

Cultivo de caña en Famaillá: Estudio de caso. Parte 3: Requerimiento energético y consumo de combustible en su implantación.

Omar Tesouro¹ / Marcos Roba¹ / Ángel Romito¹ / Enrique Fernández de Ullivarri² / Lidia Donato¹ / Otto Neiman¹

Instituto de Ingeniería Rural - CIA - CNIA - INTA Castelar

¹Laboratorio de Terramecánica e Implantación de Cultivos

²EEA Famaillá (Tucumán)

Informe Técnico N° 27
Septiembre 2015



Ediciones

Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



Informe Técnico Nº 27

ISSN 1852-3080

Septiembre 2015

Cultivo de caña en Famallá: Estudio de caso.
Parte 3: Requerimiento energético y consumo de combustible en su implantación.

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	4
3. Resultados y Discusión	9
3.1 Estado del suelo previo a la labor	9
3.2 Requerimiento energético y consumo de combustible de las labores	11
3.3 Indicadores de la eficiencia energética de las labores culturales	16
4. Consideraciones Finales	25
5. Bibliografía	26

CULTIVO DE CAÑA EN FAMAILLÁ: ESTUDIO DE CASO. PARTE 3: REQUERIMIENTO ENERGÉTICO Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN SU IMPLANTACIÓN

RESUMEN

A fin de caracterizar el requerimiento energético y el consumo de combustible de las labores involucradas en la implantación de la caña de azúcar, se realizó un ensayo en la EEA Famaillá (Tucumán) sobre suelos argiudoles ácuicos. Fue medida la demanda de tracción de las máquinas utilizadas en dos sistemas de cultivo. 1) Manejo convencional que involucra dos pasadas de rastra excéntrica y dos labranzas profundas y 2) Labranza en franjas sin remoción del suelo en los sitios de tránsito (trocha). La secuencia de labores de uso generalizado en el área cañera demandó una energía de 164,2 CVh ha⁻¹ que en términos de consumo de combustible, alcanza a 66,4 litros de gas oil por hectárea. Mediante la labranza en franjas pudieron reemplazarse cuatro labores, reduciendo el tiempo operativo de la maquinaria de 3,87 h ha⁻¹ a 2,14 h ha⁻¹ con una disminución del gasto de combustible de aproximadamente 40 litros por hectárea.

Para obtener indicadores de eficiencia energética de dos sistemas diferentes de implantación de caña se caracterizó el estado físico del suelo antes y después de haber realizado las labores de preparación de la cama de siembra. Fue cuantificada la sección de suelo disturbada y al relacionarla con la fuerza de tracción demandada, se obtuvieron los coeficientes de labranza, que son indicadores de la eficiencia energética con que se realizaron las labores. Los valores hallados se compararon con los existentes en la base de datos del Laboratorio de Terramecánica e Implantación de Cultivos (IIR-CIA-INTA Castelar). Las labores convencionales presentaron escasa eficiencia energética. Estos indicadores mejoraron sustancialmente al utilizarse la labranza en franjas, aproximándose a los esperados para suelos de similares características texturales de la región pampeana. Las labranzas realizadas con el subsolador, resultaron insuficientes para fragmentar por completo el estrato de suelo de mayor resistencia.

1. INTRODUCCIÓN

A diferencia de lo ocurrido en la mayor parte de los cultivos, el manejo de la caña de azúcar continúa realizándose de manera tradicional. Períodos prolongados de monocultivo conducidos bajo un sistema de manejo con elevada intensidad de laboreo han afectado la integridad física del suelo.

La importancia de la mecanización se ha visto incrementada y predomina actualmente no sólo en el esquema productivo argentino, sino también en el ámbito cañero mundial. En este escenario, la secuencia de labores tiene una incidencia aproximada entre un 30 y un 35% en los costos de producción (Márgenes Agropecuarios, 2007, 2010).

Las labores realizadas para la sistematización de los campos cañeros, requieren grandes aportes de energía. La intensidad y las elevadas profundidades de trabajo utilizadas incrementan esta demanda proporcionalmente (Hilbert y Tesouro, 2002). Los trabajos realizados para la implantación de la caña y el escarificado de la trocha, son las labores con mayor requerimiento energético. La potencia requerida y por ende el combustible consumido, guarda una relación directa con la velocidad y la profundidad de trabajo (Hilbert y Tesouro, 2002). En estudios realizados en diversas zonas cañeras argentinas, se ha estimado que el cultivo de caña de secano insume entre 3,8 y 4,5 UTAs, lo que significa un consumo de 45,6 a 54 litros de gas-oil por hectárea por año (Sopena y Teran, 2008).

Los suelos con historial de monocultivo de caña de azúcar suelen caracterizarse por su pobre estructura y alta densidad aparente, como resultado de la combinación de las labranzas durante las épocas de cultivo y la compactación causada por el tránsito pesado e intensivo durante la cosecha (Bell et al, 2007; Pankhurst et al, 2003). El uso continuo de la maquinaria para crear las condiciones apropiadas para el desarrollo del cultivo, ha causado daños irreversibles sobre la estructura de algunos suelos agrícolas (Silva et al, 2009). La pérdida de la porosidad en un suelo afecta considerablemente el normal movimiento y almacenamiento de aire y agua, necesarios para el desarrollo de los cultivos (Soane y Van Ouwerkerk, 1994). Varios autores han señalado que estos parámetros físicos afectados, son algunos de los indicadores utilizados para determinar la calidad del suelo agrícola (McVay et al, 2006; Reynolds et al, 2007; Topp et al, 1997). Otro aspecto importante asociado con el monocultivo de la caña de azúcar es el impacto a largo plazo que tiene esta actividad sobre la salud biológica del suelo (Pankhurst et al, 2003).

El objetivo de este trabajo fue determinar el requerimiento de tracción y la demanda de energía de las labores comúnmente utilizadas en la preparación del suelo para la implantación de la caña de azúcar.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 Requerimiento energético y consumo de combustible de las labores agrícolas relevadas

A fin de determinar el requerimiento de tracción y la demanda de energía de las labores comúnmente utilizadas en la preparación del suelo para la implantación de la caña de azúcar, se realizó un ensayo en un área con argiudoles típicos de la EEA Famaillá (Tucumán). El sitio experimental posee un prolongado historial de monocultivo de caña con el manejo tradicional de la zona. La secuencia de labores fue una pasada de rastra excéntrica sobre un rastrojo de soja sin disturbar (Sitio 1); dos pasadas de subsolador, la primera de ellas fue realizada sobre un suelo previamente rastreado (Sitio 2) mientras que, la segunda subsolada se hizo en el mismo sitio y al sesgo de la primera; por último, se efectuó una segunda pasada de rastra excéntrica sobre el suelo subsolado. Se ensayó una rastra excéntrica derecha de tracción libre, conformada por dos paquetes de discos escotados de 609,6 mm (24") de diámetro separados entre sí a 0,24 m y con un ancho de labor teórico de 2,30 m. El subsolador poseía cuatro arcos, dos en el travesaño delantero y dos en el trasero, con un arreglo espacial que determinó una separación transversal efectiva entre ellos de 800 mm. Los timones presentaban un desarrollo antero posterior máximo de 254 mm y en su extremo inferior se ubicaban dos alas de 100 mm de extensión y una púa de ataque de bajo ángulo de incidencia. La máquina estaba equipada con un accesorio fertilizador que permaneció vacío y no fue accionado durante la prueba.

También fue probado en sitios sin disturbar (Sitio 1) el requerimiento de tracción de un prototipo que permite efectuar un sistema de laboreo alternativo de labranza en franjas. En su estado de desarrollo actual, la unidad experimental de laboreo cuenta con cuatro arcos que trabajan a tres niveles de profundidad. Los arcos anterior y posterior se ubican en el centro de la máquina. El primero de ellos es el que realiza el trabajo más superficial mientras que, con el posterior, se alcanza la profundidad de trabajo objetivo. Los arcos intermedios, el segundo y el tercero, se encuentran desplazados lateralmente y no apareados y operan a una profundidad intermedia a la de los mencionados en primer término. El diseño particular de las bridas posibilita que todos los arcos puedan desplazarse verticalmente y que además, sea posible acercar o separar los arcos intermedios en un plano perpendicular a la dirección de avance, a fin de definir el ancho del surco conformado. Todos los arcos están instrumentados con celdas de carga electrónicas con el objetivo de buscar la combinación espacial de arcos, conjuntamente con las características geométricas de las púas, que posibilite el logro de la máxima eficiencia energética por parte de la máquina. En la presente prueba se utilizó una púa sin alas en el primer arco, púas con alas de 80 mm de ancho y con un ángulo de incidencia de 8 ° en los arcos intermedios y finalmente, en el arco posterior, una púa con alas de 100

mm de ancho y un ángulo de incidencia de 14 °. La unidad de laboreo posee en su parte anterior tres cuchillas turbo alineadas con cada uno de los planos en que se ubican los arcos, a fin de reducir el riesgo de atoramientos cuando la máquina trabaja en suelos con abundante rastrojo en superficie.



FIGURA 2.1.1: Vista lateral izquierda de la rastra excéntrica



FIGURA 2.1.2: Vista posterior de la rastra excéntrica



FIGURA 2.1.3: Vista posterior del subsolador



FIGURA 2.1.4: Detalle de la púa



FIGURA 2.1.5: Detalle: a: bastidor; b: timón; c: alas; d: púa



Figura 2.1.6: Vista trasera en posición de transporte del prototipo. Referencias: a: Bastidor; b: Timón; c: Púa (órgano activo); d: cuchilla de corte; e: Torre de acoplamiento.

Para determinar la demanda de tracción de la rastra y el subsolador, se utilizó una celda de carga electrónica de 5000 kilogramos de capacidad intercalada entre el tractor y la máquina evaluada y un sistema electrónico de captación de datos, diseñado en el Laboratorio de Terramecánica e Implantación de Cultivos del Instituto de Ingeniería Rural (LTI) (IIR-CIA-INTA Castelar). Cada medición fue repetida cinco veces. Se tomaron datos de esfuerzo a intervalos de un segundo y se registró el tiempo necesario para recorrer una trayectoria de longitud conocida, a fin de determinar la velocidad efectiva de avance del equipo y la potencia demandada al tractor en la barra de tiro. Con estos datos se calculó la energía requerida por hectárea para realizar cada labor. En el caso particular del surcado y por tratarse de una máquina de discos, la energía fue estimada en base a la medida en la segunda pasada de la rastra excéntrica.

Posteriormente, la energía requerida por hectárea fue convertida a consumo de combustible en litros por hectárea, utilizando un modelo desarrollado en el laboratorio mencionado. Este modelo considera el tipo de tracción del tractor utilizado, su eficiencia tractiva y el rendimiento termodinámico del motor. El consumo obtenido en la unidad de tiempo fue transformado a una unidad de superficie (hectárea) según la capacidad de trabajo de la máquina.

2.2 Indicadores de la eficiencia energética de las labores culturales

En forma previa a la realización de las labores se determinó la densidad aparente en los sitios no disturbados, la humedad gravimétrica, los perfiles de resistencia y el micro relieve del suelo. La densidad aparente se estimó a partir de muestras de suelo contenidas en cilindros metálicos de volumen y peso conocido. Dichas muestras fueron extraídas en tres sitios de cada unidad experimental a intervalos de 100 milímetros, hasta alcanzar una profundidad levemente superior a la prevista para los órganos activos. Éstas se mantuvieron dentro de sus respectivos cilindros, se pesaron en húmedo y luego se secaron en estufa a 105 °C hasta constancia de peso. Considerando la contracción volumétrica que experimenta cada muestra luego de ser secada se calculó la densidad aparente mientras que, a partir de la diferencia existente con su peso húmedo, fue establecida también la humedad gravimétrica.

Sobre tres transectas perpendiculares a la trayectoria de la máquina, se relevaron los perfiles de resistencia del suelo de cada unidad experimental empleando un penetrómetro electrónico estandarizado (ASAE Standard S.313. 1992). Se efectuaron mediciones a intervalos de veinte centímetros a lo largo de cada transecta, hasta alcanzar una profundidad similar a la utilizada para tomar las muestras para estimar la densidad aparente. Las mismas transectas se utilizaron como guía para determinar el microrelieve del suelo no disturbado.

Inmediatamente después de realizada la labor sobre las mismas transectas, se evaluó nuevamente el perfil de resistencia del suelo y el microrelieve 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 que posee la labor evaluada. Las unidades de medida más empleadas para estos indicadores son el kilogramo fuerza por decímetro cuadrado (kg dm^{-2}), el newton por centímetro cuadrado (N cm^{-2}), o el kilo Pascal (kPa). Los coeficientes de labranza obtenidos fueron comparados con los existentes en la base de datos del LTI, los cuales se consideran como los valores esperados para máquinas de similares características a las probadas, trabajando en condiciones operativas equivalentes. La contrastación entre los coeficientes observados y esperados se efectuó mediante una prueba de "t".

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Estado del suelo previo a la labor

Sitio 1: La densidad aparente y el contenido de humedad del suelo a diferentes profundidades puede observarse en la tabla 3.1.1. Las dos primeras profundidades corresponden al horizonte A mientras que, la tercera, se encuentra en el horizonte Bt₁.

Profundidad de muestreo (mm)	Densidad aparente (g cm ⁻³)	Humedad gravimétrica (%)
0 a 100	1,23	25,85
>100 a 200	1,46	26,36
325	1,52	31,63

TABLA 3.1.1: Densidad aparente y humedad del suelo del área experimental.

En lo que respecta al perfil de resistencia del suelo, el índice de cono (IC) promedio fue de 1920 kPa con un error estándar de 28,72 kPa sobre un total de 390 observaciones. En la tabla 3.1.2 se indican los valores promedio de este parámetro obtenidos a distintas profundidades. En el estrato más profundo del horizonte A, entre los 100 y 250 mm se detectó un significativo incremento en la resistencia mecánica del suelo. Esta capa, de mayor dureza, que no puede ser atribuida a un cambio textural ni al contenido de humedad puede visualizarse claramente en el perfil de suelo representado en la figura 3.1.1.

Índice de cono (kPa)	Tamaño de muestra (n)	Profundidad (mm)	Grupos homogéneos	
619,8	39	0 a 50	A	
1029,5	39	>50 a 100	B	
2467,7	39	>100 a 150	D	E
2849,8	39	>150 a 200		E
2544,7	39	>200 a 250		E
2066,7	39	>250 a 300	C	D
1803,8	39	>300 a 350	C	
1820,9	39	>350 a 400	C	
1946,8	39	>400 a 450	C	
2049,5	39	>450 a 500	C	

TABLA 3.1.2: Índice de cono obtenido en el Sitio 1 (Sitio no disturbado). Julio de 2013. Referencias: Grupos homogéneos obtenidos mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey. α : 0,05. Diferencia significativa mínima: 408,9 kPa.

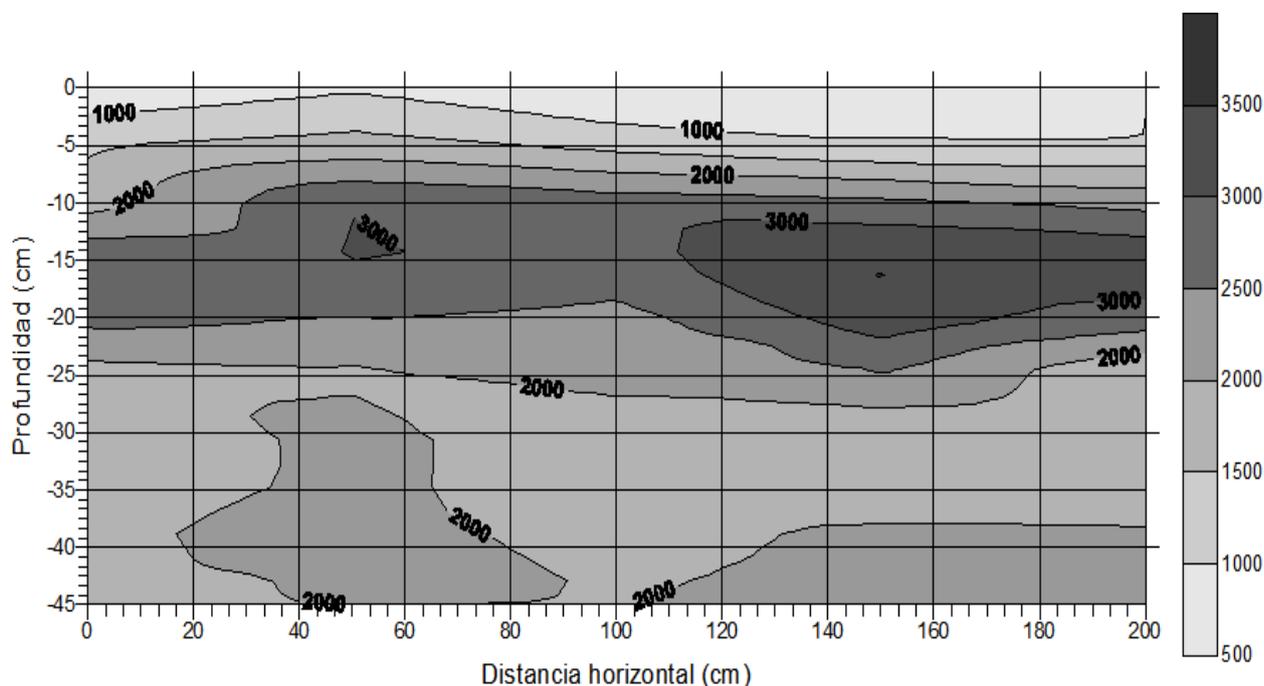


FIGURA 3.1.1: Perfil de resistencia del suelo. Líneas de igual IC (iso-resistencia) en rangos de 500 kPa. Julio de 2013.

Sitio 2: La resistencia promedio en el rango de profundidad de 0 a 450 mm fue de 1759,4 kPa con un error estándar de 29,6 kpa. En la tabla 3.1.3 se presentan los resultados del estudio de resistencia a la penetración desglosado en intervalos de 50 mm y en la figura 3.1.2 se esquematiza el perfil de resistencia del suelo.

Índice de cono (kPa)	Tamaño de muestra (n)	Profundidad (mm)	Grupos homogéneos		
460,4	39	0 a 50	A		
542,5	39	>50 a 100	A	B	
917,7	39	>100 a 150		B	
2674,3	39	>150 a 200			E
2537,5	39	>200 a 250		D	E
2049,5	39	>250 a 300		C	
1955,0	39	>300 a 350		C	
1954,1	39	>350 a 400		C	
2163,9	39	>400 a 450		C	
2338,5	39	>450 a 500		C	D E

TABLA 3.1.3: Índice de cono obtenido en el Sitio 2 que fue rastreada en junio de 2013. Relevamiento efectuado en julio de 2013. Referencias: Grupos homogéneos obtenidos mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey. α : 0,05. Diferencia significativa mínima: 421,0 kPa.

Si se comparan estos índices de cono con los obtenidos sobre el suelo sin disturbar, puede apreciarse el efecto del pasaje de la rastra excéntrica sobre la resistencia mecánica del suelo en los primeros 100 a 150 mm de profundidad.

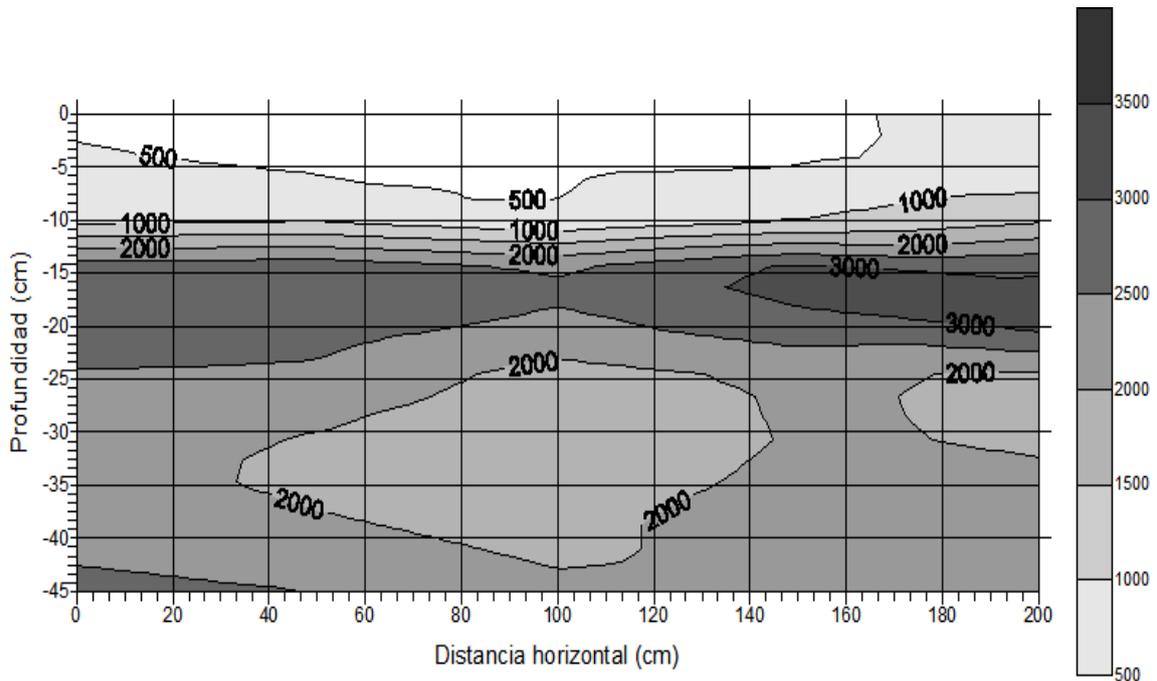


FIGURA 3.1.2: Perfil de resistencia del suelo rastreado en junio de 2013. Líneas de igual IC (iso-resistencia) en rangos de 500 kPa. Julio de 2013.

3.2 Requerimiento energético y consumo de combustible de las labores

3.2.1 Labranza con rastra excéntrica sobre suelo no disturbado: El objetivo principal de esta labranza fue cortar y reducir la cantidad de rastrojo presente sobre la superficie del suelo a fin de facilitar la realización del trabajo posterior que, en esta secuencia de labores, fue el subsolado. Dicho objetivo fue cumplido, aunque con un costo energético algo superior al esperado para un suelo franco arcilloso, en condición de rastrojo y con un contenido de humedad apropiado para efectuar esta labor.

Parámetro	Valor	Unidad
Fuerza de tracción media	1072,7	kg
Error estándar	6,9	kg
Velocidad efectiva de avance	6,61/1,84	km h ⁻¹ /m s ⁻¹
Ancho de labor efectivo	2,03	m
Profundidad media efectiva de labor	0,084	m
Potencia media en la barra de tiro	26,28	CV
Potencia media en el motor ⁽¹⁾	43,80	CV
Tiempo operativo ⁽²⁾	0,826	h ha ⁻¹
Energía por hectárea (barra de tiro)	21,71	CVh ha ⁻¹
Energía por hectárea (al motor)	36,18	CVh ha ⁻¹
Consumo de combustible ⁽³⁾	9,68/11,71	L ha ⁻¹ /L h ⁻¹

TABLA 3.2.1.1: Principales resultados técnicos de la labor. Referencias: parámetros calculados considerando: (1) una eficiencia tractiva del 60 %. (2) un 10 % de pérdidas de tiempo. (3) un consumo específico de 230 g CVh⁻¹ y una densidad del gas oil de 860 g L⁻¹

3.2.2 Primera labranza con subsolador sobre suelo rastreado: La demanda unitaria de tracción (kg arco⁻¹) fue la esperable cuando se utilizan este tipo de máquinas. Sin embargo, si se considera la profundidad efectiva de los arcos que fue del orden de los 0,30 m, la tracción obtenida prácticamente duplica a la esperada. Como dicha demanda es alta, también lo es la energía requerida para llevar a cabo dicha labor y el consumo de combustible, que en este caso se estimó que alcanzaría a 21,5 L ha⁻¹.

Parámetro	Valor	Unidad
Fuerza de tracción media (4 arcos)	4436,8	kg
Error estándar	27,1	kg
Velocidad efectiva de avance	4,52/1,26	km h ⁻¹ /m s ⁻¹
Ancho de labor efectivo	3,04	m
Profundidad media efectiva del órgano activo	0,285	m
Profundidad media efectiva de labor	0,113	m
Potencia media en la barra de tiro	74,29	CV
Potencia media en el motor ⁽¹⁾	114,29	CV
Tiempo operativo ⁽²⁾	0,81	h ha ⁻¹
Energía por hectárea (barra de tiro)	60,06	CVh ha ⁻¹
Energía por hectárea (al motor)	92,40	CVh ha ⁻¹
Consumo de combustible ⁽³⁾	21,49/26,58	L ha ⁻¹ /L h ⁻¹

TABLA 3.2.2.1: Principales resultados técnicos de la labor. Referencias: parámetros calculados considerando: (1) una eficiencia tractiva del 65 %. (2) un 10 % de pérdidas de tiempo. (3) un consumo específico de 200 g CVh⁻¹ y una densidad del gas oil de 860 g L⁻¹

3.2.3 Segunda labranza con subsolador sobre suelo subsolado: La demanda unitaria de tracción fue el 78 % de la requerida por el subsolador en la primera labranza. La reducción de la energía requerida en esta segunda labor resultó menor a la esperada, teniendo en cuenta que se mantuvo la misma profundidad de trabajo. La explicación de la escasa diferencia entre aquella y ésta, es la considerable masa de suelo que permaneció sin disturbar luego de la primera labranza con el subsolador.

Parámetro	Valor	Unidad
Fuerza de tracción media (4 arcos)	3453,7	kg
Error estándar	63,1	kg
Velocidad efectiva	4,84/1,34	km h ⁻¹ /m s ⁻¹
Ancho de labor efectivo	3,04	m
Profundidad media efectiva del órgano activo	0,285	m
Profundidad media efectiva de labor	0,218	m
Potencia media en la B de T	61,91	CV
Potencia media en el motor ⁽¹⁾	103,19	CV
Tiempo operativo ⁽²⁾	0,76	h ha ⁻¹
Energía por hectárea (B de T)	46,75	CVh ha ⁻¹
Energía por hectárea (Motor)	77,92	CVh ha ⁻¹
Consumo de combustible ⁽³⁾	18,12/24,00	L ha ⁻¹ /L h ⁻¹

TABLA 3.2.3.1: Principales resultados técnicos de la labor. Referencias: parámetros calculados considerando: (1) una eficiencia tractiva del 60 %. (2) un 10 % de pérdidas de tiempo. (3) un consumo específico de 200 g CVh⁻¹ y una densidad del gas oil de 860 g L⁻¹

3.2.4 Segunda labranza con rastra excéntrica sobre suelo subsolado: La fuerza de tracción requerida en la segunda rastreada resultó superior a la obtenida en la primer pasada de esta máquina (Tabla 3.2.1.1). La diferencia entre una y otra obedece principalmente al cambio en la profundidad efectiva de trabajo. Una característica de la forma de operación de las máquinas de discos observada en distintos establecimientos en el área de influencia de la EEA Famaillá, es que la profundidad de trabajo queda determinada por la carga vertical de la máquina y la resistencia a la penetración del suelo. Esta forma particular de operación también prevalece en las tareas de cultivo. El tren rodante, que permite limitar la profundidad de labor de la máquina, permanece elevado durante el trabajo. Esta forma de trabajo habitual en la zona, fue la que se utilizó durante esta medición. En la segunda labranza con discos, el suelo presentó menor resistencia mecánica que en la primera de ellas, posibilitando una mayor profundidad efectiva de trabajo.

Parámetro	Valor	Unidad
Fuerza de tracción media	1296,4	kg
Error estándar	6,1	kg
Velocidad efectiva de avance	6,94 / 1,93	km h ⁻¹ /m s ⁻¹
Ancho de labor efectivo	2,03	m
Profundidad media efectiva de labor	0,109	m
Potencia media en la barra de tiro	33,34	CV
Potencia media en el motor ⁽¹⁾	57,47	CV
Tiempo operativo ⁽²⁾	0,790	h ha ⁻¹
Energía por hectárea (barra de tiro)	26,24	CVh ha ⁻¹
Energía por hectárea (al motor)	45,24	CVh ha ⁻¹
Consumo de combustible ⁽³⁾	11,05 / 14,03	L ha ⁻¹ / L h ⁻¹

TABLA 3.2.4.1: Principales resultados técnicos de la labor. Referencias: parámetros calculados considerando: (1) una eficiencia tractiva del 58 %. (2) un 10 % de pérdidas de tiempo. (3) un consumo específico de 210 g CVh⁻¹ y una densidad del gas oil de 860 g L⁻¹

3.2.5 Resumen operativo: implantación convencional

Implantación Convencional			
Labor	Parámetro Operativo		
	Tiempo operativo (h ha ⁻¹)	Energía labor (CVh ha ⁻¹)	Consumo de combustible (L ha ⁻¹)
Primera labranza con rastra excéntrica	0,83	21,71	9,68
Primera labranza con subsolador	0,81	60,06	21,49
Segunda labranza con subsolador	0,76	46,75	18,12
Segunda labranza con rastra excéntrica	0,79	26,24	11,05
Surcado	0,69	9,41	6,08
Total	3,87	164,17	66,41

TABLA 3.2.5.1: Tiempo operativo, energía y consumo de combustible requeridos para dejar el suelo preparado para la implantación de la caña. Forma de implantación convencional. Referencias: Surcado: Tiempo Operativo calculado con una máquina de dos surcos; Energía y Consumo de combustible calculado en base a la sección de suelo cortada y el coeficiente de tracción de la rastra excéntrica.

3.2.6 Labranza en franjas

Parámetro	Valor	Unidad
Fuerza de tracción media	1267,4	kg
Error estándar	12,9	kg
Velocidad efectiva de avance	4,15/1,15	km h ⁻¹ /m s ⁻¹
Ancho de labor efectivo	1,60	m
Profundidad media efectiva de labor	0,45	m
Potencia media demandada por la máquina	19,48	CV
Potencia media en el motor ⁽¹⁾	32,47	CV
Tiempo operativo ⁽²⁾	1,673	h ha ⁻¹
Energía por hectárea requerida por la labor	32,60	CVh ha ⁻¹
Energía por hectárea (Motor)	54,33	CVh ha ⁻¹
Consumo de combustible ⁽³⁾	14,53/8,68	L ha ⁻¹ /L h ⁻¹

Tabla 3.2.6.1: Principales resultados técnicos de la labor. Referencias: parámetros calculados considerando (1) una eficiencia tractiva del 60 %. (2) un 10 % de pérdidas de tiempo. (3) un consumo específico de 230 g CVh⁻¹ y una densidad del gas oil de 860 g L⁻¹

Como puede apreciarse en la tabla 3.2.6.1, la demanda de tracción de los 4 arcos del prototipo para labranza en franjas (1267,4 kg) fue levemente superior a la requerida por cada arco del subsolador en la primer pasada (1109,2 kg arco⁻¹ - Tabla 3.2.2.1). Sin embargo, el subsolador trabajó sobre un suelo previamente rastreado y sus púas lo hicieron a mucha menor profundidad.

3.2.7 Resumen operativo: labranza en franjas

Implantación mediante labranza en franjas			
Labor	Parámetro Operativo		
	Tiempo operativo (h ha ⁻¹)	Energía labor (CVh ha ⁻¹)	Consumo de combustible (L ha ⁻¹)
Labranza en franjas	1,67	32,60	14,53
Surcado	0,46	9,41	6,08
Total	2,14	42,00	20,61

Tabla 3.2.7.1.: Tiempo, energía y consumo de combustible requeridos para dejar el suelo preparado para la implantación de la caña. Forma de implantación mediante labranza en franjas. Referencias: Surcado: Tiempo Operativo calculado con una máquina de tres surcos; Energía y Consumo de combustible calculado en base a la sección de suelo cortada y el coeficiente de tracción de la rastra excéntrica.

3.3 Indicadores de la eficiencia energética de las labores culturales

3.3.1: Labranza con rastra excéntrica sobre suelo no disturbado: al comparar las figuras 3.1.1 y 3.1.2 puede observarse el cambio en el perfil de resistencia del suelo a causa de la labor. La demanda de fuerza esperada para alterar una unidad de área de suelo de esta clase textural, esto es el coeficiente de labranza o esfuerzo específico, fue de $47,03 \text{ kg dm}^{-2}$. Este valor difirió significativamente del observado ($t= 2.84$; $Pr>t =0.0020$) que se indica en Tabla 3.3.1.1.

Parámetro	Valor	Unidad
Fuerza de tracción media	1072,7	kg
Error estándar	6,9	kg
Profundidad media efectiva de labor	0,084	m
Sección de suelo trabajada	17,17	dm^{-2}
Coeficiente de labranza	62,48	kg dm^{-2}

TABLA 3.3.1.1: Eficiencia energética de la labor realizada con rastra excéntrica sobre suelo sin disturbar. Julio de 2013.

3.3.2 Primera labranza con subsolador sobre suelo rastreado: En la tabla 3.3.2.1 se presentan los índices de cono promedio en un rango de profundidad, de 0 a 450 mm obtenidos en posiciones preestablecidas sobre tres transectas perpendiculares a la trayectoria de la máquina. Las posiciones 60 y 140 coinciden con los sitios donde pasaron los arcos del subsolador. La resistencia promedio del suelo, en el espacio comprendido entre los arcos luego de la primera labranza, fue de 1208,8 kPa con un error estándar de 36,55 kpa.

Si se considera al grupo homogéneo "C" como el estado de resistencia del suelo previo al pasaje de la máquina, puede observarse que el efecto de sus órganos activos tuvo una extensión transversal aproximada de +/- 150 mm, ya que en las posiciones vecinas 40 y 120 se detectaron diferencias significativas en este parámetro respecto de la condición original del suelo. Sin embargo, las posiciones vecinas 80 y 160 no llegaron a diferenciarse estadísticamente del grupo homogéneo "C". Es oportuno mencionar también que en la posición media entre los arcos, que corresponde al valor 100 en la transecta, el suelo permaneció prácticamente inalterado ya que esta franja del perfil se mantuvo en el grupo homogéneo "C". Desde un punto de vista práctico y en lo que respecta al objetivo perseguido al realizar esta labor, una pasada de esta máquina resultó insuficiente para fragmentar por completo el estrato de suelo de mayor resistencia (Figura 3.3.2.1). La separación entre arcos resulta excesiva para las profundidades de trabajo habitualmente utilizadas con esta máquina.

Índice de cono (kPa)	Tamaño de muestra (n)	Posición (cm)	Grupos homogéneos	
1569,1	30	0		C
1572,5	30	20		C
1084,8	30	40	A	B
881,0	30	60	A	
1436,8	30	80		B C
1559,6	30	100		C
1139,5	30	120	A	B
1027,1	30	140	A	
1449,6	30	160		B C
1730,6	30	180		C

Tabla 3.3.2.1: Índices de cono obtenidos luego de la primera pasada del subsolador. Resultados promedio de tres transectas perpendiculares a la trayectoria de la máquina. Relevamiento efectuado en julio de 2013. Referencias: Posiciones 60 y 140: sitios por donde pasaron los dos arcos centrales de la máquina. Grupos homogéneos obtenidos mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey. α : 0,05. Diferencia significativa mínima: 384,9 kPa.

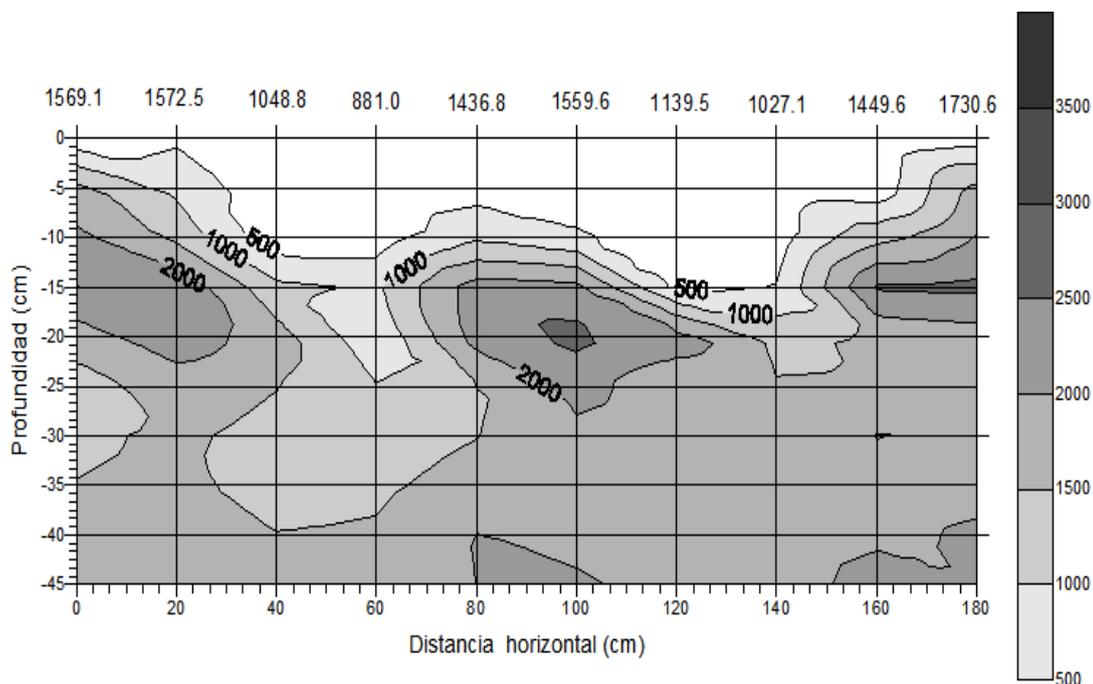


Figura 3.3.2.1: Perfil de resistencia del suelo luego de la primera pasada del Indujor. Líneas de igual IC (iso-resistencia) en rangos de 500 kPa. En el extremo superior de la figura se indican los resultados de la tabla 3.3.2.1. Julio de 2013.



Figura 3.3.2.2: Espacio entre arcos escasamente alterado luego del pasaje del subsolador. Julio de 2013.

Parámetro	Valor	Unidad
Fuerza de tracción media	4436,8	kg
Error estándar	27,1	kg
Profundidad media efectiva de labor	0,113	m
Sección de suelo trabajada	38,98	dm ²
Coefficiente de labranza	113,81/1109,2	kg dm ⁻² /kg arco ⁻¹

TABLA 3.3.2.2: Eficiencia energética de la primera pasada de subsolador. Julio de 2013.

El coeficiente de labranza, resultó elevado si se considera la clase textural y el perfil de resistencia del suelo. Para escarificadores trabajando en suelos argiudoles son esperables coeficientes del orden de los 60 kg dm⁻². Esta diferencia entre lo observado y esperado ($t= 4.17$; $Pr > t < 0.0001$) sustenta lo indicado en el párrafo 3.2.2.

3.3.3 Segunda labranza con subsolador: El Índice de Cono (IC) promedio del suelo en el espacio comprendido entre los arcos fue de 1205,1 kPa con un error estándar de 38,75 kPa. Este valor fue prácticamente idéntico al obtenido luego de la primera labranza realizada con el subsolador. Aunque esta observación resulte sorprendente es lógica, debido a que el espacio entre los arcos permaneció nuevamente sin alterar, tal como puede apreciarse en la tabla y en la figura 3.3.3.1.

Índice de cono (kPa)	Tamaño de muestra (n)	Posición (cm)	Grupos homogéneos				
1752,9	30	0				D	E
1392,3	30	20		B	C	D	E
875,0	30	40	A				
1119,7	30	60	A	B	C		
1528,0	30	80			C	D	E
1468,8	30	100			C	D	E
1034,2	30	120	A	B			
1117,3	30	140	A	B	C		
1350,2	30	160		B	C	D	
1768,0	30	180					E

Tabla 3.3.3.1: Índices de cono obtenidos luego de la segunda pasada del subsolador. Resultados promedio de tres transectas perpendiculares a la trayectoria de la máquina. Relevamiento efectuado en julio de 2013. Referencias: Posiciones 40 y 120: sitios por donde pasaron los dos arcos centrales de la máquina. Grupos homogéneos obtenidos mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey. α : 0,05. Diferencia significativa mínima: 412,5 kPa.

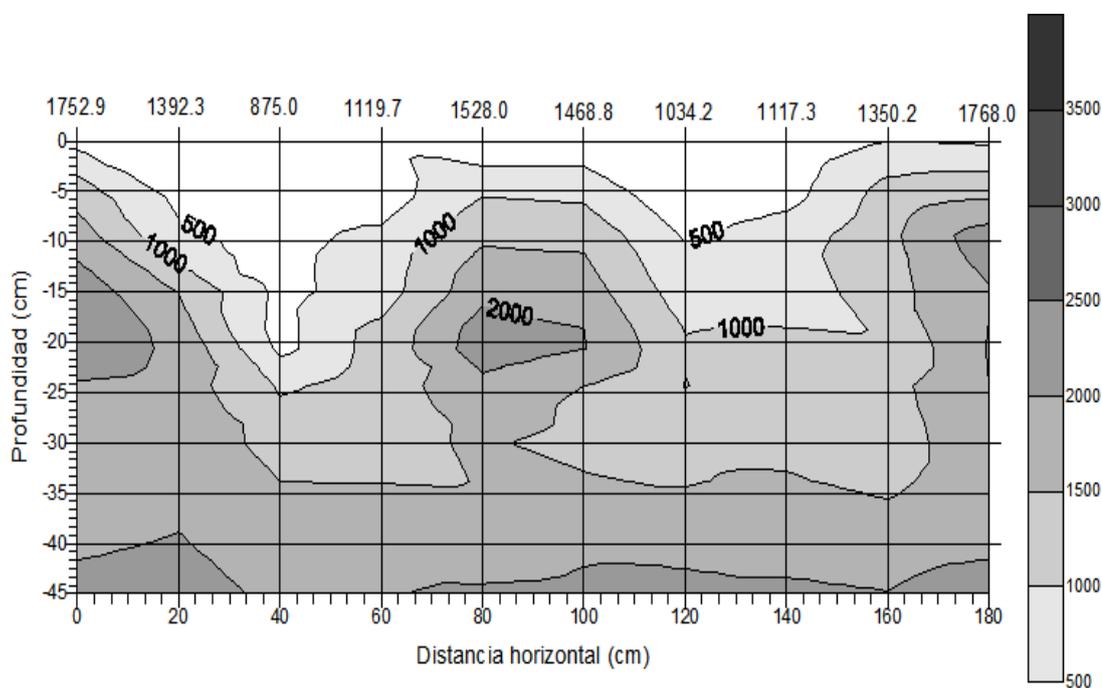


Figura 3.3.3.1: Perfil de resistencia del suelo luego de la segunda pasada del Indujor. Líneas de igual IC (iso-resistencia) en rangos de 500 kPa. En el extremo superior de la figura se indican los resultados de la tabla 4.3.3.1. Julio de 2013.



Figura 3.3.3.2: Segunda labranza con el subsolador. A la izquierda de la imagen pueden observarse los sitios sin disturbar al superponer las pasadas. Julio de 2013.

Parámetro	Valor	Unidad
Fuerza de tracción media	3453,7	kg
Error estándar	63,1	kg
Profundidad media efectiva de labor	0,218	m
Sección de suelo trabajada	69,48	dm ⁻²
Coefficiente de labranza	49,71/863,42	kg dm ⁻² /kg arco ⁻¹

TABLA 3.3.3.2: Eficiencia energética de la segunda pasada de subsolador. Julio de 2013.

El coeficiente de labranza expresado en función del área alterada (kg dm⁻²) se redujo drásticamente. Esto es debido a que en la segunda medición no es posible discernir que parte del suelo ha sido removido en cada una de las labores. Sin embargo, si a la sección de suelo total removida de (69,48 dm⁻²) se le descuenta la de la primer labranza (38,98 dm⁻²) los coeficientes de labranza, en uno y otro caso, resultan prácticamente idénticos.

3.3.4 Segunda labranza con rastra excéntrica sobre suelo subsolado: El coeficiente de labranza resultó inferior al de la primera rastreada, debido a la secuencia de labores efectuadas previamente. Sin embargo, aún difiere notablemente del valor esperado ($t= 2,78$; $Pr>t <0,0029$). El grado de refinamiento del suelo, aunque no fue cuantificado, resultó inferior al que podría haberse obtenido si se hubiesen concluido las labores con una máquina para labranza secundaria. Presumiblemente, el deterioro del estado físico del suelo también debe haber contribuido a obtener esta condición final del suelo una vez finalizadas las operaciones de labranza.

Parámetro	Valor	Unidad
Fuerza de tracción media	1296,4	kg
Error estándar	6,1	kg
Profundidad media efectiva de labor	0,109	m
Sección de suelo trabajada	22,15	dm ⁻²
Coeficiente de labranza	58,54	kg dm ⁻²

TABLA 3.3.4.1: Eficiencia energética de la segunda pasada de rastra excéntrica. Julio de 2013



Figura 3.3.4.1: Condición final del suelo luego del surcado. Labranza convencional. Julio de 2013.

3.3.5 Labranza en franjas: Los resultados del estudio de la resistencia del perfil del suelo, se presentan en la tabla 4.3.5.1.

Índice de cono (kPa)	Tamaño de muestra (n)	Posición (cm)	Grupos homogéneos				
1621,7	30	0				D	E
1821,9	30	30					E
1755,1	30	40					E
1399,3	30	50	B	C	D	E	
975,5	30	60	A	B			
814,1	30	70	A				
992,1	30	80	A	B			
1020,1	30	90	A	B	C		
1444,1	30	100			C	D	E
1287,0	30	110	B	C	D		
1489,4	30	120				D	E
1577,2	30	130				D	E
1709,4	30	160				D	E

Tabla 3.3.5.1: Índices de cono obtenidos luego de la labranza en franjas efectuada con el escarificador. Resultados promedio de tres transectas perpendiculares a la trayectoria de la máquina. Relevamiento efectuado en julio de 2013. Referencias: el centro de la trayectoria de la máquina se encuentra entre las posiciones 70 y 80. Grupos homogéneos obtenidos mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey $\alpha = 0,05$. Diferencia significativa mínima: 445,14 kPa.

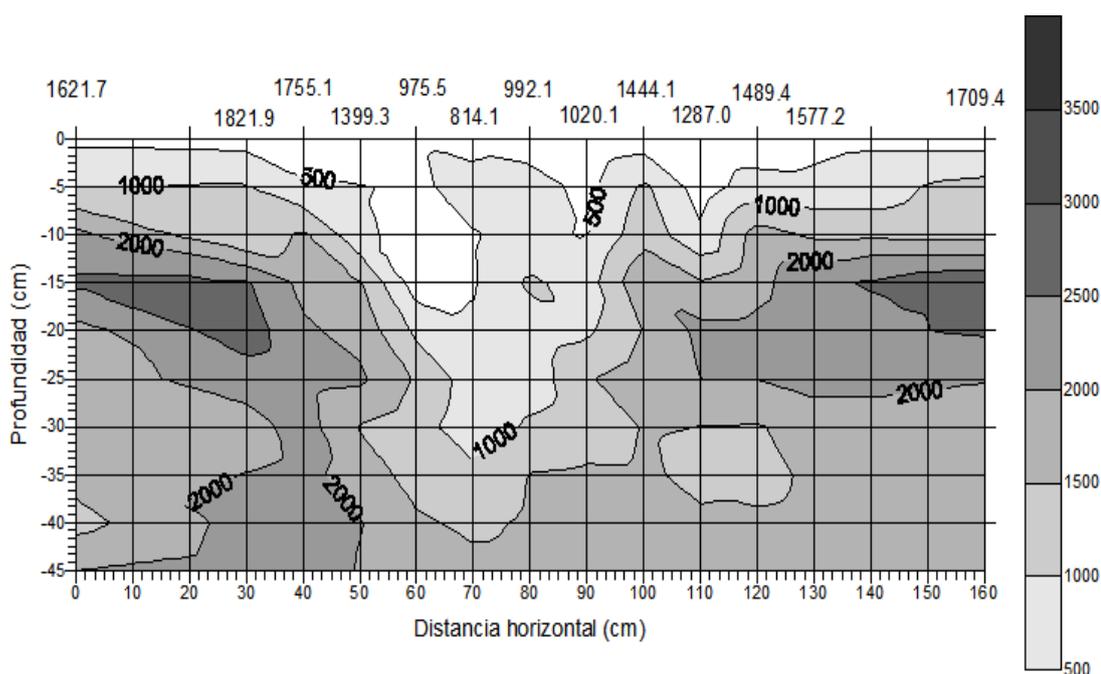


Figura 3.3.5.1: Perfil de resistencia del suelo un mes después de realizada la labranza en franjas con el escarificador. Parcela 2 del Bloque III. Líneas de igual IC (iso-resistencia) en rangos de 500 kPa. En el extremo superior de la figura se indican los resultados de la tabla 3.3.5.1. Julio de 2013.

Tomando como referencia del estado del suelo sin disturbar a los grupos homogéneos “E”, puede observarse que el efecto de la labor tuvo un desarrollo trasversal de aproximadamente 50 cm (grupos “AB” y “ABC”). El efecto puede ser también visualizado en las figuras 3.3.5.1 y 3.3.5.2.



Figura 3.3.5.2: Corte de suelo perpendicular a la labranza en franjas. Puede visualizarse los sectores alterados y sin alterar. Julio de 2013.

Parámetro	Valor	Unidad
Fuerza de tracción media	1267,4	kg
Error estándar	12,9	kg
Profundidad media efectiva de labor	0,45	m
Sección de suelo trabajada	18,04	dm ²
Coefficiente de labranza	70,28	kg dm ⁻²

TABLA 3.3.5.2: Eficiencia energética del dispositivo de labranza en franjas. Julio de 2013.

El coeficiente de labranza resultó notablemente inferior al obtenido con el subsolador y se aproximó a lo esperado para suelos de similares características texturales de la región pampeana ($t = 0,4075$; $Pr > t < 0,3419$). La diferencia entre uno y otro caso radica en que por su particular diseño, los órganos activos de este prototipo trabajan a profundidades crecientes y

cada uno de los arcos altera una pequeña porción del suelo con una reducida demanda de energía. Paralelamente, se incrementa sustancialmente la sección de suelo alterada.



Figura 3.3.5.3: Condición final del suelo luego del surcado. Labranza en franjas. Julio de 2013.

4. CONSIDERACIONES FINALES

La secuencia de labores de uso generalizado en el área cañera demandó una energía de 164,2 CVh ha⁻¹ que en términos de consumo de combustible, alcanza a 66,4 litros de gas oil por hectárea. Mediante la labranza en franjas pudieron reemplazarse cuatro labores, dos rastreadas y dos subsoladas, reduciendo el tiempo operativo de la maquinaria de 3,87 h ha⁻¹ a 2,14 h ha⁻¹ con una disminución del gasto de combustible de aproximadamente 40 litros por hectárea.

Las labores convencionales presentaron escasa eficiencia energética. Estos indicadores mejoraron sustancialmente al utilizarse la labranza en franjas, aproximándose a los esperados para suelos de similares características texturales de la región pampeana. Las labranzas realizadas con el subsolador, resultaron insuficientes para fragmentar por completo el estrato de suelo de mayor resistencia.

5. BIBLIOGRAFÍA

ASAE Standard. ASAE S 313 Soil cone penetrometer. St. Joseph, Michigan: ASAE, 1992. 611pp.

Bell, M. J.; G. R. Stirling and Pankhurst, C. E. 2007. Management impacts on health of soils supporting Australian grain and sugarcane industries. *Soil & Tillage Research* 97: 256–271.

Hilbert, J.A. y M.O. Tesouro. 2002. Demanda energética e impacto sobre el suelo de subsoladores de arco curvo cultivie. III Congreso argentino de Ingeniería Rural, Buenos Aires.

Márgenes Agropecuarios. 2007. Año 22 N° 262.

Márgenes Agropecuarios. 2010. Año 26 N° 308.

McVay, K.A.; J.A. Budde; K. Fabrizzi; M.M. Mikha; C.W. Rice; A.J. Schlegel; D.E. Peterson; D.W. Sweeney and C. Thompson. 2006. Management Effects on Soil Physical Properties in Long-Term Tillage Studies in Kansas. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:434–438. *Soil & Water Management & Conservation*. doi:10.2136/sssaj2005.0249.

Pankhurst, C.E.; R.C. Magarey; G.R. Stirling; B.L. Blair; M.J. Bell and A.L. Garside. 2003. Management practices to improve soil health and reduce the effects of detrimental soil biota associated with yield decline of sugarcane in Queensland, Australia. *Soil & Tillage Research* 72: 125–137

Reynolds, W.D.; C.F. Drury; X.M. Yang; C.A. Fox; C.S. Tan and T.Q. Zhang. 2007. Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam soil. *Soil & Till. Res.* 96, 316–330.

Silva R.B.; K.P. Lancas; E.E.V. Miranda; F.A.M. Silva and F.H.R. Baio. 2009. Estimation and evaluation of dynamic properties as indicators of changes on soil structure in sugarcane fields of Sao Paulo State. *Soil & Till. Res.* 103, 265-270.

Soane, B.D. and C. Van Ouwerkerk. 1994. Compaction problems in world agriculture.1-21. En: Soane, B. D. and C. Van Ouwerkerk (Edit.) *Soil compaction in crop production*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Holanda.

Sopena, R. A. y C. H. Teran. 2008. Relevamiento sobre el consumo de gas-oil en el cultivo de caña de azúcar en el país. Informe EEA INTA FAMAILLA, Tucumán, Octubre de 2008.

Topp, G.C.; W.D. Reynolds; F.J. Cook; J.M. Kirby and M.R. Carter. 1997. Physical attributes of soil quality. In: Gregorich, E.G.; Carter, M.R. (Eds.), *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health*. In: *Developments in Soil Science*, vol. 25. Elsevier, New York, NY, pp. 21–58.

La presente publicación integra una serie de Informes Técnicos editada 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 por el mismo.



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación