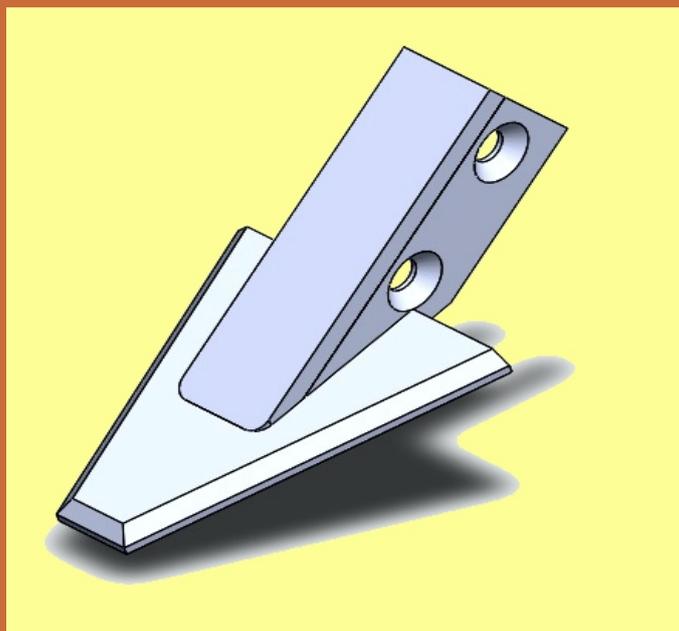


Evaluación de distintos diseños de púas de escarificadores de arco rígido para un escarificador de labranza en franjas

Mario O. Tesouro / Juan M. Ferreyra / Marcos A. Roba / Otto E. Neiman / Ángel Romito

Instituto de Ingeniería Rural - CIA - CNIA - INTA Castelar
Laboratorio de Terramecánica e Implantación de Cultivos

Informe Técnico N° 24
Diciembre 2014



Ediciones

Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



Informe Técnico Nº 24
ISSN 1852-3080
Diciembre 2014

Evaluación de distintos diseños de púas de escarificadores de arco rígido para un
escarificador de labranza en franjas

Programa Nacional de Cultivos Industriales

Proyecto Integrador
Estrategias de manejo de sistemas productivos resilientes

Proyecto Específico
Optimización del ciclo de vida de los cultivos industriales

Módulo
Alternativas tecnológicas y optimización de los sistemas de manejo en cultivos industriales.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

Instituto de Ingeniería Rural

Editor responsable: Ing. Agr. Mario Omar Tesouro

Av. Pedro Díaz 1798
Hurlingham - Buenos Aires - Argentina
C.C. 25 B1712 JHB Castelar
Tel/fax 4665-0495

iir.cd@inta.gob.ar
www.inta.gob.ar/unidades/222000

ÍNDICE GENERAL

Resumen	2
1. Introducción	3
2. Materiales y Métodos	5
3. Resultados y Discusión	7
3.1 Sección alterada	7
3.2 Tracción	9
3.2 Esfuerzo específico	11
4. Consideraciones Finales	14
5. Referencias Bibliográficas	15

EVALUACIÓN DE DISTINTOS DISEÑOS DE PÚAS DE ESCARIFICADORES DE ARCO RÍGIDO PARA UN ESCARIFICADOR DE LABRANZA EN FRANJAS.

RESUMEN

Con el objetivo de optimizar el alistamiento del dispositivo de labranza en franjas utilizado en el cultivo de caña de azúcar, se evaluó la eficiencia energética de distintos diseños de púas. Se relacionó la demanda de tracción con el efecto ocasionado en el suelo con los diferentes órganos activos. Se probaron púas de 100 mm y 140 mm de ancho, con ángulos de incidencia de 6°, 10°, 14° y 18°. La sección de suelo alterada no varió sensiblemente al modificar el ancho de las púas. El ángulo de incidencia, la profundidad de trabajo, la humedad y la resistencia mecánica del suelo fueron los factores que más influenciaron la sección del suelo alterada. Las variaciones de la fuerza de tracción y del esfuerzo específico se relacionaron estrechamente con los distintos contenidos de humedad del suelo.

1. INTRODUCCIÓN

A diferencia de lo sucedido en la mayoría de los cultivos argentinos, en los que los sistemas tradicionales de manejo dieron paso a planteos productivos conservacionistas, en el cultivo de la caña de azúcar los sistemas tradicionales mantienen su vigencia. En este escenario, la secuencia de labores tiene una incidencia aproximada de entre un 30 y un 35 % en los costos de producción (Márgenes Agropecuarios. 2007, 2010).

Una vez finalizado el período de aprovechamiento del cultivo, se realiza el descepe o borrado de los surcos mediante dos pasadas de rastra excéntrica. Con esta operación se busca nivelar la superficie del área de cultivo. Posteriormente se rotura el suelo, utilizando en general escarificadores de arco flexible, hasta alcanzar profundidades de trabajo superiores a los 30 cm. Con estas labores se inicia la preparación de la cama de siembra, que será concluida con rastra y rolo. Es habitual intercalar un cultivo de soja antes de volver a iniciar un ciclo de caña, como única rotación agrícola (Valeiro y Sopena, Comunicación personal. 2012). Luego de la cosecha de la soja, el suelo es nuevamente roturado para facilitar la conformación de los surcos donde va a ser depositada la caña semilla. Una vez efectuada la plantación y realizado el primer corte de aprovechamiento, la secuencia de trabajos culturales que abarca la actual tecnología de cultivo incluye, entre otros, la remoción profunda de los entresurcos. Con esta labor se busca mitigar la compactación de la trocha (entresurco) ocasionada por el tránsito de la maquinaria, principalmente la provocada durante el período de cosecha. Sin embargo, los estudios realizados por investigadores del Laboratorio de Terramecánica e Implantación de Cultivos del Instituto de Ingeniería Rural (IIR-INTA Castelar) en establecimientos ubicados en el área de influencia de la EEA Famallá (provincia de Tucumán), indican que ese objetivo dista mucho de ser alcanzado. Los resultados obtenidos demuestran que, por el contrario, se produce un efecto inverso evidenciado por una mayor resistencia mecánica en la zona periódicamente laboreada respecto de las líneas de cultivo, que no son alteradas durante todo el ciclo productivo (Tesouro et al. 2011). Este efecto contraproducente de la labranza puede ser explicado por la pérdida de la capacidad portante que sufre el suelo al ser disturbado, que lo hace más vulnerable a las altas cargas normales a la que es luego sometido como consecuencia del tránsito. Se inicia así un proceso cíclico de roturación y recompactación que provoca una paulatina densificación del suelo. En la totalidad de los casos evaluados se obtuvieron en la trocha, índices de cono superiores a 4000 kPa, a tan sólo 10 cm de profundidad y con los contenidos de humedad normales a los cuales se rotura el suelo. Es oportuno mencionar, que a partir de los trabajos de Taylor (1974) se admite que índices de cono

superiores a los 2000 kPa representan una restricción mecánica al desarrollo radicular de los cultivos. Similares observaciones fueron realizadas por Soares et al. (2005) en establecimientos cañeros de Brasil, quienes concluyeron que las cargas ejercidas por el tránsito de la maquinaria y el sistema de labranza de los lotes generaron un desarreglo en la estructura porosa y otras alteraciones del estado físico del suelo.

Las determinaciones energéticas realizadas en el mismo estudio permitieron establecer que los coeficientes de labranza, esto es la relación entre la fuerza requerida y la sección de suelo disturbada, obtenidos sobre los molisoles de las localidades de Cruz Alta y Leales, superaron holgadamente a los que pueden alcanzarse en los suelos vérticos que son los que demandan las mayores cantidades de energía durante el laboreo. Estas observaciones fueron realizadas tanto en los trabajos de implantación como en los de cultivo. Aunque la condición física del suelo y los parámetros operativos sean los principales factores al momento de explicar la gran cantidad de energía puesta en juego, también es importante considerar la escasa aptitud de la maquinaria empleada en estas operaciones. En efecto, la gran profundidad de trabajo a las que se realizan las labores supera el umbral de profundidad crítica de sus órganos activos, a partir del cual no se alcanza la fractura deseada del suelo sino por el contrario, se produce su deformación plástica (Ortiz Cañavate y Hernánz, 1988). Los coeficientes de labranza observados explican en gran medida los elevados consumos de combustible registrados durante la etapa agrícola.

El ángulo de ataque de las herramientas de labranza vertical modifica la demanda energética (Ashburner y Sims, 1984). En un estudio realizado sobre un suelo argiudol para evaluar púas angostas sin alas, Tong y Moayad (2006) concluyeron que mientras el ángulo de ruptura del suelo se redujo al incrementar el ángulo de ataque, la demanda energética cayó cuando se aumentó de los 15° a los 45°, para luego volver a aumentar cuando se siguió aumentando hasta los 75°. Los autores comprobaron además, que la demanda tractiva aumentaba con el aumento de la densidad aparente.

Las alas anexadas en las púas modifican el área disturbada. En el trabajo de Spoor y Godwin (1978) se grafican dichas interacciones y concluyen que cuando las modificaciones en el diseño de las alas duplican el área disturbada la demanda de tracción aumenta en un 30%, mientras que la resistencia específica se reduce. Claramente, encontrar la configuración adecuada que permita obtener la mayor sección de suelo efectivamente laboreada con el menor esfuerzo es fundamental para obtener el menor coeficiente de labranza, con la consiguiente reducción en la

demanda energética de la labor. Además, la condición del suelo también modifica su efecto, debiéndose elegir el diseño adecuado para cada situación (Ashburner y Sims, 1984; Ortiz Cañavate y Hernánz, 1988; Godwin, 2007).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la demanda de tracción y el esfuerzo específico de distintos diseños de púas de escarificadores de arco rígido de bajo ángulo de incidencia.

2. MATERIALES Y METODOS

Se fabricaron 8 púas con forma de triángulo isósceles de diferente diseño. Cuatro de ellas poseen en su base mayor un ancho de 100 mm y las otras cuatro tienen un ancho de 140 mm. A cada ancho le corresponden ángulos de incidencia de 6°, 10°, 14 y 18° (Figura 2.1).

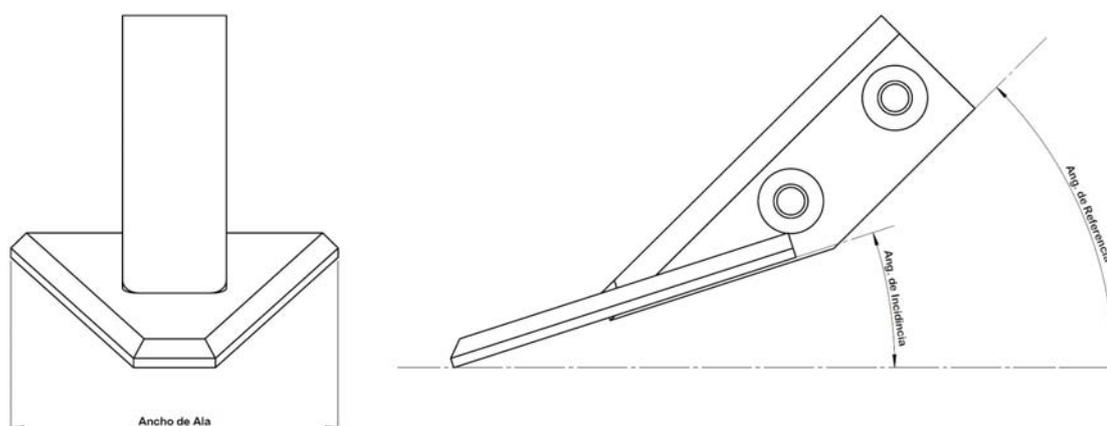


FIGURA 2.1: Esquema y referencias de las púas utilizadas en el ensayo

Para seleccionar los diseños de mayor aptitud en base a un criterio de eficiencia energética, se utilizó un instrumento de captura triaxial de fuerzas diseñado y desarrollado en el Laboratorio de Terramecánica e Implantación de Cultivos (IIR-INTA Castelar). Este dispositivo permite medir las reacciones del suelo sobre el órgano activo en los sentidos axial, vertical y transversal a la dirección de avance como así también, la velocidad de avance y la profundidad de trabajo instantáneas. El procedimiento de prueba consistió en hacer trabajar cada uno de los órganos activos a lo largo de parcelas de 100 metros de longitud. El surco generado en el suelo constituye la unidad experimental. La demanda de fuerza requerida en los tres ejes a lo largo de esa trayectoria, es captada por las celdas de carga electrónicas del instrumento y almacenadas a intervalos de un segundo en un sistema electrónico de registro de datos. Cada medición se repite

cuatro veces sobre parcelas homogéneas del campo experimental. Para minimizar el error experimental ocasionado por las variaciones que puede presentar la condición del suelo, los surcos se aparean al azar. En todos los casos se incluyó como testigo un modelo de púa sin alas ya evaluado por el mencionado laboratorio en diferentes condiciones, a fin de establecer el parámetro de base y la ganancia en eficiencia.

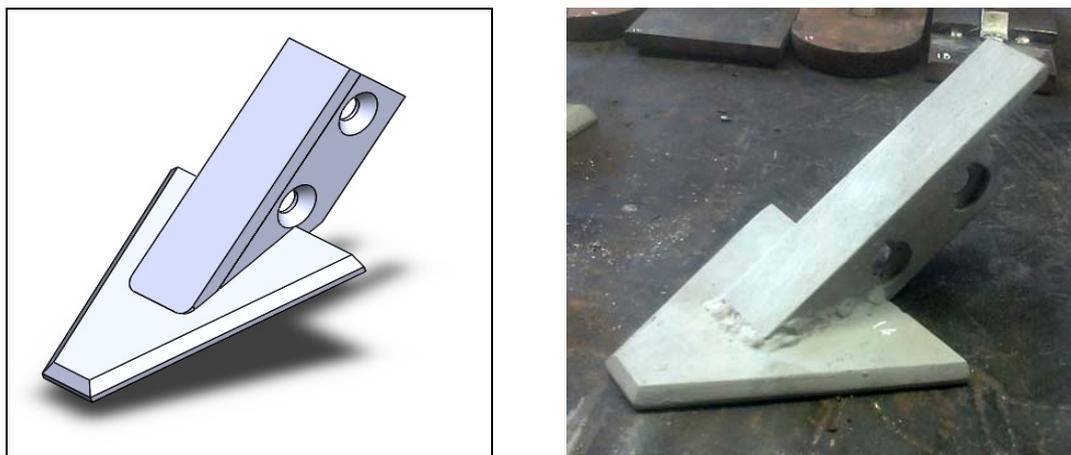


Figura 2.2: Izquierda: Perspectiva isométrica. Derecha: Púa terminada

En forma complementaria a la medición de la demanda de tracción, se evaluó el efecto ocasionado en el suelo por cada uno de los diseños. Para tal fin se relevan algunos parámetros físicos antes y después de haber realizado los surcos, a saber: humedad gravimétrica, densidad aparente, resistencia a la penetración y el perfil cultural.



Figura 2.3: Perfilómetro utilizado para determinar la sección de suelo alterada

El análisis estadístico utilizado para comparar los coeficientes de labranza obtenidos se realizó mediante un ANVA factorial con submuestreo, para un diseño en bloques completos

aleatorizados. La contrastación entre ellos se efectuó utilizando la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha= 0,05$).

Inmediatamente después de realizada la labor sobre las mismas transectas, se evaluó el perfil de resistencia del suelo y el micro relieve generado luego del pasaje de la máquina. Una vez concluidas estas actividades, se cavaron trincheras a lo largo de las transectas, a fin de extraer el suelo disturbado y cuantificar la sección de suelo alterada en planos perpendiculares a la trayectoria de la máquina.

Relacionando la sección de suelo alterada con la demanda de tracción se obtuvieron los coeficientes de labranza, los cuales se utilizan como indicadores de la eficiencia energética de la labor evaluada, expresada en kilo Pascales (kPa). Para evaluar el efecto de los diseños sobre la sección de suelo alterado, se efectuaron análisis de correlación y planos de regresión utilizando como variables independientes el ángulo de incidencia de las púas, la profundidad efectiva de trabajo, la humedad y la resistencia mecánica del suelo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Sección alterada

Ashburner y Sims (1984) muestran que el volumen de suelo alterado por un diente angosto depende de tres factores: profundidad de trabajo, el largo de ruptura y el ancho de la zona alterada. El incremento de la profundidad de operación, no aumenta en forma proporcional el volumen de suelo alterado. En el caso de las púas con alas, Godwin (2007) señaló que su geometría modificaba el tipo de efecto sobre el suelo, duplicando su área de trabajo con un aumento no proporcional de la demanda de tracción, dado que esta herramienta reduce su resistencia específica. Este efecto también depende del estado de agregación por lo cual se genera menor disturbación en los suelos sueltos.

En el caso de este ensayo, la sección de suelo alterada, medida con el perfilómetro, no fue significativamente afectada por el ancho de la púa utilizada. Los promedios obtenidos fueron de 2,20 dm² y de 2,25 dm² con la púa de 100 mm y con la de 140 mm de ancho respectivamente ($F=0,07$; $Pr>F= 0,7931$). Sin embargo, al comparar la variación de la resistencia mecánica del suelo entre los sitios sin disturbar y en la sección de suelo alterada con ambos anchos de púa, se obtuvo una reducción de 297 kPa con la 100 mm y de 422 kPa con la de 140 mm ($F=3,69$; $Pr>F= 0,0642$).

Variable dependiente	Variables independientes				
	Grados	Prof	Ancho	Hum	Inalt
Sección de suelo alterada	0,3939	-0,6482	0,0482	-0,4317	-0,2605

TABLA 3.1.1: Coeficientes de correlación entre la sección de suelo alterada (dm^2) y algunas variables geométricas, ambientales y operativas. Referencias: Grados: ángulo de incidencia de las púas ($^\circ$); Prof: Profundidad efectiva de trabajo (con valores negativos en mm); Ancho: ancho de las púas (mm); Hum: humedad del suelo en un rango de profundidad de 0 a 200 mm (%); Inalt: índice de cono del perfil del suelo en rango de profundidad de 0 a 200 mm (kPa).

Diversas variables geométricas, del ambiente y operativas, afectaron el desempeño de los dos tipos de púas. Según Ashburner y Sims (1984) la fuerza de tracción se ve muy influida por el ángulo de ataque y por el ancho del diente, afectando el volumen de suelo alterado. Según estos autores, la tracción aumenta ligeramente en el rango de 10 a 50° , pero ángulos mayores presentan un incremento mayor.

Los análisis de correlación efectuados indican la dependencia de la sección del suelo alterada con el ángulo de incidencia, la profundidad de trabajo, la humedad y la resistencia mecánica del suelo (Tabla 3.1.1). Se probaron diferentes modelos de regresión, efectuando distintas combinaciones de dichas variables. El resultado del modelo que incluye a las tres variables con mayores niveles de correlación se detalla en la tabla 3.1.2 y su representación gráfica como plano de regresión, puede observarse en la figura 3.1.1.

Variable	Parámetro estimado	Error estándar	Valor "t"	Pr>t	VIF
Término indep	2,45095	1,01149	2,42	0,0221	0,00000
Grados	0,03042	0,01293	2,35	0,0259	1,03058
Prof	-0,01407	0,00304	-4,62	<0,0001	1,04686
Hum	-0,08395	0,02946	-2,85	0,0081	1,02122
F= 14.93 Pr>F= <0,0001 CME= 0,1038 R ² = 0,62					

TABLA 3.1.2: Regresión obtenida entre la sección de suelo alterado (dm^2) y el ángulo de incidencia de las púas, la profundidad efectiva de trabajo y la humedad del suelo. Referencias: Grados: ángulo de incidencia de las púas ($^\circ$); Prof: Profundidad efectiva de trabajo (con valores negativos en mm); Hum: humedad del suelo en el rango de profundidad de 0 a 200 mm (%); CME: cuadrado medio del error. VIF: factor de incremento de la varianza.

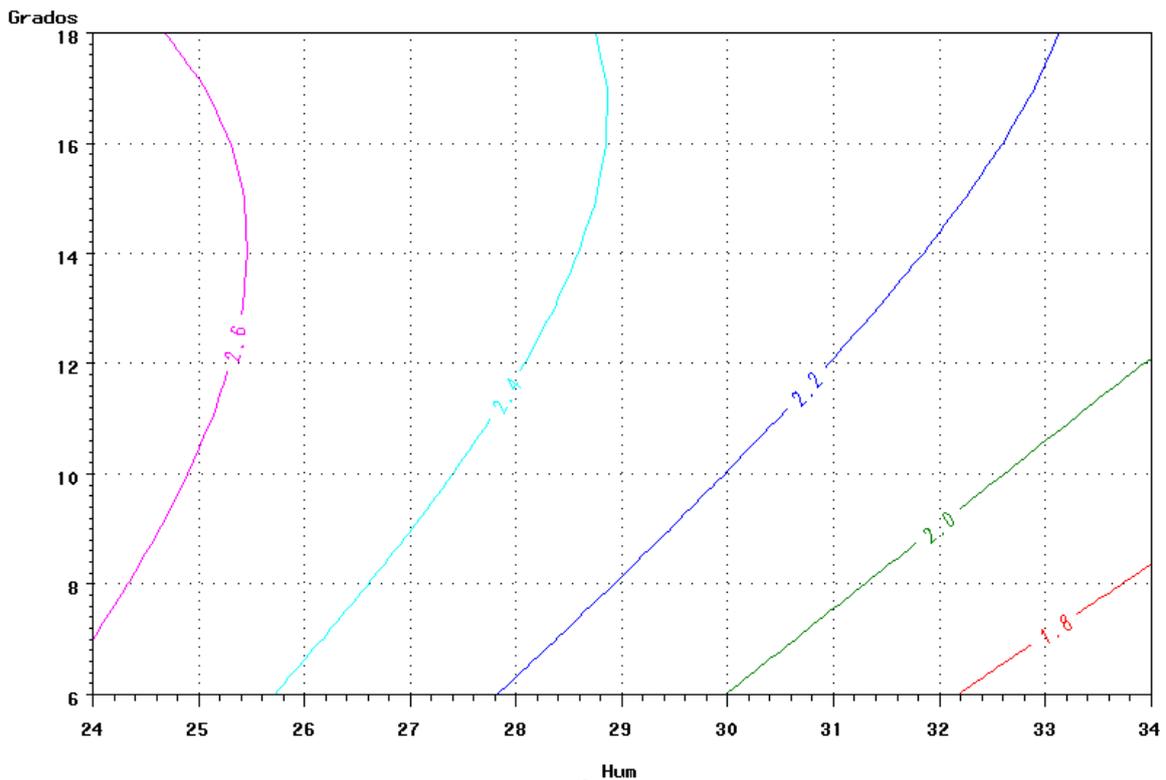


FIGURA 3.1.1: Sección de suelo alterada (dm^2) en función de la humedad del suelo y el ángulo de incidencia de las púas, a una profundidad efectiva de trabajo de 135 mm. Referencias: Grados: ángulo de incidencia de las púas ($^\circ$); Hum: humedad gravimétrica promedio del suelo en un rango de 0 a 200 mm (%).

La sección de suelo alterada tendió al máximo al utilizar púas con un ángulo de incidencia de 14° cuando los contenidos de humedad del suelo fueron mínimos. La sección de suelo alterada se reduce con mayores niveles de humedad, pero para un contenido hídrico dado, tiende a incrementarse a medida que lo hace el ángulo de incidencia de la púa. La mínima sección se correspondió con humedades máximas y ángulos de incidencia mínimos. Si bien el estudio que fue realizado por Solhjou et al. (2012) se desarrolló en condiciones de laboratorio y con un nivel de humedad del 11%, los resultados destacados coinciden con los mostrados en este estudio. En dicha evaluación, la labranza fue más eficiente cuando los ángulos aumentaron hasta los 35° inclusive.

3.2 Tracción

La demanda de tracción no fue significativamente afectada por el ancho de la púa utilizada, alcanzando en promedio 98,19 kg y 104,07 kg con las de 100 mm y 140 mm de ancho respectivamente ($F=0,87$; $Pr>F= 0,3584$). Las relaciones de este parámetro con variables geométricas, ambientales y de operación se presentan en la tabla 3.2.1. Las variables explicativas con mayores niveles de significación fueron la humedad del suelo, en el rango profundidad de 0 a

200 mm, seguida por el ángulo de incidencia de las púas. No obstante, el modelo de regresión con mejor ajuste incluyó también la profundidad efectiva de trabajo y la resistencia del suelo (Tabla 3.2.2).

Variable dependiente	Variables independientes				
	Grados	Prof	Ancho	Hum	Inalt
Tracción	0,3420	-0,2020	0,1679	0,6222	0,1811

TABLA 3.2.1: Coeficientes de correlación entre la demanda de tracción (kg) y algunas variables geométricas, ambientales y operativas. Referencias: Grados: ángulo de incidencia de las púas (°); Prof: Profundidad efectiva de trabajo (con valores negativos en mm); Ancho: ancho de las púas (mm); Hum: humedad del suelo en un rango de profundidad de 0 a 200 mm (%); Inalt: índice de cono del perfil del suelo en el rango de profundidad de 0 a 200 mm (kPa).

Variable	Parámetro estimado	Error estándar	Valor "t"	Pr>t	VIF
Término indep	-122,4734	36,09179	-3,39	0,0021	0,00000
Grados	1,70578	0,47983	3,55	0,0014	1,06213
Inalt	0,02428	0,01066	2,28	0,0309	1,12611
Hum	5,49125	1,07718	5,10	<0,0001	1,02093
Prof	-0,18627	0,12666	-1,47	0,153	1,07619
F= 10,95 Pr>F= < 0,0001 CME= 138,73 R ² = 0,62					

TABLA 3.2.2: Regresión obtenida entre la demanda de tracción (kg) y el ángulo de incidencia de las púas, la resistencia del suelo, la humedad del suelo y la profundidad efectiva de trabajo. Referencias: Grados: ángulo de incidencia de las púas (°); Inalt: resistencia a la penetración en el rango de profundidad de 0 a 200 mm (kPa); Hum: humedad del suelo en el rango de profundidad de 0 a 200 mm (%); Prof: Profundidad efectiva de trabajo (con valores negativos en mm); CME: cuadrado medio del error. VIF: factor de incremento de la varianza.

El esfuerzo de tracción se incrementó con el contenido de humedad del suelo (Figura 3.2.1). Esta observación puede atribuirse a que prácticamente, la totalidad de las mediciones realizadas en este ensayo se efectuaron en el estado de consistencia plástica del suelo. Es esperable en estas condiciones, que el aumento de la humedad edáfica magnifique la adhesión del suelo sobre los órganos activos, incrementando la demanda de tracción. Esto coincide con lo observado por Godwin (2007) quién señaló que la condición del suelo afecta el tipo de falla para cada herramienta, siendo los suelos secos y densos los que tienden a producir mayores efectos que los suelos húmedos y sueltos.

El aumento del ángulo de incidencia de las púas también provocó un mayor esfuerzo de tracción, lo cual también coincide con lo hallado por Godwin (2007) quien señaló que este efecto se intensifica a mayor grado de humedad del suelo.

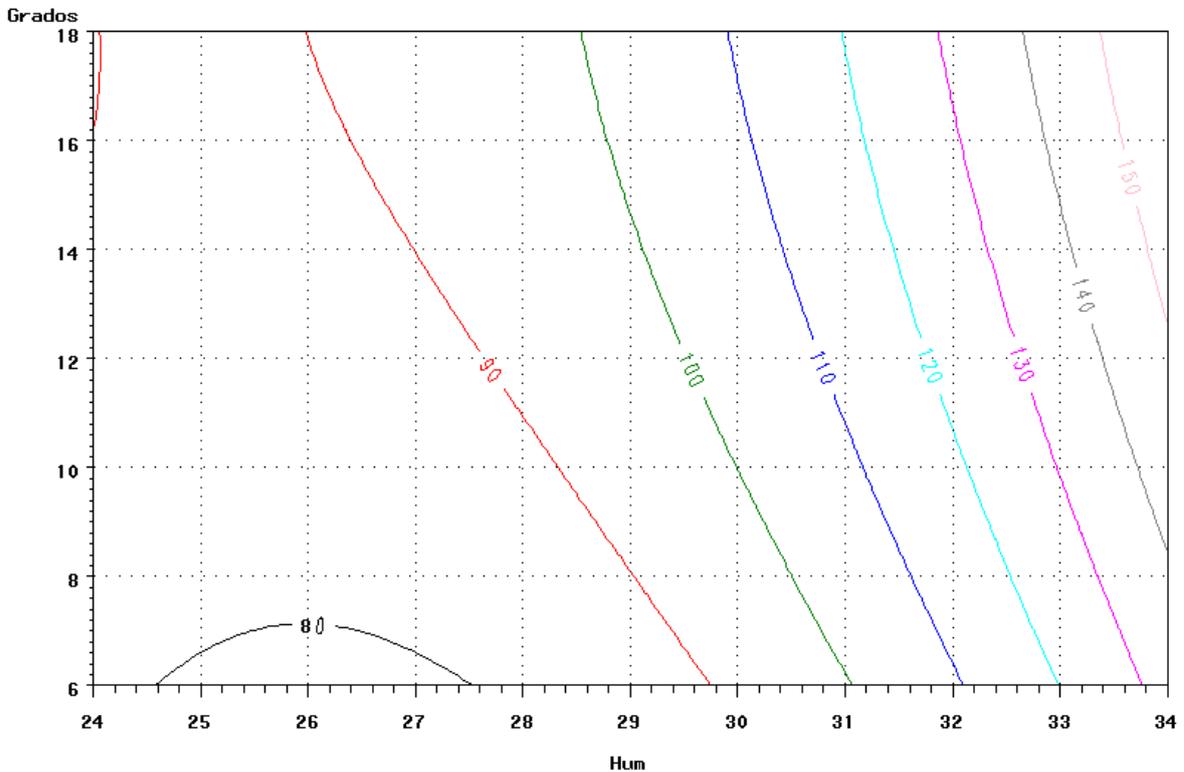


FIGURA 3.2.1: Demanda de tracción (kg) en función de la humedad y el ángulo de incidencia de las púas, a una profundidad efectiva de trabajo de 135 mm y una resistencia media del suelo de 700 kPa. Referencias: Grados: ángulo de incidencia de las púas (°); Hum: humedad gravimétrica promedio del suelo en un rango de 0 a 200 mm (%).

3.3 Esfuerzo específico

El esfuerzo específico no fue significativamente afectado por el ancho de la púa utilizada. Con las de 100 mm de ancho este parámetro alcanzó los 46,02 kPa mientras que, con las de 140 mm, el esfuerzo específico fue de 47,97 kPa ($F=0.17$; $Pr>F= 0,6856$).

Con excepción de la humedad del suelo, las variables explicativas utilizadas con la sección de suelo alterada y con la fuerza necesaria para generarla, presentaron escasa correlación con el esfuerzo específico (Tabla 3.3.1). Esto se contrapone con lo hallado por Morris et al. (2007) cuyos resultados de su estudio muestran que los desempeños de las púas fueron afectados principal y significativamente por el diseño, siendo las púas con alas las de mayor eficiencia.

Variable dependiente	Variables independientes				
	Grados	Prof	Ancho	Hum	Inalt
Esfuerzo específico	-0,1067	-0,1513	0,0744	0,5713	0,2377

TABLA 3.3.1: Coeficientes de correlación entre esfuerzo específico (kPa) y algunas variables geométricas, ambientales y operativas. Referencias: Grados: ángulo de incidencia de las púas (°); Prof: Profundidad efectiva de trabajo (con valores negativos en mm); Ancho: ancho de las púas (mm); Hum: humedad del suelo en un rango de profundidad de 0 a 200 mm (%); Inalt: índice de cono del perfil del suelo en el rango de profundidad de 0 a 200 mm (kPa).

Se observó una estrecha relación negativa entre el esfuerzo específico y la sección de suelo alterada ($R = -0,8436$), aunque esta última no fue incluida en el modelo por no considerarla una variable independiente.

El esfuerzo específico se incrementó con el contenido de humedad del suelo (Figura 3.3.1). Los resultados presentados en las tablas 3.3.1 y en la 3.3.2 indican la escasa incidencia del ángulo de las púas sobre el esfuerzo específico. Dicho resultado es esperable debido a que su incremento afectó de manera similar a la sección y a la tracción, cuando los contenidos de humedad del suelo no superaron el umbral del 29 al 30 %.

Variable	Parámetro estimado	Error estándar	Valor "t"	Pr>t	VIF
Término indep	-84,61067	34,10386	-2,48	0,0196	0,000000
Grados	-0,08364	0,4534	-0,18	0,855	1,06213
Hum	3,61613	1,01785	3,55	0,0014	1,02093
Inalt	0,01482	0,01007	1,47	0,1527	1,12611
Prof	-0,12025	0,11968	-1,00	0,3239	1,07619
F= 4,33	Pr>F= 0,0078	CME= 123,87	R ² = 0,39		

TABLA 3.3.2: Regresión obtenida entre el esfuerzo específico (kPa) y el ángulo de incidencia de las púas, la resistencia del suelo, la humedad del suelo y la profundidad efectiva de trabajo. Referencias: Grados: ángulo de incidencia de las púas (°); Inalt: resistencia a la penetración en el rango de profundidad de 0 a 200 mm (kPa); Hum: humedad del suelo en el rango de profundidad de 0 a 200 mm (%); Prof: Profundidad efectiva de trabajo (con valores negativos en mm); CME: cuadrado medio del error. VIF: factor de incremento de la varianza.

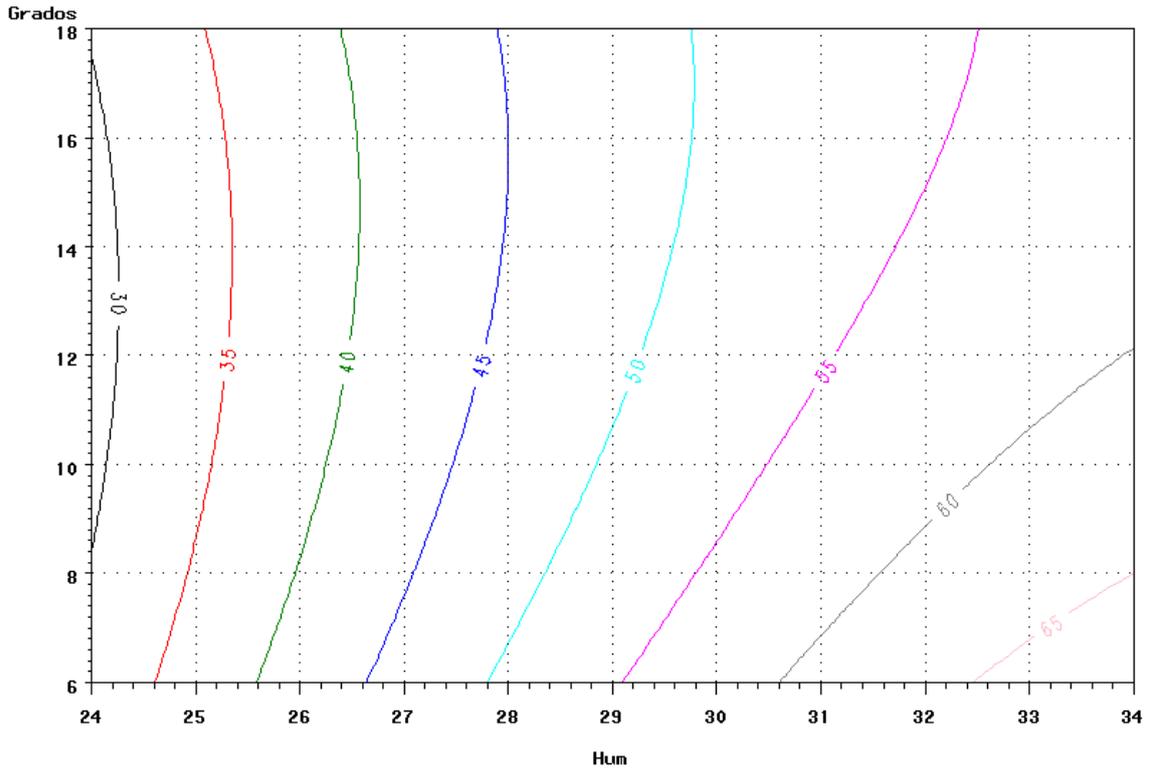


FIGURA 3.3.1: Esfuerzo específico (kPa) en función de la humedad y el ángulo de incidencia de las púas, a una profundidad efectiva de trabajo de 135 mm y una resistencia media del suelo de 700 kPa. Referencias: Grados: ángulo de incidencia de las púas (°); Hum: humedad gravimétrica promedio del suelo en un rango de 0 a 200 mm (%).

5. CONSIDERACIONES FINALES

Si bien, la sección alterada no varió con el ancho de las púas, con las de 140mm se manifestó una tendencia a alcanzar una reducción más acentuada de la resistencia del suelo en la sección disturbada. El ángulo de incidencia, la profundidad de trabajo, la humedad y la resistencia mecánica del suelo son los factores que afectaron significativamente la sección del suelo alterada.

La humedad del suelo, en el rango de profundidad de 0 a 200 mm, seguida por el ángulo de incidencia de las púas, la profundidad efectiva de trabajo y la resistencia del suelo son las variables que mejor explicaron las diferencias en la tracción.

En el caso de este ensayo, donde predominó el estado del suelo en consistencia plástica, el esfuerzo específico no se relacionó con el ángulo de las púas. Sí lo hizo con el grado de humedad del suelo. Es necesario seguir estudiando estas herramientas en otras condiciones de humedad del suelo.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ashburner, J. E. y B. G. Sims. 1984. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. IICA, Costa Rica. 474 pp.

Godwin, R. J. 2007. A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. *Soil & Tillage Research* 97. pp. 331–340

Márgenes Agropecuarios. 2007. Año 22 N° 262

Márgenes Agropecuarios. 2010. Año 26 N° 308

Morris, N. L., P.C.H. Miller, J.H. Orson and R. J. Froud-Williams. 2007. Soil disturbed using a strip tillage implement on a range of soil types and the effects on sugar beet establishment. *Soil Use and Management* 23; pp. 428–436 doi: 10.1111/j.1475-2743.2007.00128.x

Ortiz-Cañavate, J. y J. L. Hernánz. 1988. Técnica de la mecanización agraria. Ediciones Mundi Prensa. 643 pp.

Soares, J. L. N., C.R. Espindola and W. L. Matos Pereira. 2005. Physical properties of soils under intensive agricultural management. *Soils and plant nutrition. Scientia Agricola* - doi: 10.1590/S0103-90162005000200012. Vol 62 N° 2. 165-172

Solhjou, A., J. M. Fielke and J. M. A. Desbiolles. 2012. Soil translocation by narrow openers with various rake angles. *Biosystems Engineering* 112; pp. 65-73.

Spoor, G. and R. J. Godwin. 1978. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 23 pp. 243-258

Taylor, H.M. 1974. Root behavior as affected by soil structure and strength. In *The Plant Root and Its Environment*, ed. E. W. Carson. Charlottesville, VA: Univ. of Virginia Press. pp. 271-291

Tesouro, M.O., M. A. Roba, E. Fernández de Ullivarri, L. B. Donato, A. Romito, J. Vallejo, J. P. D'Amico. 2011. Avances en el estudio de la demanda energética de las labores en caña de azúcar. Parte II: Eficiencia de las labores. XVII Reunión Técnica Nacional de la Caña de Azúcar. Orán, Salta. Argentina. pp. 29-34.

Tong, J. and B. Z. Moayad. 2006. Effects of rake angle of chisel plough on soil cutting factors and power requirements: A computer simulation. *Soil & Tillage Research* 88 – pp. 55–64.

La presente publicación integra una serie de Informes Técnicos publicada por el Laboratorio de Terramecánica e Implantación de cultivos del Instituto de Ingeniería Rural. Estos informes tienen como finalidad poner a disposición de los profesionales oficiales y privados, la información generada en los trabajos de investigación llevados a cabo.



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación