

Cultivo de caña en Famaillá: Estudio de caso. Parte 1: Aspectos físicos, químicos y biológicos del suelo.

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° 25
Marzo 2015



Ediciones

Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



Informe Técnico Nº 25

ISSN 1852-3080

Marzo 2015

Cultivo de caña en Famaillá: Estudio de caso.
Parte 1: Aspectos físicos, químicos y biológicos del suelo.

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	6
3.1 Descripción y clasificación del suelo del área experimental	6
3.2 Caracterización del perfil del suelo	6
3.3 Análisis fisicoquímico del perfil del suelo	7
3.4 Relieve y diseño experimental	8
3.5 Estado inicial de los parámetros físicos del suelo	9
3.6 Comparación de la energía demandada por los tratamientos	13
3.7 Estado del suelo en el período de emergencia	14
3.8 Emergencia del cultivo	17
4. Consideraciones Finales	19
5. Bibliografía	20

CULTIVO DE CAÑA EN FAMAILLÁ: ESTUDIO DE CASO. PARTE 1: ASPECTOS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS DEL SUELO.

Resumen

Entre los meses de junio y julio de 2013 se inició un ensayo de larga duración en la EEA Famaillá (Tucumán) a fin de probar diferentes tecnologías de cultivo en caña de azúcar. El área experimental posee suelos argiudoles ácuicos, con un prolongado historial de monocultivo de caña con el manejo tradicional de la zona. El diseño del ensayo es en bloques completos aleatorizados con parcelas divididas y tres repeticiones por tratamiento. Las unidades completas son las formas de cultivo, convencional y mediante labranza en franjas, mientras que las subparcelas, quedaron definidas por la forma de cosecha. Se relevó la situación de base del área experimental considerando aspectos físicos, químicos y biológicos del suelo. El cultivo fue implantado exitosamente detectándose una importante diferencia en el requerimiento de energía en función del tratamiento utilizado.

1. INTRODUCCIÓN

Los suelos con historial de monocultivo de caña de azúcar suelen caracterizarse como suelos de pobre estructura y de alta densidad aparente, como resultado de la combinación de las labranzas durante la época de cultivo y la compactación causada por el tránsito pesado e intensivo en el momento de la cosecha. (Bell et al., 2007; Pankhurst et al., 2003). Según Braunack et al. (2006) los efectos sobre las propiedades del suelo son acumulativos y son los brotes de las socas más viejas los más susceptibles a reducir su rendimiento.

El uso continuo y excesivo de la maquinaria agrícola con el objetivo de crear las condiciones apropiadas para el desarrollo de ciertos cultivos industriales ha causado daños irreversibles sobre la estructura de algunos suelos agrícolas (Silva et al., 2009). Este hecho, que en principio supone consecuencias nocivas más allá de la eficiencia energética propiamente dicha, también se traduce en un mayor esfuerzo para restituir esta condición a un estado medianamente favorable para el establecimiento y el normal desarrollo del cultivo.

En el área de influencia de la EEA Famaillá (Tucumán), en un trabajo realizado por Tesouro et al. (2011) se encontró que la demanda de energía y el consumo de combustible de las labores involucradas en la implantación y el mantenimiento del cultivo de la caña de azúcar, resultan superiores a las observadas en trabajos equivalentes de la región pampeana, evidenciando la necesidad de cambios en el parque de máquinas utilizado. Dicho trabajo concluye que el sistema de manejo utilizado es cuestionable y que debería evaluarse la sustentabilidad y la conveniencia económica de continuar con él, dado que las máquinas comúnmente utilizadas para efectuar las labores poseen escasa aptitud tanto desde el punto de vista del aprovechamiento energético como de la calidad del trabajo realizado.

El objetivo de este trabajo fue caracterizar la situación de base en el área experimental al inicio de un ensayo de larga duración en cultivo de caña, considerando aspectos físicos, químicos y biológicos del suelo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En un área con suelos argiudoles ácuicos de la EEA Famaillá, con un prolongado historial de monocultivo de caña de azúcar con el manejo tradicional de la zona y partiendo de un rastrojo de soja, comenzaron a probarse dos sistemas de cultivo: 1) Manejo convencional; 2) Labranza en franjas sin remoción profunda del suelo en los sitios de tránsito (trocha). En el caso del tratamiento 1 la implantación del cultivo se realizó en forma convencional, con la siguiente secuencia de labores: una pasada de rastra excéntrica sobre el rastrojo de soja, dos pasadas de subsolador, una segunda labranza con rastra excéntrica, surcado y plantación. A partir de este momento, se condujo con el manejo tradicional de la zona, consistente en el control mecánico de malezas y el laboreo profundo de la trocha durante el ciclo del cultivo. En el tratamiento 2, sólo se efectuó una labranza profunda en los sitios donde luego se conformaron los surcos para ser colocada la caña semilla. Esta técnica, conocida como labranza en franjas, se llevó a cabo mediante un prototipo diseñado y desarrollado en el Laboratorio de Terramecánica e Implantación de Cultivos (IIR-CIA-INTA Castelar) en el marco del PNEG 141110 “Residuos y cultivos para la producción de bioenergía”. Este dispositivo posee arcos rígidos que trabajan progresivamente, a profundidades crecientes, en una estrecha franja de suelo. Dichos arcos han sido instrumentados para poder determinar la reacción del suelo en cada uno de ellos. La utilización de este dispositivo permite mantener las trochas (sitios de tránsito) sin disturbar desde el comienzo del ciclo del cultivo. Luego de la implantación, los sitios de tránsito permanecerán inalterados a excepción del control mecánico superficial de malezas, que será realizado de ser necesario, como labor alternativa al control químico.

En los dos sistemas de manejo se utilizarán iguales tipos y dosis de fertilizantes y se evitará la quema del rastrojo. Mediante la prueba de consolidación unidimensional, se determinó el límite de preconsolidación y la carga máxima normal admisible que puede ser soportada por el suelo sin generar mayor densificación. El diseño original del experimento preveía efectuar los subtratamientos utilizando en un caso la cosecha mecánica con el tren rodante estándar que genera elevadas cargas sobre el suelo y en el otro, cosechadoras con neumáticos de alta flotación con presiones de inflado compatibles con la capacidad del suelo de soportar carga, es decir, que no excediesen el límite obtenido en la prueba de consolidación unidimensional. Sin embargo, a partir del relevamiento de las características constructivas de las máquinas cosechadoras disponibles en el mercado pudo comprobarse que esta alternativa técnica no es posible. Los subtratamientos quedaron entonces establecidos en un caso efectuando cosecha convencional, como se había previsto originariamente, mientras que en el otro subtratamiento, la cosecha

mecánica se efectuará a lo largo del período de aprovechamiento del cultivo mediante una máquina de arrastre de mucho menor peso.

El diseño experimental es en bloques completos aleatorizados con parcelas divididas y tres repeticiones por tratamiento. Las unidades completas son las formas de manejo y las subparcelas quedaron definidas por la forma de cosecha. El análisis estadístico de los resultados es llevado a cabo mediante ANVA factorial 2 x 2 para un diseño en parcelas divididas con submuestreo.

En forma previa a la demarcación de las parcelas se determinaron las curvas de nivel utilizando una equidistancia de 0,10 m. Se efectuó una calicata para caracterizar el perfil del suelo y posteriormente, se realizó una cuadrícula de 20 x 20 m muestreando en sus vértices a fin de detectar cualquier variación en el perfil de referencia.

2.1 Mediciones de base realizadas en el área experimental previas al inicio del ensayo

Parámetros físicos del suelo: Densidad aparente: se determinó 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 profundidad de 100 milímetros de modo tal de obtener dos de ellas en el horizonte "A" y una tercera en el horizonte Bt₁. Las muestras fueron mantenidas dentro de sus respectivos cilindros, pesadas en húmedo y luego secadas 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, quedó establecida también la humedad gravimétrica. Para medir los perfiles de resistencia del suelo se efectuaron tres transectas perpendiculares al eje longitudinal en cada una de las parcelas, empleando un penetrómetro electrónico estandarizado (ASAE Standard S.313. 1992). Las mediciones se realizaron 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. Fueron realizadas las curvas de retención hídrica de las muestras de suelo obtenidas a distintas profundidades, el análisis de la estabilidad estructural, la prueba de consolidación unidimensional y se analizaron los indicadores de actividad biológica. La metodología y los resultados de cada uno de los productos mencionados se encuentran en los informes correspondientes.

Parámetros físico químicos del suelo: las muestras se obtuvieron en los mismos sitios donde hizo el muestreo de densidad aparente. El análisis físico y químico del perfil del suelo fue realizado por investigadores de la Cátedra de Edafología de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la UNLP.

Las labores de preparación del suelo (Tratamientos) se llevaron a cabo entre junio y julio de 2013. A fin de recopilar información para la realización de los balances de energía se efectuó la

medición del requerimiento de la cantidad de trabajo y consumo de combustible de la forma de implantación convencional (Tratamiento 1) y de la labranza en franjas (Tratamiento 2), resultados éstos que se presentan en este informe.

El cultivo fue implantado en julio de 2013. En noviembre de ese año y en junio de 2014 se efectuaron mediciones de la cantidad de brotes obtenidos haciendo recuento de plantas en sectores al azar de 2 metros de largo en seis surcos por subparcela.


3. Resultados

3.1 Descripción y clasificación del suelo del área experimental

Orden	Suborden	Gran Grupo	Subgrupo
Molisol	Udol	Argiudol	ácuico

Tabla 3.1.1: Clasificación del suelo del área experimental.

3.2 Caracterización del perfil del suelo

Perfil	
	Ap 0-5 cm; negro (7.5YR 2/1) en húmedo; franco arcilloso; estructura en bloques subangulares medios débiles; muy friable en húmedo; sin reacción a los carbonatos libres en la masa; raíces escasas; límite claro y suave.
	A 5-25 cm; negro (7.5YR 2/1) en húmedo; franco arcilloso; estructura masiva; firme en húmedo; sin reacción a los carbonatos libres en la masa; raíces escasas; límite claro y suave.
	Bt1 25-40 cm; pardo muy oscuro (7.5YR 2/2) en húmedo; franco arcillo limoso; estructura en prismas irregulares que rompen a bloques angulares irregulares medios; friable en húmedo; sin reacción a los carbonatos libres en la masa; barnices muy abundantes; moteados escasos; raíces escasas; límite claro y suave.
	Bt2 40-62 cm; pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/4) en húmedo; franco arcilloso; estructura en bloques angulares medios moderados; friable en húmedo; sin reacción a los carbonatos libres en la masa; barnices abundantes; moteados comunes; límite claro y suave.
	BC 62-85 cm; pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/4) en húmedo; franco limoso; estructura en bloques angulares medios débiles; muy friable en húmedo; sin reacción a los carbonatos libres en la masa; escasas concreciones de CaCO ₃ ; límite claro y suave.
Paisaje	



C 85 a + cm; pardo oscuro (7.5YR 3/4) en húmedo; arcillo arenoso; estructura masiva; muy friable en húmedo; sin reacción a los carbonatos libres en la masa.

3.3 Análisis físicoquímico del perfil del suelo

Determinación	Unidades	Ap	A	Bt1	Bt2	BC	
1	pH (1:2,5)	6,1	6,3	7,2	7,5	7,6	
2	C.E.	[dS.m ⁻¹]	0,30	0,29	0,32	0,30	0,33
3	C.I.C.	[cmol _c .kg ⁻¹]	20,6	21,7	24,4	21,8	16,4
4	Ca ⁺⁺ (int)	[cmol _c .kg ⁻¹]	10,3	11,5	13,2	11,5	11,0
	Mg ⁺⁺ (int)	[cmol _c .kg ⁻¹]	6,3	4,4	10,1	10,0	5,3
	Na ⁺ (int)	[cmol _c .kg ⁻¹]	0,28	0,56	1,26	0,32	0,58
	K ⁺ (int)	[cmol _c .kg ⁻¹]	0,62	0,49	1,53	0,68	0,51
5	% de Sat	85	78	100	100	100	
6	PSI	1,4	2,6	5,2	1,5	3,5	
7	C	[%]	1,84	0,97	1,58	0,28	0,21
8	M.O.	[%]	3,17	1,68	2,72	0,48	0,36
9	Nt		0,165	0,117	0,177	0,037	0,025
10	Fe	[ppm]	275	337	157	205	59
11	B	[ppm]	0,9	1,4	1,1	0,7	0,6
	Clase Textural		Franco arcilloso	Franco arcilloso	Franco arcillo limoso	Franco arcilloso	Franco limoso
12	Arena	[%]	20,7	20,7	18,7	14,7	14,7
	Limo	[%]	46,0	46,0	42,0	46,0	70,0
	Arcilla	[%]	33,3	33,3	39,3	39,3	15,3

Tabla 3.3.1: Análisis físico químico del perfil del suelo.

Referencias:

1. pH, relación suelo / agua, 1:2,5; determinación, potenciométrica.
2. Conductividad eléctrica, medida en el extracto de saturación, determinación, conductimetría.
3. Capacidad de intercambio catiónico, método con acetato de amonio N pH 7, evaluación por destilación.
4. Cationes de intercambio, método con acetato de amonio N pH 7; determinación de Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺, por quelatometría con EDTA, Na⁺ y K⁺, fotometría de llama.
5. Valor V de Hissink, correspondiente al porcentaje de saturación de bases.
6. Porcentaje de sodio intercambiable.
7. Carbono fácilmente oxidable, método de Walkley - Black.
8. Materia orgánica. MO (%) = 1,724 x C (%)
9. Nitrogeno
10. Hierro, extracción con HCl, determinación por colorimetría.
11. Boro, extracción con agua caliente, determinación por colorimetría.
12. Clase textural según USDA, determinada por densimetría, método de Bouyucus.

3.4 Relieve y diseño experimental

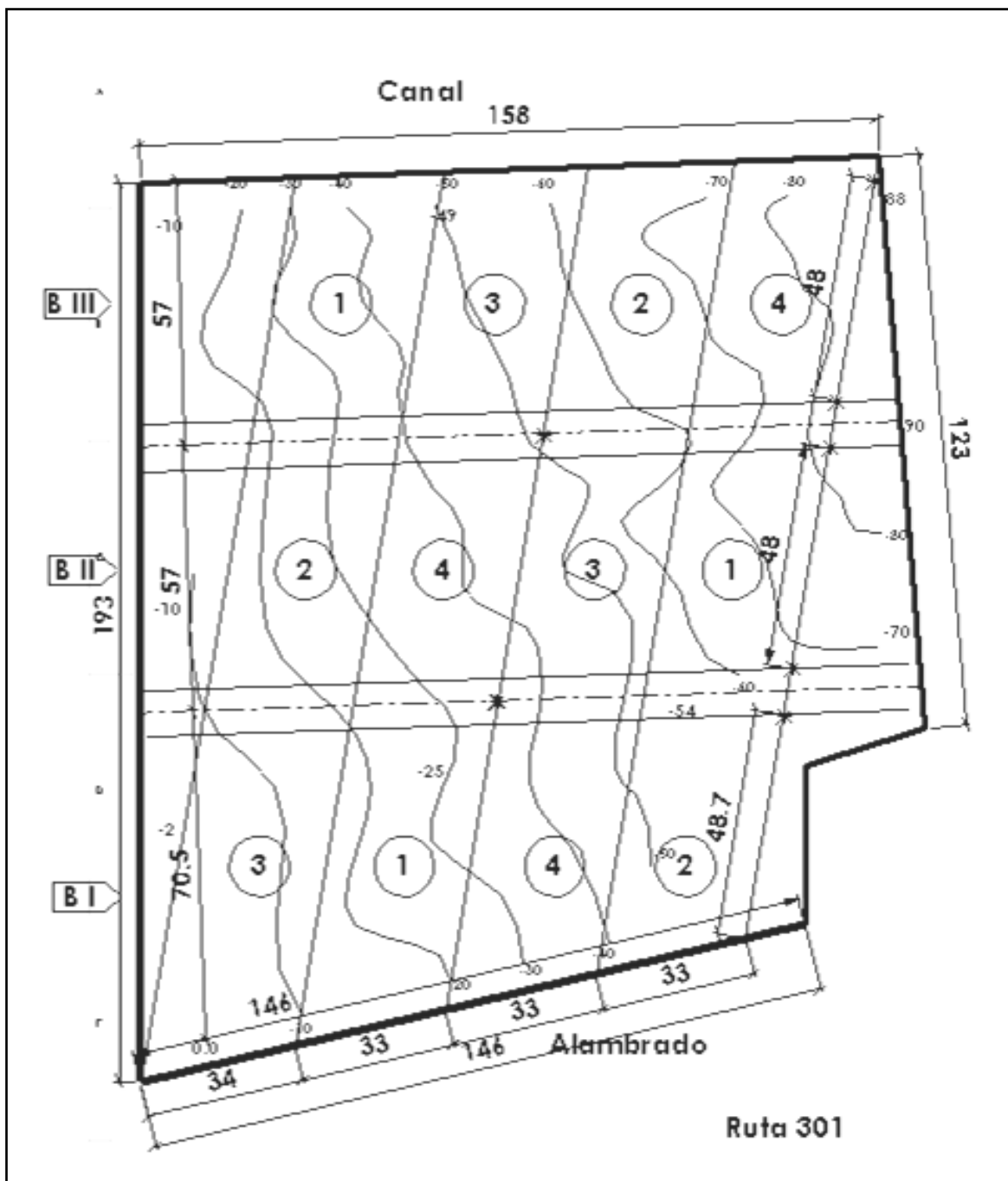


Figura 3.4.1: Plano del ensayo.

Referencias:

En números romanos (BI, BII, BIII): bloques completos aleatorizados.

En números arábigos (1 a 4): parcelas experimentales.

Parcelas 1: Tratamiento: Implantación convencional; Subtratamiento: Tren rodante convencional

Parcelas 2: Tratamiento: Implantación convencional; Subtratamiento: Tren rodante de alta flotación

Parcelas 3: Tratamiento: Labranza en franjas; Subtratamiento: Tren rodante convencional

Parcelas 4: Tratamiento: Labranza en franjas; Subtratamiento: Tren rodante de alta flotación

Curvas de nivel: equidistancia igual a 0,10 m.

Las dimensiones del área experimental están expresadas en metros.

3.5 Estado inicial de los parámetros físicos del suelo

3.5.1 Densidad aparente

En la figura 3.5.1.1 se indican los sitios no disturbados en los que se efectuó el muestreo del suelo para estimar el valor de este parámetro. La densidad aparente promedio del área experimental, correspondiente al horizonte A, fue de $1,337 \text{ g cm}^{-3}$ con un error estándar de $0,0127 \text{ g cm}^{-3}$. Dentro de este horizonte, fue posible distinguir dos capas. La más superficial, que abarca los primeros 100 mm de profundidad, alcanzó un valor de $1,291 \text{ g cm}^{-3}$ diferenciándose significativamente de la más profunda que presentó una densidad de $1,382 \text{ g cm}^{-3}$ ($F=12,5$; $Pr>F=0,077$).

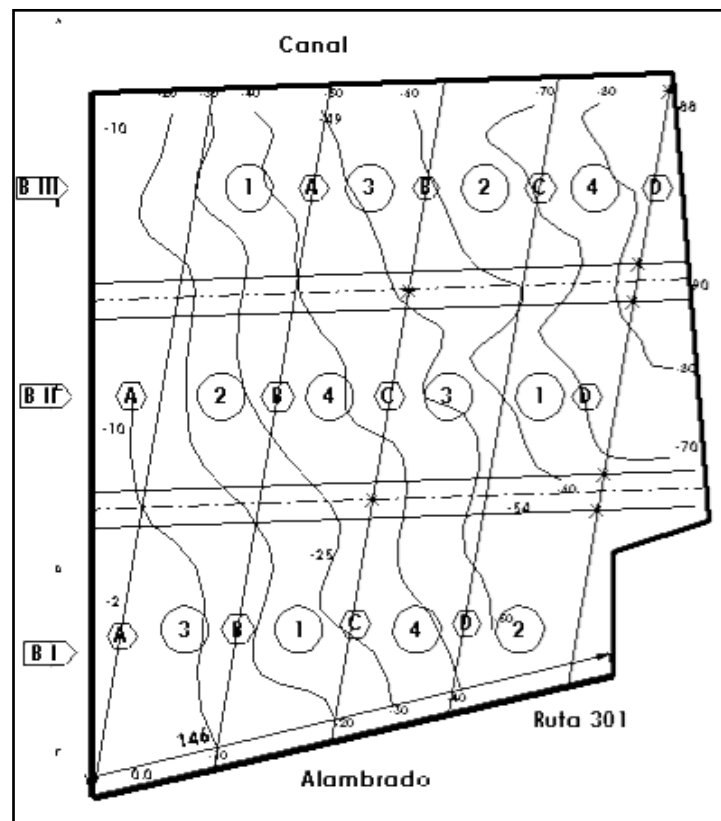


Figura 3.5.1.1: Sitios de muestreo. Relevamiento de la densidad aparente. Julio de 2013

En lo que respecta a los bloques, el II fue el de mayor densidad aparente ($1,378 \text{ g cm}^{-3}$) alcanzando el umbral de significación estadística ($F=5,3$; $Pr>F=0,050$) al compararlo con los bloques I ($1,301 \text{ g cm}^{-3}$) y III ($1,331 \text{ g cm}^{-3}$). No se detectaron diferencias en la densidad aparente entre los sitios de muestreo ($F=2,74$; $Pr>F=0,1127$) aunque se insinuó una tendencia al incremento de este parámetro en el sentido de la pendiente, ni interacciones significativas entre bloques y sitios de muestreo ($F=1,65$; $Pr>F=0,2496$) ni entre sitios de muestreo y profundidad ($F=1,66$; $Pr>F=0,2517$). La densidad aparente del horizonte subyacente (Bt_1), obtenida en los

mismos sitios de muestreo y a una profundidad media de 325 mm, fue de 1,534 g cm⁻³ con un error estándar de 0,020 g cm⁻³, diferenciándose claramente de la alcanzada en el horizonte A ($F=84,85$; $Pr>F <0,0001$) e inclusive, de la densidad aparente del estrato inferior de este horizonte ($F=37,71$; $Pr>F= <0,0001$). La variación de este parámetro resultó ínfima entre los bloques, ya que fluctuó entre un mínimo de 1,520 g cm⁻³ en el bloque I y un máximo de 1,553 g cm⁻³ en el bloque II, manteniéndose entonces la misma tendencia observada en el horizonte A. También se mantuvo en el horizonte Bt₁ el patrón de variación observado entre los sitios de muestreo en el horizonte A y al igual que este caso, no se obtuvieron diferencias significativas entre sitios en el rango de profundidades de 325 mm ($F=0,62$; $Pr>F= 0,6261$).

Bloque	Sitios de muestreo	Profundidad de muestreo (mm)	Densidad aparente (g cm ⁻³)			
I	A	0 a 100	1,146	1,253	1,374	
	B	0 a 100	1,330			
	C	0 a 100	1,213			
	D	0 a 100	1,323			
	A	>100 a 200	1,299	1,348		
	B	>100 a 200	1,354			
	C	>100 a 200	1,380			
	D	>100 a 200	1,360			
	A	325	1,542	1,520		
	B	325	1,460			
	C	325	1,542			
	D	325	1,537			
	II	A	0 a 100	1,222		1,336
		B	0 a 100	1,463		
		C	0 a 100	1,432		
		D	0 a 100	1,228		
A		>100 a 200	1,371	1,420		
B		>100 a 200	1,384			
C		>100 a 200	1,463			
D		>100 a 200	1,461			
A		325	1,440	1,553		
B		325	1,650			
C		325	1,603			
D		325	1,520			
III		A	0 a 100	1,325	1,285	
		B	0 a 100	1,228		
		C	0 a 100	1,299		
		D	0 a 100	1,290		
	A	>100 a 200	1,300	1,377		
	B	>100 a 200	1,278			
	C	>100 a 200	1,459			
	D	>100 a 200	1,471			
	A	325	1,478	1,529		
	B	325	1,542			
	C	325	1,504			
	D	325	1,591			

Tabla 3.5.1.1: Densidad aparente del área experimental. Julio de 2013

3.5.2 Humedad del suelo

El análisis de la humedad del suelo fue efectuado sobre las muestras de densidad aparente, por lo cual los sitios de muestreo son idénticos a los indicados en la figura 3.5.1.1. El horizonte A presentó una humedad gravimétrica promedio de 27,14 % con un error estándar de 0,094 %.

Bloque	Sitios de muestreo	Profundidad de muestreo (mm)	Humedad gravimétrica (%)		
I	A	0 a 100	26,83	27,52	29,28
	B	0 a 100	27,48		
	C	0 a 100	28,25		
	D	0 a 100	27,50		
	A	>100 a 200	28,48	28,35	
	B	>100 a 200	28,76		
	C	>100 a 200	28,91		
	D	>100 a 200	27,25		
	A	325	28,46	31,98	
	B	325	32,06		
	C	325	34,28		
	D	325	33,11		
II	A	0 a 100	25,89	26,54	28,25
	B	0 a 100	27,99		
	C	0 a 100	26,44		
	D	0 a 100	25,85		
	A	>100 a 200	25,83	27,04	
	B	>100 a 200	29,19		
	C	>100 a 200	26,80		
	D	>100 a 200	26,36		
	A	325	29,68	31,18	
	B	325	31,33		
	C	325	32,07		
	D	325	31,63		
III	A	0 a 100	26,29	26,56	28,40
	B	0 a 100	27,26		
	C	0 a 100	25,69		
	D	0 a 100	26,99		
	A	>100 a 200	26,96	26,85	
	B	>100 a 200	27,01		
	C	>100 a 200	26,52		
	D	>100 a 200	26,92		
	A	325	28,21	31,80	
	B	325	31,76		
	C	325	33,11		
	D	325	34,10		

Tabla 3.5.2.1: Humedad gravimétrica del área experimental. Julio de 2013

La variabilidad horizontal y vertical de este parámetro fue escasa, ya que se mantuvieron en un rango del 0,5 al 1,0 % (Tabla 3.5.2.1). Sin embargo, se alcanzaron los umbrales de significación estadística en la mayor parte de los efectos principales y en las interacciones. Similares

observaciones fueron realizadas en el horizonte Bt₁, donde la humedad gravimétrica promedio fue del 31,65 % con un error estándar de 0,21 %.

3.5.3 Resistencia a la penetración

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 3.5.3.1: Índice de cono sitios no disturbados. Julio de 2013.

Referencias: Grupos homogéneos obtenidos mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey. α : 0,05. Diferencia significativa mínima: 408,9 kPa.

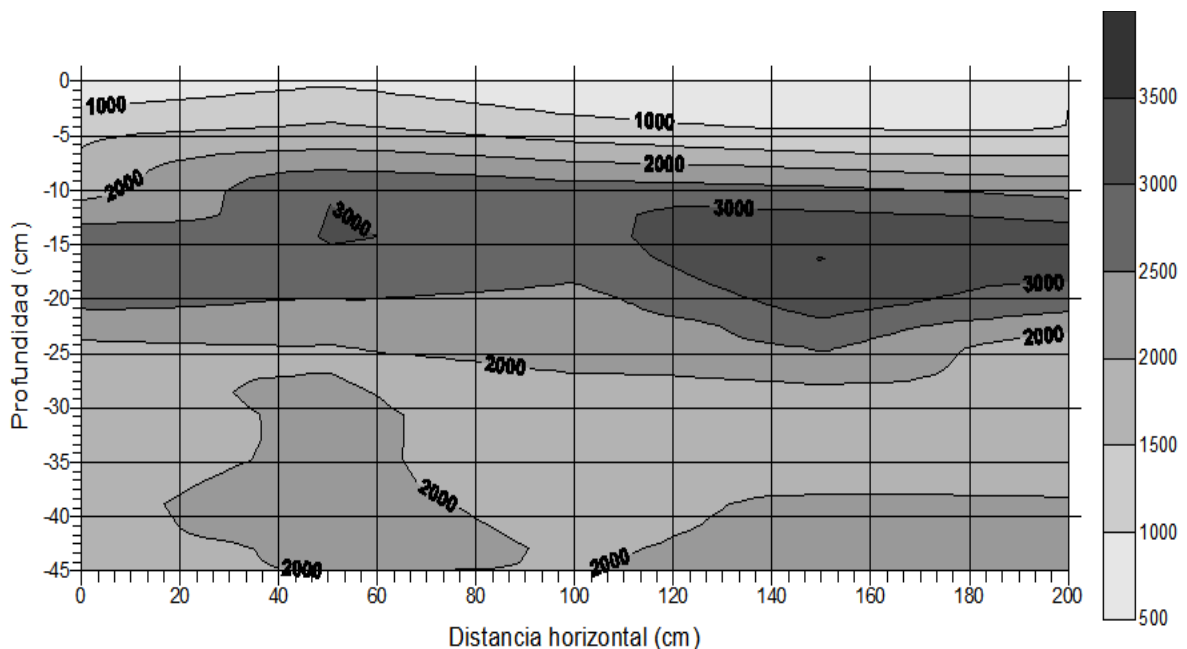


Figura 3.5.3.1: Perfil de resistencia del suelo. Líneas de igual IC (isoresistencia) en rangos de 500 kPa. Julio de 2013.

El índice de cono (IC) promedio fue de 1.920 kPa con un error estándar de 28,72 kPa sobre un total de 390 observaciones. En la tabla 3.5.3.1 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 (Tabla 3.3.1) ni al contenido de humedad (Tabla 3.5.2.1) puede visualizarse claramente en el perfil de suelo representado en la figura 3.5.3.1.

3.6 Comparación de la energía demandada por los tratamientos

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 3.6.1.: Tiempo, 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.

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 3.6.2.: 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.

Tal como puede apreciarse al comparar las tablas 3.6.1 y 3.6.2, la utilización de la técnica de labranza en franjas genera una reducción importante de los principales parámetros operativos de la maquinaria. No obstante, la aplicación de esta técnica se encuentra aún en etapa de perfeccionamiento. En este sentido, se está trabajando en el diseño de los órganos activos y en el arreglo espacial de los arcos, a fin de incrementar aún más la eficiencia energética y lograr que ésta se mantenga elevada en diferentes tipos de suelos y condiciones operativas.

3.7 Estado del suelo en el período de emergencia: efecto residual de los tratamientos

3.7.1 Humedad del suelo al momento de emergencia del cultivo

La humedad del suelo en el rango de profundidad de 0 a 45 cm fue del 22,8 % en el tratamiento 1 y del 22,0 % en el tratamiento 2. Estos valores, casi coincidentes, no presentaron diferencias estadísticas entre sí ($F=1,28$; $Pr>F= 0,2649$). Tampoco se detectaron variaciones entre tratamientos al comparar surcos y entresurcos ($F=0,12$; $Pr>F= 0,7278$). En la tabla 3.7.1.1 se detallan los resultados obtenidos.

Forma de Implantación (Tratamiento)	Posición	Humedad gravimétrica (%)
Convencional (1)	Entresurco	22,74
Convencional (1)	Surco	22,81
Franjas (2)	Entresurco	22,23
Franjas (2)	Surco	21,84

Tabla 3.7.1.1: Humedad gravimétrica promedio profundidad 0 a 45 cm. Relevamiento efectuado en noviembre de 2013.

3.7.2 Resistencia mecánica del suelo

La resistencia mecánica del perfil del suelo con preparación convencional resultó significativamente menor a la alcanzada con la labranza en franjas, alcanzando respectivamente índices de cono de 1522,3 kPa y de 1718,5 kPa ($F=8,07$; $Pr>F= 0,0046$). Este resultado es lógico si se considera que, en la labranza en franjas sólo fueron alteradas porciones del perfil preestablecidas. Por otro lado, el aumento de la resistencia de los entresurcos es un efecto buscado, ya que el suelo presenta de esta manera mayor capacidad portante para soportar el tránsito de la maquinaria. Si en cambio se compara la resistencia en la zona de los surcos, no se detectan diferencias estadísticas entre tratamientos en un rango horizontal de +/- 40 cm del centro (Tabla 3.7.2.1).

Índice de cono (kPa)	Tamaño de muestra (n)	Posición (cm)	Grupos homogéneos			
1851,1	30	0		C	D	
1782,2	30	20		C	D	
1647,1	30	40		B	C	D
1221,4	30	60	A	B		
1148,9	30	80	A	B		
1014,3	30	100	A			
1390,0	30	120	A	B	C	
1502,3	30	140	A	B	C	
2143,8	30	160				D

Tabla 3.7.2.1: Índices de cono del suelo preparado mediante labranza convencional. Resultados promedio de tres transectas perpendiculares a la trayectoria de la máquina. Relevamiento efectuado en noviembre de 2013. Referencias: el centro del surco se encuentra en la posición 80. Grupos homogéneos obtenidos mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey. α : 0.05. Diferencia significativa mínima: 514,1 kPa.

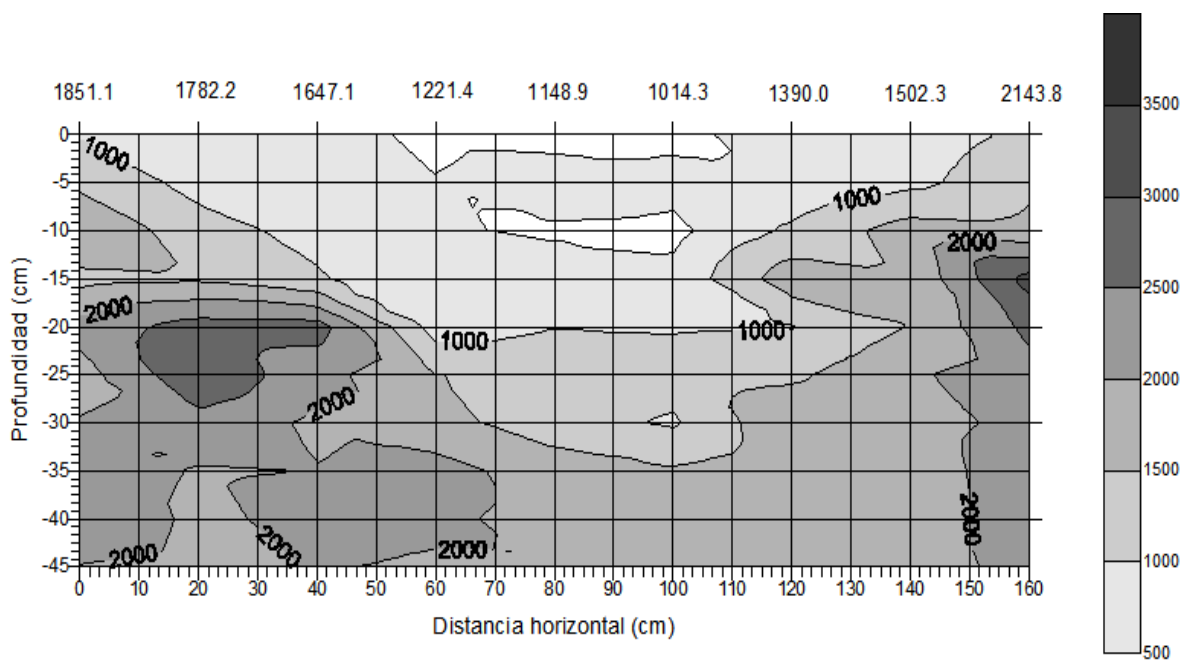


Figura 3.7.2.1: Perfil de resistencia del suelo, preparado mediante labranza convencional, en el período de emergencia del cultivo. Líneas de igual IC (isoresistencia) en rangos de 500 kPa. En el extremo superior de la figura se indican los resultados de la tabla 3.7.2.1. Noviembre de 2013.

Índice de cono (kPa)	Tamaño de muestra (n)	Posición (cm)	Grupos homogéneos	
2594,3	30	0		E
2478,3	30	30		D E
1962,4	30	40		C D
1641,1	30	50	B	C
1346,7	30	60	A	B
1016,6	30	70	A	
991,3	30	80	A	
1065,8	30	90	A	
1394,6	30	100	A	B
1596,5	30	110	B	C
1794,4	30	120	B	C
1990,6	30	130		C D
2467,8	30	160		D E

Tabla 3.7.2.2: Índices de cono obtenidos del suelo preparado con el escarificador para labranza en franjas. Resultados promedio de tres transectas perpendiculares a la trayectoria de la máquina. Relevamiento efectuado en noviembre de 2013. Referencias: el centro del surco se encuentra en la posición 80. Grupos homogéneos obtenidos mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey. α : 0,05. Diferencia significativa mínima: 522,5 kPa.

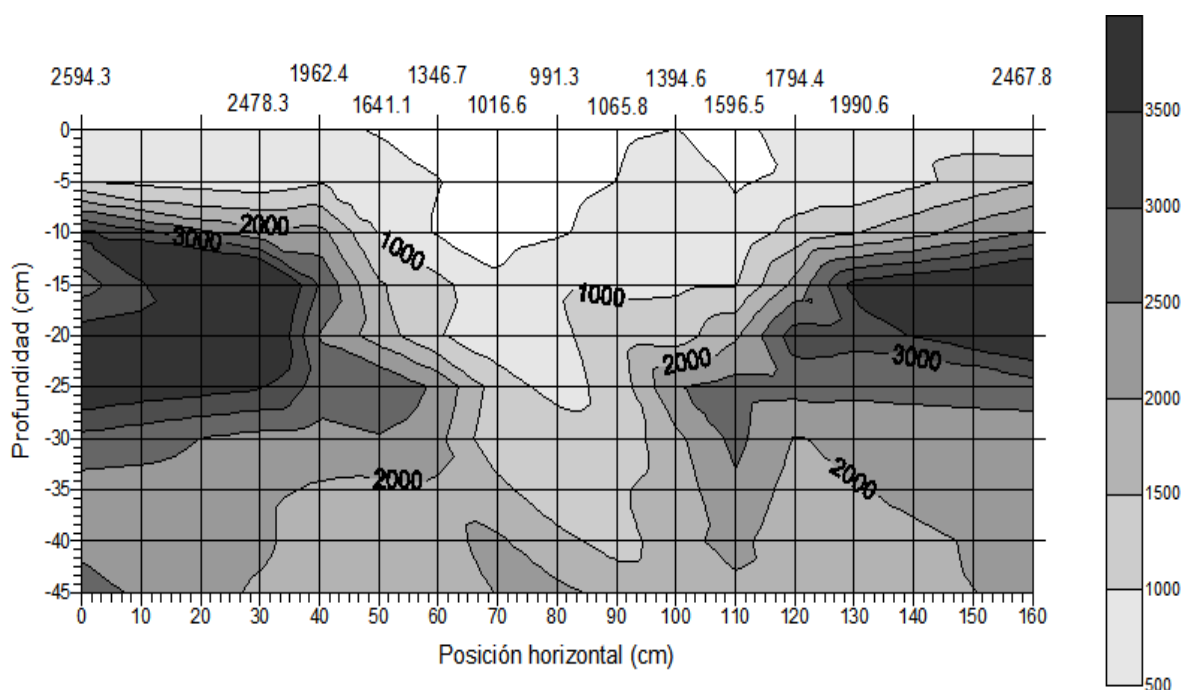


Figura 3.7.2.2: Perfil de resistencia del suelo, preparado mediante labranza en franjas con el escarificador, en el período de emergencia del cultivo. Líneas de igual IC (isoresistencia) en rangos de 500 kPa. En el extremo superior de la figura se indican los resultados de la tabla 3.7.2.2. Noviembre de 2013.

Sitio de Comparación (Distancia horizontal)	Índice de cono (kPa)		Contraste Suma de Cuadrados	F-Valor	Pr > F
	Convencional	Franjas			
Centro del surco (80)	1148,9	991,3	372408	0,43	0,5141
60	1221,4	1346,7	235376	0,27	0,6039
100	1014,3	1394,6	2170182	2,48	0,1156
40	1647,1	1962,4	1491526	1,71	0,1919
120	1390,0	1794,4	2453090	2,81	0,0944

Tabla 3.7.2.3: Comparación mediante contrastes ortogonales de la resistencia del suelo en los sitios preparados con labranza convencional (Tratamiento 1) y labranza en franjas (Tratamiento 2). Los resultados contrastados corresponden a las tablas 3.7.2.1 y 3.7.2.2. Noviembre de 2013.

3.8 Emergencia del cultivo

La emergencia del cultivo en el área experimental presentó un elevado grado de desuniformidad, tanto en las parcelas que habían sido implantadas en forma convencional como en las que se habían hecho mediante labranza en franjas. En el recuento realizado en Noviembre de 2013, a cuatro meses de la plantación, la cantidad de plantas en las parcelas en las que se había realizado el tratamiento 1 prácticamente duplicaba a la del tratamiento 2, alcanzando a 6,14 plantas m^{-1} y 3,00 plantas m^{-1} respectivamente (Figura 3.8.1). A pesar de esta gran diferencia entre un tratamiento y otro, el nivel de significación del análisis estadístico realizado fue de sólo 0,0308 y el coeficiente de variación alcanzó al 25,5%. Esta diferencia en la cantidad de plantas y en la variabilidad entre parcelas, se redujeron notablemente durante el desarrollo del cultivo. En el recuento efectuado en Julio de 2014, la cantidad de plantas por metro casi se había equiparado, correspondiéndole 13.2 plantas m^{-1} al tratamiento 1 y 12,1 plantas m^{-1} al tratamiento 2. El análisis estadístico realizado en este caso indicó ausencia de diferencias significativas entre tratamientos ($F=1,2$; $Pr>F= 0,2996$) con un coeficiente de variación de 14,2% (Tabla 3.8.1).

Tratamiento	Plantas m^{-1}	Límites de confianza (95%)	
		Inferior	Superior
Franjas	12,1	10,45	13,72
ImpConv	13,2	11,58	14,85

Tabla 3.8.1: Población de plantas. Medición realizada en julio de 2014.

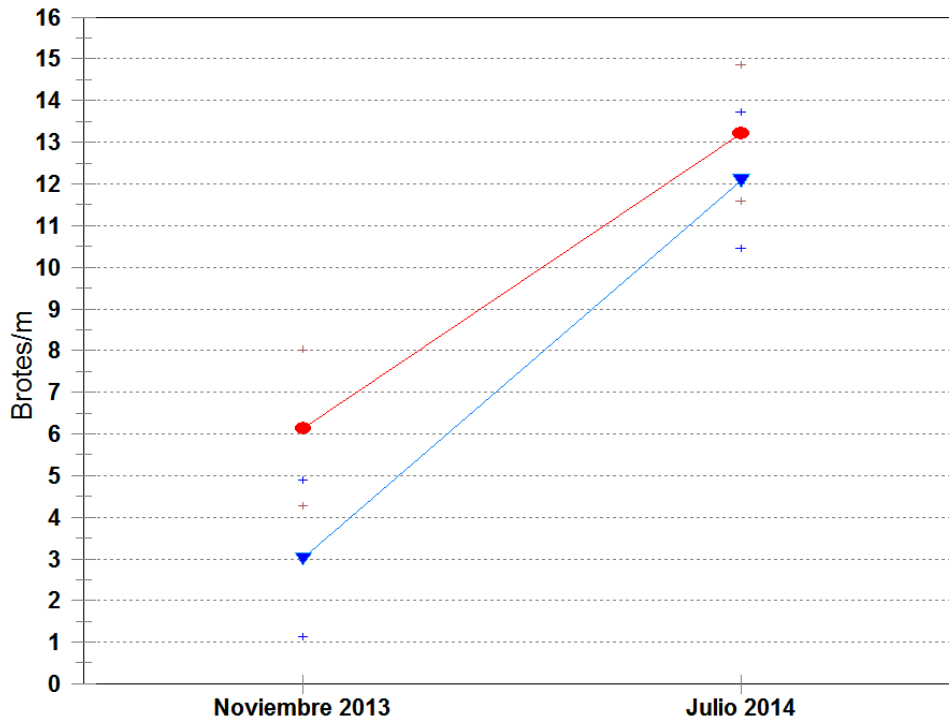


Figura 3.8.1: Población de plantas. Mediciones efectuadas en noviembre de 2013 y en julio de 2014, Referencias: círculo rojo: tratamiento 1 implantación convencional; triángulo invertido azul: tratamiento 2 implantación con labranza en franjas.

Diversas observaciones realizadas a campo en los dos períodos de muestreo permiten especular acerca de los motivos que provocaron la desuniformidad y el retraso en la emergencia. En lo que respecta a las condiciones ambientales, la primavera del 2013 fue particularmente seca, demorándose considerablemente el comienzo de las lluvias estacionales. En lo que hace específicamente a las condiciones de la plantación, pudieron observarse diferentes ubicaciones de la caña en el surco, algunas muy superficiales y otras, muy profundas; cañas de excesivo tamaño que no fueron cortadas de manera suficiente; algunas parcelas implantadas de forma convencional presentaban terrones con tamaño excesivo, numerosas fallas y también plantas con buen desarrollo. En el caso específico de las parcelas con tratamiento 2, el tamaño medio de los terrones que quedaron en contacto con la caña, luego de la plantación, fue superior al de la labranza convencional. A esto contribuyó, por un lado, la mayor granulometría remanente en los sitios laboreados mediante la labranza en franjas, lo cual resulta lógico pues se reemplazaron cuatro labranzas por sólo una labor con este dispositivo y debido a que cuando se hizo la labor aún no se le había incorporado el rolo posterior previsto en el diseño. Además, el deterioro físico del suelo contribuye notablemente a generar terrones de mayor tamaño luego de la labranza. Por otro lado, parte de la tierra

utilizada para el tapado de los surcos provino de la trocha, que permaneció sin alterar durante el laboreo, con lo cual se sumó al surco del cultivo suelo sin disturbar y rastreo de los entresurcos, que dificultaron el contacto de la caña con el suelo y la emergencia de los brotes.

4. CONSIDERACIONES FINALES

El área experimental posee un suelo Argiudol ácuico con características aceptablemente homogéneas en toda su superficie. Presenta signos de degradación química en sus horizontes superficiales, a juzgar por el bajo contenido de materia orgánica y la existencia de un incipiente proceso de acidificación. Los elevados niveles de densidad aparente, la estructura masiva y el incremento de la resistencia mecánica en la capa más profunda del horizonte A, indican que también se encuentra comprometida la fertilidad física del suelo. Observaciones similares ya habían sido realizadas en otros suelos con largo historial de caña de azúcar en la zona de influencia de la EEA Famaillá.

La demanda de tracción de las labores fue elevada. Con la técnica de la labranza en franjas sólo fueron alterados sectores predeterminados de la capa arable, con el consecuente ahorro de tiempo, energía y consumo de combustible.

El perfil de resistencia del suelo efectuado en las parcelas con tratamiento 1 indica que la secuencia de labores utilizadas para efectuar la implantación convencional, fue insuficiente para fragmentar por completo la capa de suelo densificada. Sin embargo, aunque se hubiese logrado este objetivo al provocar la remoción el suelo, resulta efímera la persistencia del efecto.

5. BIBLIOGRAFÍA

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

Braunack, M.V.; J. Arvidson and I. Håkansson. 2006. Effect of harvest traffic position on soil conditions and sugarcane (*Saccharum officinarum*) response to environmental conditions in Queensland, Australia. *Soil & Tillage Research* 89: 103-121

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

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 & Till. Res.* 72: 125–137.

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.

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