczewski J and Z Majewski** (1986) The effect of design parameters and working conditions of the chisel plough sets on its parameters and energy. Annals of Warsaw Agricultural University 20: 11-20.
- Lancas e Losnak** (1992) Subsolador: Comparação entre os resultados obtidos em condições de campo e em

Terminiello et al. Requerimientos energéticos de rejas de diseño alado ...

- tanque de solo. Anais XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Santa Maria, Brasil 3: 1189-1199.
- Magalhaes P e W de Souza** (1990) Un análisis experimental del efecto de los ángulos de las alas del subsolador. Actas I Congreso Argentino de Ingeniería Rural, Universidad Argentina de la Empresa. Buenos Aires, 6 al 9 de agosto de 1990 (En prensa).
- Mc Kyes E** (1989) Agricultural engineering soil mechanics. Elsevier, Amsterdam. p. 227.
- Payne P and D Tanner** (1959) The relationship between rake angle and performance of simple cultivation implements. Journal of Agricultural Engineering Research 4: 312-325.
- Spoor G and R Fry** (1983) Soil disturbance generated by deep working low rake angle narrow lines. Journal of Agricultural Engineering Research 28: 217-234.
- Spoor G and R Godwin** (1978) An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. Journal of Agricultural Engineering Research 23: 243-258.
- Stafford JV** (1979) The performance of a rigid tine in relation to soil properties and speed. Journal of Agricultural Engineering Research 24: 41-56.
- Williat S and H Willie** (1965) A study of the trough formed by the passage of tines through soil. Journal of Agricultural Engineering Research 10: 1-4.