

ESTUDIO DE PARÁMETROS OPERACIONALES DE DISCOS DOBLES Y CINCELES PARABÓLICOS PARA PRÁCTICAS CULTURALES EN ÁREAS CON RESIDUOS VEGETALES¹

A study of operational parameters of double discs and parabolic chisels for applications on areas with surface crop residues¹

Jesús H. Camacho^{2*} y Paulo S. G. Magalhães³

ABSTRACT

One of the main restrictive aspects of no-tillage is the handling of crop residues during amendment and fertilizer application, since when it is not carried out simultaneously with sowing, it is necessary to distribute these products on the surface to maintain the soil cover. The objective of the present study was to evaluate the operational capacity of a prototype designed with double disks, chisel tine and subsoiler, which allows fertilization at a depth between 0 and 0.30 m. The experimental design was randomized blocks, with seven treatments and four replicates. Behavior of the horizontal and vertical forces, soil area disturbed, work depth and specific resistance were analyzed. The results indicated that the use of double disks in front of the chisels reduces the horizontal force and the disturbed area, but these results do not differ statistically. The treatments with chisels had higher values of horizontal force, higher disturbed areas and similar specific resistance. The combination of double disks and chisels reduced the vertical force. The maximum working depth was observed for the treatments with double disks and subsoiler. The double disks had smallest horizontal force, shallowest working depth, smallest disturbed area and the highest specific resistance.

Key words: agricultural tools, agricultural machinery, soil tillage.

RESUMEN

Una de las principales limitantes en cero labranza es el manejo de residuos de cosecha para la aplicación de enmiendas y fertilizantes, pues cuando no se realiza simultáneamente con la siembra, es necesario distribuir estos productos en la superficie, para mantener el suelo con cobertura. El objetivo del presente estudio fue evaluar la capacidad operacional de un prototipo compuesta por discos dobles y cincele, que permita la fertilización en una profundidad entre 0 y 0,30 m. El diseño experimental fue de bloques al azar, con siete tratamientos y cuatro repeticiones. Se analizó el comportamiento de las fuerzas horizontal y vertical, área de suelo disturbada, profundidad de trabajo y resistencia específica. Los resultados reportaron que el uso de discos dobles, frente a los cincele, reducen la fuerza horizontal y el área disturbada, pero estos resultados no difieren estadísticamente. Los tratamientos con cincele presentaron mayores valores de fuerza horizontal, mayores áreas disturbadas y resistencia específica semejantes. La combinación de discos dobles y cincele reduce la fuerza vertical. La máxima profundidad de trabajo se presentó para los tratamientos con discos dobles y cincel escarificador. Los discos dobles presentaron la menor fuerza horizontal, menor profundidad de trabajo, menor área disturbada y mayor resistencia específica.

Palabras clave: máquinas agrícolas, mecanización agrícola, labranza de suelo.

¹ Recepción de originales: 28 de mayo de 2002.

² Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Centro de Investigación de Tibaitatá, km 14 Vía Mosquera, C. I. Tibaitatá, Bogotá, Colombia. E-mail: jcamacho@corpoica.org.co *Autor para correspondencia.

³ Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Cidade Universitária Zeferino Vaz, Caixa postal 6011, Campinas, Sao Paulo, Brasil. E-mail: paulo@agr.unicamp.br

INTRODUCCIÓN

Los implementos más comunes para la distribución de enmiendas y fertilizantes sólidos se pueden clasificar en superficiales y subsuperficiales. Los primeros distribuyen el producto en la superficie y luego lo incorporan mediante el uso de arados de discos o rastras que movilizan el suelo hasta una profundidad de 0,30 m, incorporando también los residuos de cosecha y generando capas compactadas, debido al paso de la maquinaria utilizada en esta labor. Los subsuperficiales realizan la distribución en surcos, por medio de discos dobles para aplicación entre surcos, o mediante la combinación de un disco de corte y cinceles rígidos que distribuyen el fertilizante a profundidades entre 0,10 y 0,30 m, como es frecuente para el manejo de pasturas, donde se busca romper capas compactadas y simultáneamente fertilizar.

La aplicación de enmiendas en sistemas de cero labranza se realiza superficialmente. Staut y Kurihara (1998) afirmaron que este procedimiento permite que el aluminio (Al) intercambiable se mantenga en niveles no detectables a una profundidad de 0 a 0,05 m, y en niveles no perjudiciales en una capa de 0,05 a 0,10 m, pero su efecto no alcanza una mayor profundidad, lo cual restringe en algunos casos el desarrollo de las raíces. De acuerdo con Kluthcouski *et al.* (2000) fertilizaciones superficiales sucesivas pueden originar alteraciones en las características físicas y químicas del suelo, que junto al intenso tráfico de máquinas favorece el surgimiento de problemas ocasionados por el uso continuo del sistema de cero labranza, tales como recompactación, o readensamiento, del suelo y salinización.

En el caso de la urea, principal fuente de N en la agricultura, se tiene que la volatilización y la escorrentía superficial son dos de sus principales causas de pérdidas e influye negativamente en la producción de los cultivos. Rodrigues y Kiehl (1986) citados por Castro *et al.* (1999) observaron que la incorporación de la urea en el suelo reduce la volatilización del amoníaco. Bianchini *et al.* (2001), recomendaron para el cultivo de caña de

azúcar, que la fertilización de N por medio de urea sea aplicada bajo los residuos de cosecha, y preferiblemente incorporada al suelo.

Existen otros aspectos a ser considerados en fertilización localizada, como son los parámetros operacionales de los implementos utilizados para esta labor y su incidencia en el suelo. Portella (1989) y Chaudhuri (2001) afirmaron que los surcadores de discos se adaptan a diversos tipos de suelos y de residuos superficiales, si estos residuos se encuentran picados y distribuidos uniformemente, sin embargo, presentan limitaciones en suelos húmedos debido a la adherencia, y en suelos con alta densidad debido a la baja penetración. Además de estas limitaciones, el proceso de corte también está influenciado por el diámetro del disco de corte, profundidad de trabajo y finalmente por la densidad y humedad de los residuos (Kushwaha *et al.*, 1986).

Chichester *et al.* (1985), evaluando sistemas de fertilización localizada mediante combinaciones de discos y cinceles, a velocidades de 4; 7; y 10 km h⁻¹, encontraron que la mayor remoción de suelo se presentó a una velocidad de 7 km h⁻¹, siendo tres veces mayor a 0,10 m de profundidad que a 0,05 m. Sin embargo, otros autores encontraron que la remoción del suelo y la fuerza horizontal son poco afectadas por variaciones de la velocidad, principalmente dentro del intervalo de operación en que normalmente se utilizan los cinceles y subsoladores (Lanças y Benez, 1988; Coelho, 1998; Rahman y Chen, 2001). Spoor y Godwin (1978) afirmaron que la movilización del suelo depende de la profundidad de trabajo, del tamaño del cincel (largo y ancho), además de la humedad y densidad del suelo.

Considerando el ángulo de ataque de los cinceles, Wildman *et al.* (1978) encontraron que la movilización del suelo fue mayor cuando el ángulo de ataque fue de 0,436 rad. Chaudhuri (2001) concluyó que el incremento del ángulo de ataque en un cincel aumenta los requerimientos de fuerza horizontal, y que los valores más bajos de este parámetro se presentan cuando el ángulo de ataque está entre 0,436 y 0,524 rad.

Dada la importancia de la distribución de fertilizantes en el sistema de cero labranza y en la labranza mínima, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la capacidad operacional de diferentes combinaciones de discos dobles y cinceles parabólicos, en la interacción máquina-suelo, que permita la aplicación de fertilizantes y enmiendas sólidas hasta una profundidad de 0,3 m, en presencia de residuos de cosecha.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se desarrolló en la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Estatal de Campinas, en una caja de suelo de 15 m de longitud por 2 m de ancho y una capa de suelo de 0,5 m, compuesto de 29,5% de arcilla, 23,5% de limo y 47% de arena. La densidad real del suelo fue de 2.760 kg m^{-3} , con humedad en base húmeda media de 10,6% y resistencia a la penetración media de 1,79 MPa. La caja de suelo se preparó antes de iniciar cada ensayo, retirando 0,3 m del suelo con una cuchilla, para después depositarlo en capas de 0,07 m. Cada capa se compactó, antes de depositar la siguiente, con dos pases de un cilindro de 0,90 m de largo, 1 m de diámetro y 750 kg de peso. Cada capa se ralló superficialmente y se le adicionaron 2 L de agua por metro cuadrado. Después de terminar la preparación y antes de

iniciar los ensayos, la caja permaneció cubierta con plástico para mantener las condiciones y homogeneizar la humedad en el suelo.

Los discos dobles desfasados utilizados en el presente experimento se tomaron de un conjunto abonador de la sembradora Magnum 2880 PD (fabricada por Jumil, Brasil), con 0,381 m de diámetro, formando un ángulo vertical entre los discos de 0,105 rad y desfasados 30 mm entre ejes. La profundidad de trabajo utilizada para los discos dobles fue de 0,10 m. También se utilizaron dos cinceles, identificados como cincel corto proyectado a una profundidad de trabajo de 0,2 m, y cincel escarificador para una profundidad de trabajo de 0,3 m (Figura 1). Estos cinceles fueron construidos en acero SAE 1045 de 25,4 mm de grosor. El ángulo de ataque para los cinceles, medido en la punta de los cinceles con respecto a la horizontal, fue de 0,436 rad, para el cual se presenta la menor resistencia específica, de acuerdo con Wildman *et al.* (1978), Magalhães y Souza (1990) y por Chaudhuri (2001). Además de estas herramientas, se dispuso una rueda compactadora en la parte trasera de 0,30 m de ancho y 0,28 m de diámetro, la cual trabajó superficialmente, para controlar la profundidad de trabajo. La Figura 2 muestra la disposición de las herramientas evaluadas.

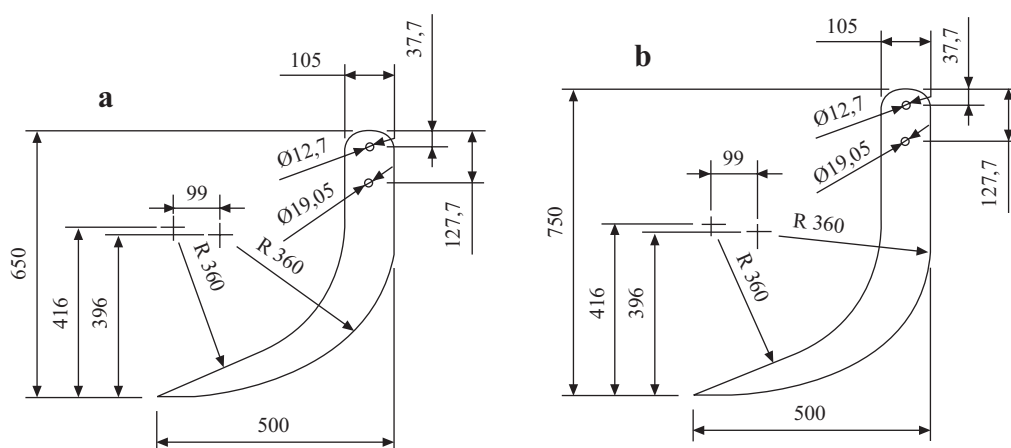


Figura 1. Esquema de los cinceles parabólicos utilizados en los ensayos. Medidas en mm. (a) Cincel corto; (b) Cincel escarificador.

Figure 1. Schematic representation of the parabolic chisels tested. Measurements in mm. (a) Chisel tine (b) Subsoiler.

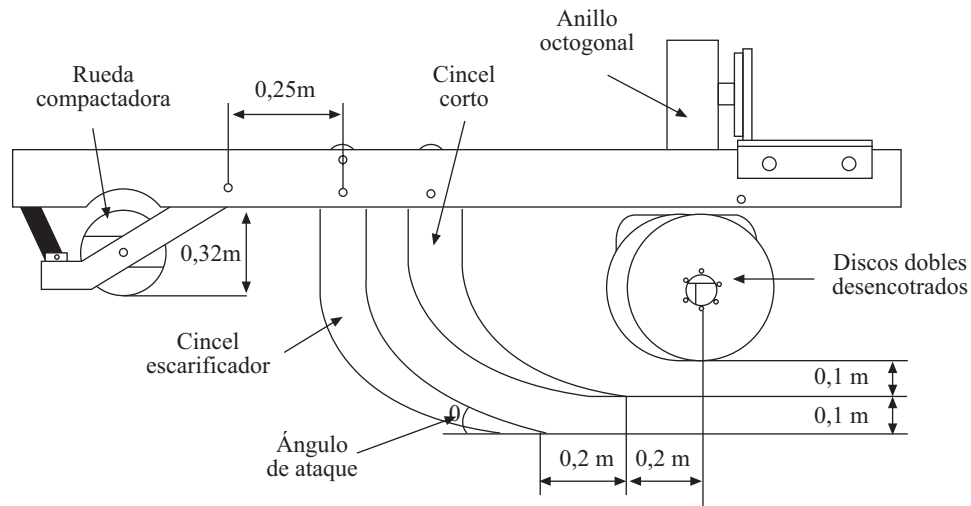


Figura 2. Esquema de la disposición de las herramientas evaluadas en la caja de suelo.
Figure 2. Schematic representation of the layout of the tillage tools tested in the soil bin.

El diseño estadístico adoptado fue de bloques al azar, con siete tratamientos y cuatro repeticiones para cada tratamiento: (a) disco doble, Dd; (b) cincel corto, Cc; (c) cincel escarificador, Ce; (d) disco doble y cincel corto, DdCc; (e) disco doble y cincel escarificador, DdCe; (f) disco doble, cincel corto y cincel escarificador, DdCcCe; (g) cincel corto y cincel escarificador, CcCe. Los datos obtenidos para los parámetros estudiados en los tratamientos fueron analizados mediante la prueba de Tukey (5% de probabilidad).

Para el análisis de las fuerzas horizontal (F_h) y vertical (F_v) se utilizó un anillo octogonal extendido, diseñado y construido por Magalhães y Souza (1990), cuyas características estáticas de trabajo fueron: fuerza horizontal máxima de 19,6 kN; fuerza vertical máxima de 7,84 kN y un momento máximo de 13,05 kN m; error total combinado para compresión de 1,4% para la fuerza horizontal y de 2,08% para la fuerza vertical. Este anillo octogonal consta de ocho extensiómetros (strain gauge) y la medición de las fuerzas se realiza en forma indirecta a través del momento resultante que actúa sobre el anillo octogonal, considerando que tanto las fuerzas horizontal y vertical actúan en un punto dado de la herramienta, como se observa en la Figura 3.

Este anillo octogonal se encontraba conectado a acondicionador de señales (Spider8, Hottinger Baldwin, Messtechnik, Dinamarca), para realizar la adquisición de datos a una tasa de 400 Hz. Para el cálculo del área disturbada (A_m) y de la profundidad de trabajo (P_t), se utilizó un perfilómetro de 80 varillas, distanciadas 10 mm entre sí, realizando las lecturas después de cada ensayo (Figura 4). La resistencia específica (R_E), definida como fuerza media horizontal por unidad de área de suelo disturbado, fue determinada con los datos obtenidos para cada tratamiento. Los ensayos fueron realizados a una velocidad aproximada de $0,5 \text{ m s}^{-1}$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presentan los resultados medios obtenidos para los parámetros evaluados en cada tratamiento del presente estudio.

Fuerza horizontal. Los tratamientos CcCe, DdCcCe, Ce y DdCe, cuya característica común fue la presencia del cincel escarificador, presentaron los mayores valores de fuerza horizontal, pero no difirieron estadísticamente entre sí (Cuadro 1), concordando con trabajos realizados por Spoor y Godwin (1978), quienes compararon el desempeño de la combinación cincel corto-

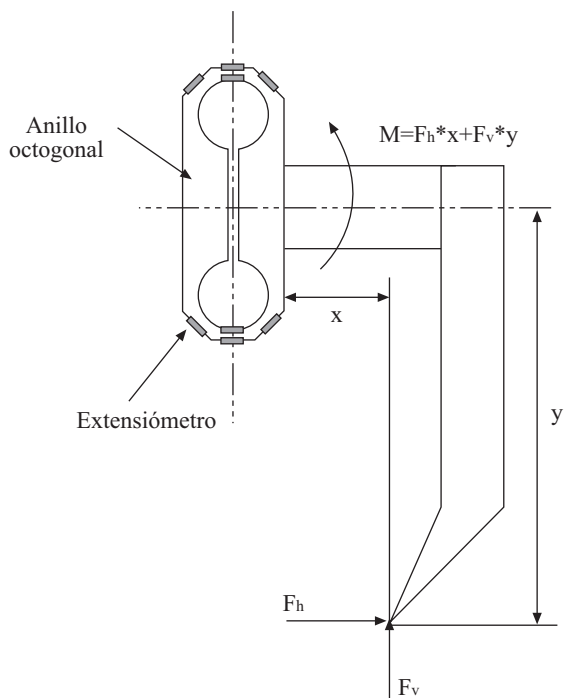


Figura 3. Disposición del anillo octogonal para la medición de fuerzas en herramientas. M = Momento; F_h = Fuerza de tracción; F_v = Fuerza vertical; x = distancia horizontal del punto de aplicación de la fuerza y el centro del transductor; y = distancia vertical del punto de aplicación de la fuerza y el centro del transductor.

Figure 3. Layout of the octagonal ring for the force measurements on the tools. M = moment; F_h = draft force ; F_v = vertical force; x = horizontal distance between the force application point and the center of the transducer; y = vertical distance between the force application point and the center of the transducer.

subsolador y del subsolador trabajado individualmente. También se observó que el uso de discos dobles en combinación con cinceles, disminuye los requerimientos de fuerza, es decir, la configuración CcCe requerirá 24,85% más potencia que la configuración DdCcCe. De igual forma, el tratamiento Ce requerirá 12,18% más potencia adicional que el tratamiento DdCe. Los tratamientos DdCc y Cc, presentaron valores intermedios. Por último, el tratamiento Dd presentó el menor valor de fuerza horizontal, coincidiendo con los datos obtenidos por Coelho (1998).

Fuerza vertical. La fuerza vertical presentó grandes variaciones, ocasionadas tanto por la geometría de las herramientas analizadas como por la profundidad de trabajo de los diferentes tratamientos. Los valores positivos representan una

fuerza ascendente como se observa en el tratamiento Dd (Cuadro 1), la cual disminuyó en los tratamientos que presentan combinaciones de discos dobles y cinceles, hasta registrar valores negativos, indicando una fuerza vertical de succión, comportamiento que es normal en cinceles y subsoladores, como se observó en los tratamientos Cc, Ce y CcCe. El comportamiento de la fuerza vertical en los tratamientos DdCc, DdCe y DdCcCe, favoreció la penetración de los discos dobles, característica que ayuda al corte de residuos por parte de los discos y la distribución localizada de fertilizante. En base a la fuerza vertical obtenida para Dd, se concluyó que los tratamientos DdCc, DdCe y DdCcCe disponen respectivamente de 0,72; 1,12; y de 1,20 kN adicionales para corte de residuos en la superficie.



Figura 4. Esquema del perfilómetro para determinar el área disturbada por las herramientas.
Figure 4. Schematic representation of the profile-meter to determine the area disturbed by the tools.

Cuadro 1. Comparación de medias de los parámetros estudiados. Ensayo discos dobles y cincelos.
Table 1. Mean value comparison of evaluated parameters. Double disks and chisel trial.

Tratamiento	Parámetro				
	F_h , kN	F_v , kN	A_m , m ²	P_t , m	R_E , kPa
Dd	0,73 d	1,17 a	0,0046 c	0,078 c	166,39 a
Cc	1,30 cd	-0,99 bc	0,0385ab	0,200 b	34,06 b
Ce	2,35 ab	-1,69 cd	0,0545 a	0,266 a	44,50 b
DdCc	1,83 bc	0,45 a	0,0290 b	0,184 b	67,87 b
DdCe	2,09 abc	0,05 ab	0,0515 a	0,281 a	41,61 b
DdCcCe	2,39 ab	-0,03 ab	0,0491 a	0,288 a	49,18 b
CcCe	2,99 a	-2,82 d	0,0473 a	0,276 a	64,02 b
CV, %	21,3	-98,9	19,3	10,9	38,3

Valores seguidos de letras distintas en cada columna indican diferencias significativas, según prueba de Tukey ($P < 0,05$).

Dd: disco doble; Cc: cincel corto; Ce: cincel escarificador; DdCc: disco doble y cincel corto; DdCe: disco doble y cincel escarificador; DdCcCe: disco doble, cincel corto y cincel escarificador; CcCe: cincel corto y cincel escarificador.

F_h : fuerza horizontal; F_v : fuerza vertical; A_m : área disturbada; P_t : Profundidad de trabajo; R_E : resistencia específica. CV: coeficiente de variación.

Área de suelo disturbada. El tratamiento Dd presentó diferencia significativa con los otros tratamientos y mostró el valor menor. Los tratamientos con cincel escarificador no presentaron diferencias significativas entre sí y mostraron las mayores áreas de suelo disturbada (Cuadro 1). Este comportamiento fue semejante al encontrado por Coelho (1998) cuando verificó que combinaciones disco-cincel presentan una mayor movilización del suelo que el uso de discos dobles trabajados individualmente. Por otra parte, el uso

de disco doble o de un cincel menor en la frente de un cincel escarificador, disminuye el área de suelo disturbada, como se observó al comparar el tratamiento Ce (0,0545 m²) y los tratamientos con combinaciones del cincel escarificador: DdCe (0,0515 m²), DdCcCe (0,0491 m²) y CcCe (0,0473 m²). De igual manera sucedió entre los tratamientos Cc (0,0385 m²) y DdCc (0,0290 m²), concordando con resultados encontrados por Godwin y Spoor (1984), lo cual puede contribuir a una menor remoción de residuos superficiales.

Profundidad de trabajo. Se presentaron tres grupos relacionados con las profundidades de trabajo buscadas para cada uno de ellos. El primero estaba compuesto por los tratamientos que tenían cincel escarificador, que lograron la mayor profundidad y no difirieron significativamente entre sí (Cuadro 1). La profundidad máxima se presentó en los tratamientos DdCcCe y DdCe, comportamiento que se debió a la acción previa realizada sobre el suelo por las herramientas que se encuentran en frente del cincel escarificador. Esta característica favoreció el corte de residuos, ya que a una mayor profundidad de trabajo de los discos, se aumenta el porcentaje de residuos cortados en la superficie (Kushwaha *et al.*, 1986). El segundo grupo estaba formado por los tratamientos Cc y DdCc, los cuales presentaron profundidades intermedias y no difirieron entre ellos, pero sí con los otros tratamientos analizados. El tercer grupo, formado por el tratamiento Dd, presentó diferencia significativa con todos los tratamientos y la menor profundidad de trabajo (0,078 m), siendo menor que lo previsto para este ensayo (0,10 m). Esto sugirió que para mejorar la penetración de los discos dobles se debe aumentar el diámetro de los discos o aumentar el peso sobre ellos, de acuerdo a los resultados encontrados por Gill *et al.* (1982).

Resistencia específica. La resistencia específica del tratamiento Dd presentó diferencias significativas con respecto a los otros tratamientos (Cuadro 1). Los tratamientos restantes no difirieron entre sí reportando valores entre 67,87 kPa para DdCc y 34,06 kPa para Cc, siendo este tratamiento el que reportó la menor resistencia específica. Se concluyó, por tanto, que para movilizar una

misma cantidad de suelo, los discos dobles trabajando individualmente requieren de mayor fuerza horizontal que los cinceles, debido a la mayor área de contacto lateral entre los discos y el suelo, lo cual dificulta su penetración.

CONCLUSIONES

- Los discos dobles presentaron la menor fuerza horizontal, menor profundidad de trabajo, menor área de suelo disturbado y la mayor resistencia específica.
- La configuración compuesta por el cincel corto y el cincel escarificador, presentó los mayores requerimientos de fuerza horizontal y de fuerza vertical de succión.
- La presencia de discos dobles y/o de un cincel corto en frente al cincel escarificador, no aumenta los requerimientos de fuerza horizontal, no afecta la profundidad ni aumenta significativamente la profundidad de trabajo.
- La combinación de discos dobles y de cinceles escarificador, se presentan como alternativas para prácticas de cultivo, ya que el comportamiento de la fuerza vertical facilitaría el corte de residuos en la superficie, además de permitir el manejo de capas compactadas a una mayor profundidad sin aumentar los requerimientos de potencia.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Fundación de Auxilio a la Investigación del Estado de São Paulo (FAPESP), por los recursos entregados para el desarrollo del presente trabajo.

LITERATURA CITADA

- Bianchini, A., P.S.G. Magalhães, e O. Braunbeck. 2001. Cultivo do solo em área de cana-de-açúcar. Revista STAB (Piracicaba) 19:6-8.
- Castro, C. de, A. Balla, V.B. Castiglioni, e G.J. Sfredo. 1999. Doses e métodos de aplicação de nitrogênio em girassol. Scientia Agrícola (Piracicaba) 56:4.
- Chaudhuri, D. 2001. Performance evaluation of various types of furrow openers on seed drills: a review. J. Agric. Eng. Res. 79:125-137.
- Chichester, F.W., J.E. Morrison, and T.J. Gerik. 1985. Minimum disturbance fertilizer knifing for no-till. Trans. ASAE 28:1013-1018.
- Coelho, J.L.D. 1998. Avaliação de elementos sulcadores para semeadora-adubadoras utilizadas em sistemas conservacionistas de manejo do solo. 71 p. Tesis Maestría Ingeniería Agrícola. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, Sao Paulo, Brasil.

- Gill, W.R., A.C. Bailey, and C.A. Reaves, 1982. Harrow disk curvature – Influence on soil penetration. *Trans. ASAE* 25:1180-1180.
- Godwin, R.J., and G. Spoor. 1984. The effect of tine arrangement on soil forces and disturbance. *J. Agric. Eng. Res.* 30:47-56.
- Kluthcouski, J., A.L. Fancelli, D. Dourado-Neuto, C.M. Ribeiro, e L.A. Ferraro. 2000. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. *Scientia Agrícola (Piracicaba)* 57:1.
- Kushwaha, R.L., A.S. Vaishnav, and G.C. Zoerb. 1986. Soil bin evaluation of disc coulters under no-till crop residue conditions. *Trans. ASAE* 29:40-44.
- Lanças, K.P. e S.H. Benez. 1988. Influência da velocidade de subsolagem no consumo de combustível e na área mobilizada do solo. *Energia na Agricultura (Botucatu)* 3:25-30.
- Magalhães, P.S.G., e W.R. Souza. 1990. Subsolador: Influência de parâmetros geométricos no mecanismo de forças. 2:1033. XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Piracicaba, Sao Paulo, Brasil, Julio de 1990. Sociedad Brasileira de Ingenieria Agrícola, Jaboticabal, Sao Paulo, Brasil.
- Portella, J.A. 1989. Máquinas e implementos para plantio direto e cultivo mínimo. p. 143-155. II Encontro paulista de plantio direto, Assis, Outubro 14/07. UNESP, Assis, Brasil.
- Rahman, S., and Y. Chen. 2001. Laboratory investigation of cutting forces and soil disturbance resulting from different manure incorporation tools in a loamy sand soil. *Soil Tillage Res.* 58:19-29.
- Spoor, G., and R.J. Godwin. 1978. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. *J. Agric. Eng. Res.* 26:477-497.
- Staut, L.A., e C.H. Kurihara. 1998. Calagem, nutrição e adubação. p. 51-69. *In* Embrapa Agropecuária Oeste, Embrapa Algodão. Algodão: informações técnicas. Dourados EMBRAPA CPAO, Campina Grande, Sao Paulo, Brasil.
- Wildman, W.E., C.A. Reaves, and W.R. Gill. 1978. Effect of slip plow design on draft forces and soil loosening. *Trans. ASAE* 21:422-426.