

Cultivo de caña en Famaillá: Estudio de caso. Propiedades físicas del suelo: Evolución e impacto en el rendimiento del cultivo.

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° 29
Junio 2016



Ediciones

Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



Informe Técnico Nº 29

ISSN 1852-3080

Junio 2016

Cultivo de caña en Famaillá: Estudio de caso.
Propiedades físicas del suelo: Evolución e impacto en el rendimiento del cultivo

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. 4665-0495/0450/2115

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	7
3.3 Análisis físicoquímico del perfil del suelo	8
3.4 Relieve y diseño experimental	9
3.5 Estado de los parámetros físicos del suelo en el segundo año del ensayo	10
3.6 Desarrollo del cultivo	19
4. Consideraciones Finales	23
5. Bibliografía	24

Cultivo de caña en Famaillá: Estudio de caso.

Propiedades físicas del suelo: Evolución e impacto en el rendimiento del cultivo

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, están definidas por la forma de cosecha. En las borduras de las parcelas se mantienen sitios sin alterar, a fin de poder monitorear la evolución del suelo abandonado a la vegetación natural.

En este Informe Técnico se presenta la situación de los principales parámetros físicos del área experimental relevados durante el segundo año del ensayo (2014) y el rendimiento del cultivo. Las cargas ejercidas sobre el área de cultivo durante la cosecha convencional incrementaron sustancialmente la densidad aparente del horizonte A. Las subparcelas cosechadas de esta forma y que habían sido preparadas con el método tradicional de laboreo, se diferenciaron claramente de los sitios sin alterar. El efecto de los tratamientos y subtratamientos tuvo menor relevancia en el horizonte Bt₁. La resistencia media del perfil del suelo con labranza en franjas fue superior al obtenido con labranza convencional, pero se mantuvo más estable frente a los diferentes niveles de cargas aplicadas durante la cosecha. En la zona de influencia de las raíces del cultivo, la dureza del suelo resultó sensiblemente inferior cuando se utilizó la labranza en franjas. Los sitios sin alterar presentaron los perfiles de mayor resistencia debido a su menor contenido de humedad. Aún no se presentan diferencias significativas en el rendimiento del cultivo que reflejen las variaciones observadas en el estado del suelo.

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.

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 los brotes de las socas más viejas son 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.

Los trabajos realizados en el área cañera por el personal del Laboratorio de Terramecánica e Implantación de Cultivos (LTI) del Instituto de Ingeniería Rural (IIR-CIA-CNIA-INTA Castelar) también cuestionan la conveniencia de continuar con el actual sistema de producción y plantean la necesidad de hallar nuevas alternativas de manejo del cultivo.

Al comienzo de este ensayo, entre los meses de junio y julio de 2013, se evaluó la situación de base del área experimental encontrándose los síntomas típicos de degradación del suelo que caracterizan a la zona cañera (Informe Técnico Nº 25). En el presente informe se describe la evolución de algunos parámetros físicos del suelo relevados durante el segundo año del ensayo (2014), como así también, la respuesta del cultivo bajo diferentes alternativas de manejo.

El objetivo de este trabajo fue evaluar los parámetros físicos del suelo luego de un año y determinar el efecto de las alteraciones generadas por las distintas formas de manejo sobre el rendimiento del cultivo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En un área con suelos argiudoles ácuicos de la EEA Famaillá (Tucumán), con un prolongado historial de monocultivo de caña de azúcar con el manejo tradicional de la zona y teniendo como antecesor un rastrojo de soja, comenzaron a probarse a partir del año 2013 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, el cultivo fue conducido con el manejo tradicional de la zona. 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-CNIA-INTA Castelar) en el marco del PNEG 141110 “Residuos y cultivos para la producción de bioenergía”. 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 permanecieron inalterados a excepción del control mecánico superficial de malezas. En los dos sistemas de manejo se emplearon iguales tipos y dosis de fertilizantes y se evitó la quema del rastrojo.

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 realizó mediante una máquina de arrastre de mucho menor peso. Para la cosecha convencional, se utilizó una máquina “Cameco” con un peso aproximado de 12000 kg y se permitió el tránsito de camiones dentro de las parcelas. En el otro subtratamiento, denominado “cosecha reducida” se empleó una cosechadora de tracción libre con un peso de 2500 kg, la “cañera INTA”, utilizando tractores y acoplados para el transporte de la caña, pero evitando el ingreso de camiones en el área de cultivo.



Figura 2.1: Máquina utilizada en la cosecha reducida. Peso aproximado 2.500 kg.



Figura 2.2: Máquina utilizada en la cosecha convencional. Peso aproximado 12.000 kg

El diseño experimental es en bloques completos aleatorizados con parcelas divididas y tres repeticiones por tratamiento. Las unidades completas son las formas de manejo, convencional y mediante labranza en franjas y las subparcelas quedan definidas por la forma de cosecha. En las borduras de las parcelas se mantuvieron sitios sin alterar, a fin de poder monitorear la evolución del suelo abandonado a la vegetación natural. El análisis estadístico de los resultados es llevado a cabo mediante ANVA factorial 2 x 2 para un diseño en parcelas divididas con submuestreo.

Parámetros físicos del suelo relevados durante el segundo año del ensayo

Densidad aparente: se determinó a partir de muestras de suelo contenidas en cilindros metálicos de volumen y peso conocido. Dichas muestras fueron extraídas en los entresurcos de cada subparcela, a intervalos de profundidad de 10 cm 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.

Perfiles de resistencia del suelo: se efectuaron transectas perpendiculares al eje longitudinal en cada una de las subparcelas, de centro a centro de dos surcos contiguos. Las mediciones se realizaron a intervalos de 10 cm a lo largo de cada transecta, hasta alcanzar una profundidad de 45 cm y tomando un dato cada 2,5 cm mediante un penetrómetro electrónico estandarizado (ASAE Standard S.313. 1992).

Estimación del rendimiento del cultivo

Número de tallos: se eligieron al azar 6 surcos en cada subparcela. En cada uno de ellos se marcó una distancia de cinco metros y se contó la totalidad de los tallos. Los datos fueron convertidos a tallos por metro de surco ($\text{tallos}\cdot\text{m}^{-1}$).

Peso de los tallos: previo a la cosecha, se seleccionaron 10 tallos representativos de cada sitio de muestreo. Los tallos fueron cortados, limpiados y pesados. Los datos fueron convertidos a peso por tallo ($\text{kg}\cdot\text{tallo}^{-1}$).

Rendimiento: la estimación del rendimiento de caña por hectárea se obtuvo considerando 6000 metros lineales de surco por hectárea, la cantidad de tallos por metro de surco y el peso por tallo. Todos los rendimientos fueron expresados en toneladas por hectárea ($\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$).



Figura 2. 3: Vista panorámica del cultivo

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	
	<p>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.</p>
	<p>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.</p>
	<p>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.</p>
	<p>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.</p>
Paisaje	
	<p>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 CaCO₃; límite claro y suave.</p>
	<p>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.</p>

3.3: Análisis fisicoquímico 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
12	Clase Textural		Franco arcilloso	Franco arcilloso	Franco arcillo limoso	Franco arcilloso	Franco limoso
	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. Nitrógeno
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.

3.5: Estado de los parámetros físicos del suelo en el año 2014

3.5.1: Densidad aparente

No se detectaron diferencias significativas en la densidad aparente del suelo entre parcelas provenientes de labranza convencional o de labranza en franjas ($F=1,96$; $Pr>F= 0,1758$). La principal fuente de variación de la densidad aparente se encontró en los subtratamientos (Tabla 3.5.1.1). Las mayores cargas ejercidas sobre el suelo en el transcurso de la cosecha convencional incrementaron sustancialmente la densidad aparente promedio en el rango de profundidad de 0 a 40 cm ($F=10,96$; $Pr>F= 0,0005$). Este incremento tuvo casi idéntica magnitud en las parcelas provenientes de labranza en franjas y en las que fueron manejadas con labranza convencional, no manifestándose ninguna interacción entre tratamientos y subtratamientos ($F=0,00$; $Pr>F= 0,9707$).

Tratamiento	Dap (g·cm ⁻³)	Subtratamiento	Dap (g·cm ⁻³)	Profundidad (cm)	Dap (g·cm ⁻³)
Labranza convencional	1,504	Cosecha convencional	1,565	0 a 10	1,512
				> 10 a 20	1,572
				30 a 40	1,612
		Cosecha reducida	1,443	0 a 10	1,394
				> 10 a 20	1,429
				30 a 40	1,507
Labranza en franjas	1,468	Cosecha convencional	1,529	0 a 10	1,509
				> 10 a 20	1,543
				30 a 40	1,536
		Cosecha reducida	1,406	0 a 10	1,329
				> 10 a 20	1,372
				30 a 40	1,516

TABLA 3.5.1.1: Densidad aparente del área experimental discriminada por tratamiento, subtratamiento y profundidad de muestreo. Septiembre de 2014

La densidad aparente varió con la profundidad ($F=5,59$; $Pr>F= 0,0109$). A nivel de los tratamientos, las densidades aparentes a profundidades crecientes con labranza convencional fueron de 1,453 g·cm⁻³, 1,500 g·cm⁻³ y 1,560 g·cm⁻³. Con la labranza en franjas, las densidades aparentes fueron de 1,419 g·cm⁻³, 1,457 g·cm⁻³ y 1,526 g·cm⁻³. Los contrastes realizados para comparar la densidad aparente del horizonte A (0,0 a 10,0 cm y >10,0 a 20 cm) con la del Bt₁ (30 a 40 cm) dentro de cada uno de los tratamientos, dieron $Pr>F$ de 0,0474 y de 0,0357 respectivamente. Al hacer la misma comparación a nivel de subtratamientos, los resultados de los contrastes presentaron probabilidades de 0,3175 para la cosecha convencional y de 0,0031 para la cosecha reducida indicando que, en este caso, el tránsito tuvo escaso efecto sobre la densidad aparente del horizonte A ya que se mantuvo la tendencia existente en la situación de base (Informe Técnico N° 25). Por el

contrario, en un solo ciclo de cosecha convencional, las cargas aplicadas al suelo equipararon las densidades aparentes del horizonte A y del Bt₁.

La densidad aparente promedio del área experimental en los sitios sin alterar fue de 1,443 g·cm⁻³, alcanzando valores de 1,308 g·cm⁻³, 1,467 g·cm⁻³ y de 1,555 g·cm⁻³ en rangos de profundidades crecientes. El promedio no presentó diferencias de importancia al compararlo con los obtenidos en los tratamientos de labranza convencional y de labranza en franjas ($F=1,21$; $Pr>F= 0,3100$). Tampoco se observaron diferencias cuando se lo comparó con la cosecha reducida. Pero se manifestaron sustanciales variaciones al contrastar las densidades aparentes de las subparcelas provenientes de labranza convencional que fueron cosechadas en forma convencional y la de los sitios sin alterar (Tabla 3.5.1.2). Aunque sólo se trata de un resultado, esta última observación abona la teoría que sostiene que los suelos disturbados son más susceptibles a deteriorarse ante la posterior aplicación de cargas excesivas.

Manejo del suelo		Dap (g·cm ⁻³)	Grupos Homogéneos	
Forma de labranza	Forma de cosecha			
Convencional	Convencional	1,565		C
	Reducida	1,443	A	B
Franjas	Convencional	1,529		B C
	Reducida	1,406	A	
Sin Alterar		1,443	A	B

TABLA 3.5.1.2: Resultados de la prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha=0,05$). Densidad aparente promedio en el rango de profundidad de 0,0 a 0,40 cm, discriminada por tratamiento, subtratamiento y sitios sin alterar. Diferencia significativa mínima: 0,1136. Septiembre de 2014

Coherentemente con lo mencionado en el párrafo anterior, al efectuar la comparación a distintas profundidades entre subtratamientos y los sitios sin alterar, pudo observarse que la densidad aparente de los primeros 20 cm de suelo bajo cosecha convencional, superó a la de los sitios sin alterar. En cambio, con la cosecha reducida, no se encontraron diferencias dentro del horizonte A. En el horizonte Bt₁ no se encontraron diferencias con el testigo sin alterar en ninguno de los dos subtratamientos (Tabla 3.5.1.3). En la figura 3.5.1.1 se encuentra la representación gráfica de los resultados obtenidos.

Contraste	DF	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Cos Conv vs Testigo 0 a 20 cm (Horizonte A)	1	0,08604	0,08604	12,58	0,0014
Cos Red vs Testigo 0 a 20 cm (Horizonte A)	1	0,00017	0,00017	0,03	0,8747
Cos Conv vs Testigo 30 a 40 cm (Horizonte B _{t1})	1	0,00072	0,00072	0,11	0,7477
Cos Red vs Testigo 30 a 40 cm (Horizonte B _{t1})	1	0,00384	0,00384	0,56	0,4599

TABLA 3.5.1.3: Contrastes ortogonales realizados para determinar el efecto de los subtratamientos, respecto de los sitios sin alterar, a diferentes profundidades. Septiembre de 2014

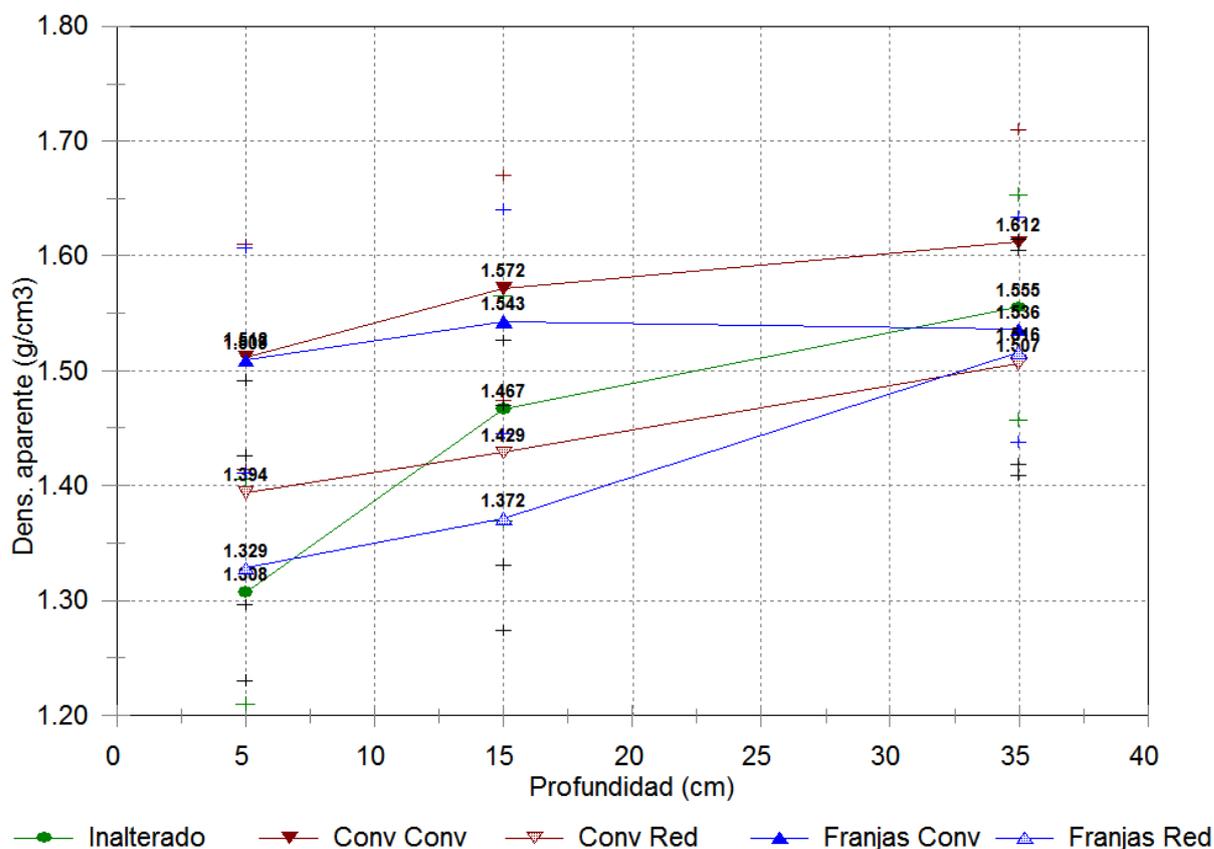


FIGURA 3.5.1.1: Densidad aparente discriminada por tratamientos y subtratamientos a diferentes profundidades. Referencias: la sigla “Conv Red” representa tratamiento y subtratamiento y significa labranza convencional, cosecha reducida. + Intervalos de confianza al 95%. Septiembre de 2014

Resulta interesante comparar las densidades aparentes de la situación de base, obtenida en el año 2013, y la de los sitios sin alterar del año 2014. Aunque en principio era esperable una mejora en la condición física del suelo, ya que estos sitios inalterados permanecieron un año más sin disturbar y continuaron evolucionando bajo la actividad biológica de la vegetación natural, la densidad aparente en el 2014 resultó significativamente mayor a la del 2013 ($F=12,0$; $Pr>F= 0,0085$).

En la tabla 3.5.1.4 se detallan las densidades aparentes por año y por profundidad. Resulta notable que entre el 2013 y el 2014 se manifestó un incremento en la densidad aparente en todas las profundidades relevadas y que, el de mayor relevancia, ocurrió entre los 10 y los 20 cm. Es en esta capa donde se presenta el principal problema físico de suelo en el sitio experimental y en prácticamente toda el área de producción cañera. En este estrato se obtuvieron diferencias altamente significativas entre las densidades aparentes del año 2013 y 2014 ($[t]=4,16$; $Pr>[t] < 0,0032$) y fue también el que determinó que existiesen diferencias estadísticas en la densidad aparente promedio del perfil del suelo.

Horizonte	Profundidad (cm)	Densidad aparente ($g \cdot cm^{-3}$)	
		Año 2013	Año 2014
A	0 a 10	1,291	1,308
	10 a 20	1,382	1,467
Bt ₁	30 a 40	1,534	1,555
Promedio 0 a 40 cm		1,402	1,443

TABLA 3.5.1.4: Densidades aparentes obtenidas en la situación de base (año 2013) y en los sitios sin disturbar (año 2014).

Se especula que la menor densidad aparente del año 2013 obedeció al efecto residual de la labranza efectuada al implantar el cultivo de soja en el año 2011. De ser así, el suelo podría no haber alcanzado su estado de equilibrio en la situación de base, por lo cual su estado físico presentaría un grado de deterioro mayor aún que el estimado en el año 2013.

Si bien en este informe no se hace referencia a las características y variaciones del estado poroso del suelo, es oportuno mencionar que los cambios en la densidad aparente afectaron principalmente la macroporosidad, lo cual podría comprometer el movimiento de agua y del aire a través del perfil.

3.5.2: Humedad del suelo

Se alcanzó el umbral de significación estadística al comparar la humedad del suelo entre parcelas provenientes de labranza convencional y de labranza en franjas ($F=4,02$; $Pr>F= 0,0546$). Los subtratamientos (Tabla 3.5.2.1) y la profundidad tuvieron una influencia mínima sobre este parámetro. La única diferencia de importancia se encontró al comparar la humedad de los subtratamientos en el horizonte A, dentro de las parcelas con labranza convencional ($F=4,84$; $Pr>F= 0,0363$). Se especula que una parte de la porosidad generada por la labranza pudo preservarse en los entresurcos de las subparcelas con cosecha reducida, debido a la menor aplicación de cargas superficiales, favoreciendo la acumulación de agua en el horizonte superficial.

Tratamiento	Humedad gravimétrica (%)	Subtratamiento	Humedad gravimétrica (%)	Profundidad (cm)	Humedad gravimétrica (%)
Labranza convencional	24,7	Cosecha convencional	24,3	0 a 10	24,9
				> 10 a 20	23,0
				30 a 40	25,0
		Cosecha reducida	25,1	0 a 10	26,0
				> 10 a 20	26,2
				30 a 40	23,1
Labranza en franjas	22,9	Cosecha convencional	23,5	0 a 10	23,9
				> 10 a 20	22,8
				30 a 40	23,8
		Cosecha reducida	22,3	0 a 10	23,8
				> 10 a 20	21,9
				30 a 40	21,1

TABLA 3.5.2.1: Humedad gravimétrica del área experimental discriminada por tratamiento, subtratamiento y profundidad de muestreo. Septiembre de 2014

La humedad promedio en los sitios sin alterar fue de 19,2 %, alcanzando valores de 21,1 %, 18,2 % y 18,4 % en rangos de profundidades crecientes. El promedio presentó diferencias altamente significativas al compararlo con los obtenidos en los tratamientos de labranza convencional y de labranza en franjas ($F=20,85$; $Pr>F <0,0001$). El menor contenido de humedad en los sitios sin alterar es atribuible a la presencia de vegetación natural herbácea, en contraposición con la cobertura de restos de cosecha en las parcelas de ensayo. En la figura 3.5.2.1 se encuentra la representación gráfica de los resultados obtenidos.

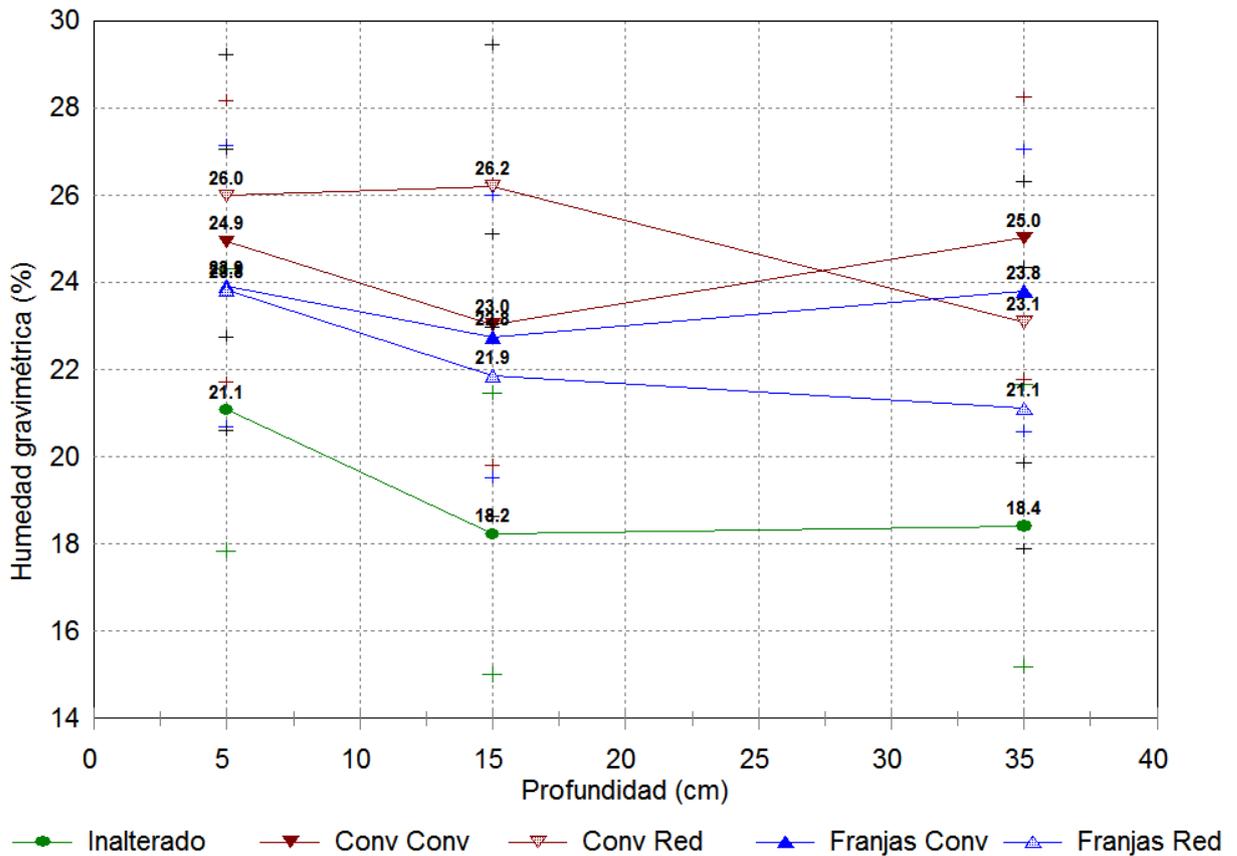


FIGURA 3.5.2.1: Humedad gravimétrica discriminada por tratamientos y subtratamientos a diferentes profundidades. Referencias: la sigla “Conv Red” representa tratamiento y subtratamiento y significa labranza convencional, cosecha reducida. + Intervalos de confianza al 95%. Septiembre de 2014

3.5.3: Resistencia a la penetración

Los valores medios de resistencia del perfil del suelo, en una sección de 1,60 m de ancho por 0,45 m de profundidad, fueron de 1748,6 kPa para la labranza en franjas y de 1615,9 para la labranza convencional. La diferencia entre ambos resultó altamente significativa ($F=16,18$; $Pr>F <0,0001$). En las parcelas que fueron implantadas mediante labranza en franjas, la cosecha reducida no contribuyó a disminuir el perfil de resistencia del suelo (Tabla 3.5.3.1). En cambio, el efecto de las cargas aplicadas sobre el suelo durante la cosecha se manifestó claramente en las parcelas tratadas con labranza convencional, alcanzando promedios de 1703,4 kPa y 1528,5 kPa con cosecha convencional y reducida respectivamente ($[t]=3,2572$; $Pr>[t] = 0,0002$). A su vez, luego de efectuar la cosecha convencional, no fue posible detectar diferencias entre los perfiles de resistencia del suelo de las subparcelas que provenían de labranza convencional o de labranza en franjas ($[t]=0,5527$; $Pr>[t] = 0,5805$).

Tratamiento	Índice de cono (kPa)	Subtratamiento	Índice de cono (kPa)
Labranza en Franjas	1748,6	Cosecha convencional	1677,7
		Cosecha reducida	1819,5
Labranza Convencional	1615,9	Cosecha convencional	1703,4
		Cosecha reducida	1528,5

Tabla 3.5.3.1: Índices de cono promedio del perfil del suelo, en secciones de 1,60 m de ancho por 0,45 m de profundidad, desglosados por tratamiento y subtratamiento. Septiembre de 2014.

Los resultados expresados hasta aquí se refieren a la totalidad del perfil, de centro a centro de dos surcos contiguos. Arbitrariamente, el perfil de resistencia puede dividirse en dos zonas: la del entresurco o trocha, a una distancia horizontal comprendida entre los 0,40 m y 1,20 m, y la zona de los surcos, el área de influencia de las raíces del cultivo, a distancias horizontales de 0 a 0,40 m y de 1,20 m a 1,60 m. Los resultados obtenidos al analizar esta última zona se encuentran en la tabla 3.5.3.2 y en ella puede observarse que el tratamiento con labranza en franjas presenta un perfil de resistencia en la zona de desarrollo radical sustancialmente menor al logrado por la labranza convencional ($F=53,32$; $Pr>F <0,0001$).

Tratamiento	Índice de cono (kPa)	Subtratamiento	Índice de cono (kPa)
Labranza en Franjas	1301,5	Cosecha convencional	1147,0
		Cosecha reducida	1456,0
Labranza Convencional	1635,5	Cosecha convencional	1645,3
		Cosecha reducida	1625,7

Tabla 3.5.3.2: Índices de cono promedio del perfil del suelo en la zona de desarrollo radical, a distancias horizontales de 0,00 m a 0,40 m y de 1,20 m a 1,60 m por 0,45 m de profundidad, desglosados por tratamiento y subtratamiento. Septiembre de 2014.

Los resultados de resistencia del perfil del suelo en la trocha, la zona de pisoteo de los neumáticos durante la cosecha, se encuentran en la tabla 3.5.3.3. En este caso, el perfil de resistencia alcanzado por la labranza en franjas resultó sensiblemente superior al de la labranza convencional ($F=158,8$; $Pr>F <0,0001$) y muy poco afectado por la forma de cosecha ($t=0,1099$; $Pr>t = 0,9181$).

Tratamiento	Índice de cono (kPa)	Subtratamiento	Índice de cono (kPa)
Labranza en Franjas	2146,0	Cosecha convencional	2149,3
		Cosecha reducida	2142,3
Labranza Convencional	1598,6	Cosecha convencional	1755,1
		Cosecha reducida	1442,0

Tabla 3.5.3.3: Índices de cono promedio del perfil del suelo en la trocha, zona de tránsito, a distancias horizontales de 0,40 m a 1,20 m por 0,45 m de profundidad, desglosados por tratamiento y subtratamiento. Septiembre de 2014.

Los perfiles de resistencia del suelo en los sitios sin alterar, abandonados a la vegetación natural desde el año 2012, fueron de 2898,1 kPa, 2770,5 kPa y 2395 kPa en los bloques I, II y III respectivamente. En todos los casos resultaron significativamente superiores a los alcanzados en los tratamientos y subtratamientos. En las figuras 3.5.3.1 a 3.5.3.5 pueden observarse los perfiles de resistencia del suelo.

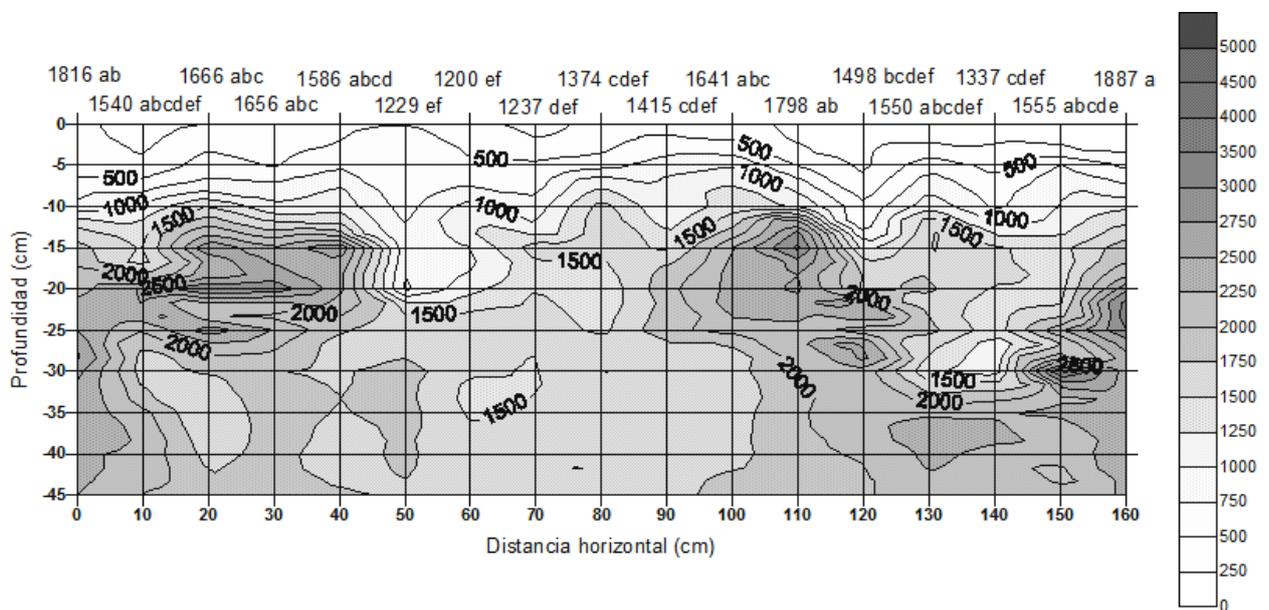


Figura 3.5.3.1: Perfil de resistencia del suelo. Tratamiento: labranza convencional. Subtratamiento: Cosecha reducida. Líneas de igual IC (isoresistencia) en rangos de 250 kPa. En la parte superior de la figura resistencia promedio en el rango de profundidad de 0,00 m a 0,45 m. Letras iguales significa ausencia de diferencia estadísticas (Tukey $\alpha = 0,05$). Septiembre de 2014.

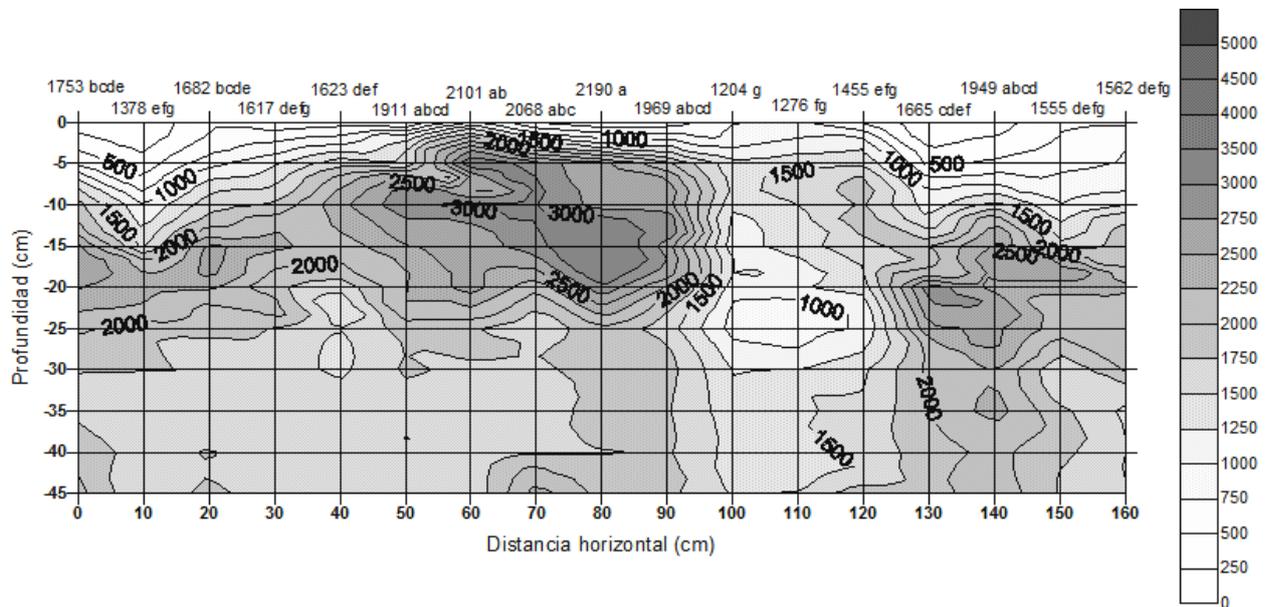


Figura 3.5.3.2: Perfil de resistencia del suelo. Tratamiento: labranza convencional. Subtratamiento: Cosecha convencional. Líneas de igual IC (isoresistencia) en rangos de 250 kPa. En la parte superior de la figura resistencia promedio en el rango de profundidad de 0,00 m a 0,45 m. Letras iguales significa ausencia de diferencia estadísticas (Tukey $\alpha = 0,05$). Septiembre de 2014.

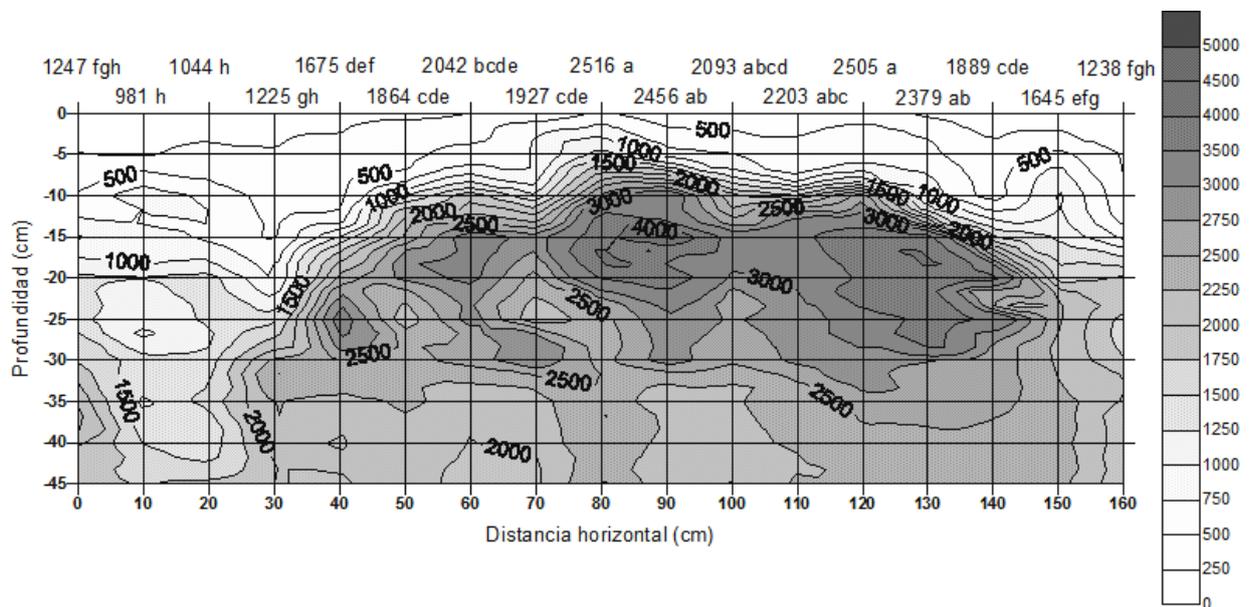


Figura 3.5.3.3: Perfil de resistencia del suelo. Tratamiento: labranza en franjas. Subtratamiento: Cosecha reducida. Líneas de igual IC (isoresistencia) en rangos de 250 kPa. En la parte superior de la figura resistencia promedio en el rango de profundidad de 0,00 m a 0,45 m. Letras iguales significa ausencia de diferencia estadísticas (Tukey $\alpha = 0,05$). Septiembre de 2014.

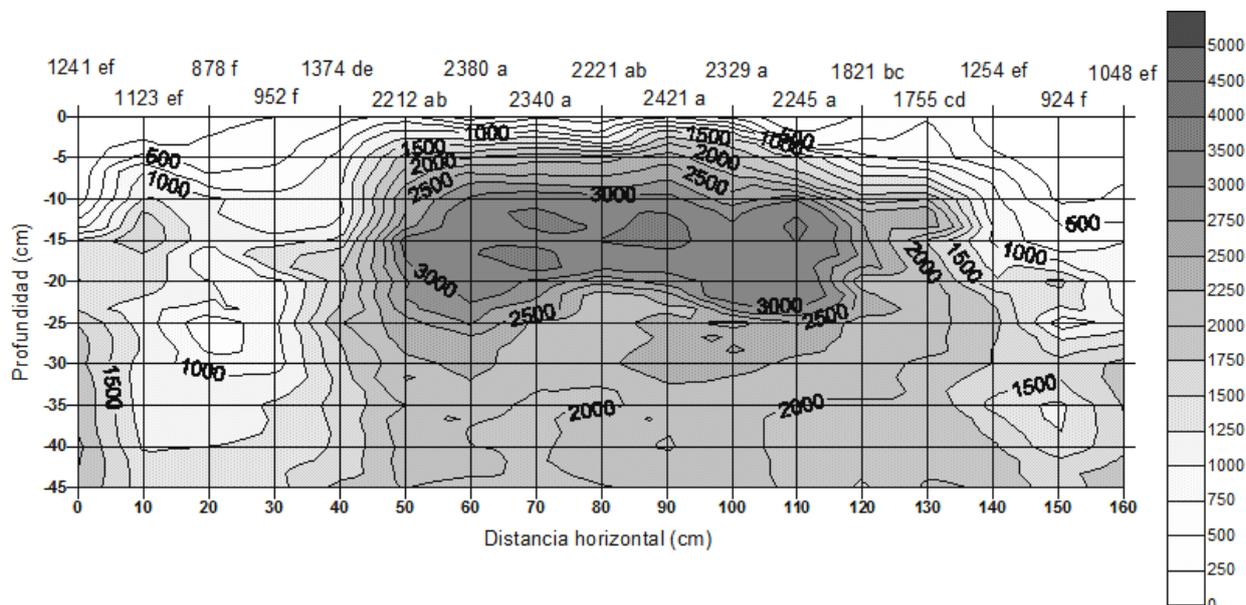


Figura 3.5.3.4: Perfil de resistencia del suelo. Tratamiento: labranza en franjas. Subtratamiento: Cosecha convencional. Líneas de igual IC (isoresistencia) en rangos de 250 kPa. En la parte superior de la figura resistencia promedio en el rango de profundidad de 0,00 m a 0,45 m. Letras iguales significa ausencia de diferencia estadísticas (Tukey $\alpha = 0,05$). Septiembre de 2014.

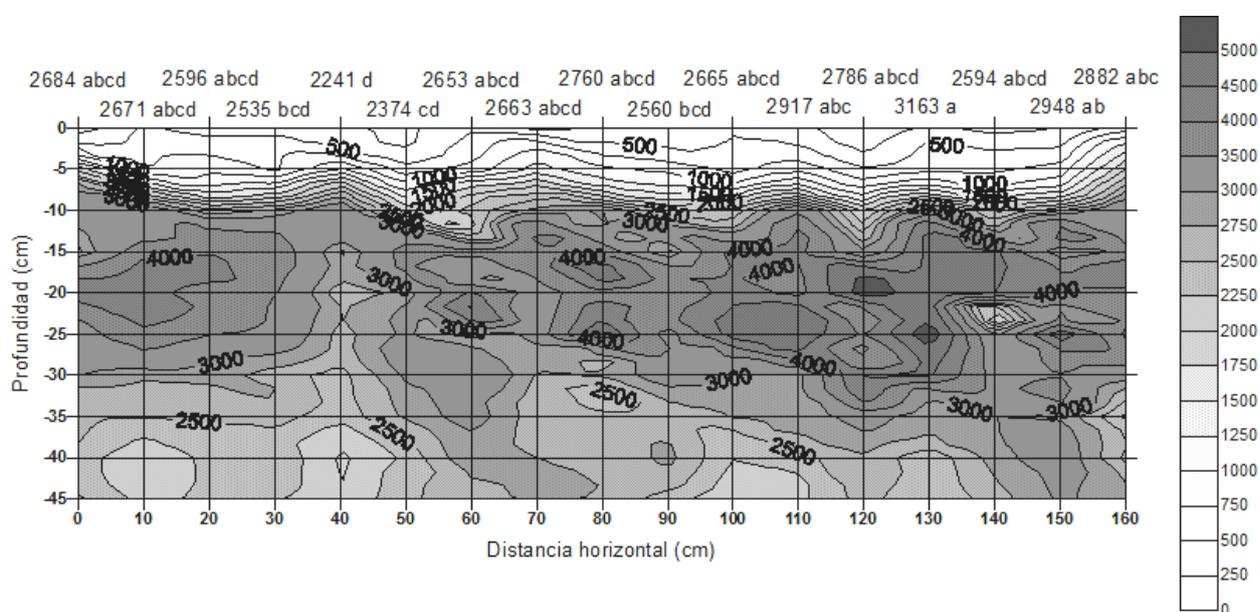


Figura 3.5.3.5: Perfil de resistencia del suelo. Sitios sin alterar, abandonados a la vegetación natural desde el año 2012. Líneas de igual IC (isoresistencia) en rangos de 250 kPa. En la parte superior de la figura resistencia promedio en el rango de profundidad de 0,00 m a 0,45 m. Letras iguales significa ausencia de diferencia estadísticas (Tukey $\alpha = 0,05$). Septiembre de 2014.

3.6: Desarrollo del cultivo

3.6.1: Brotación

La emergencia del cultivo utilizando la técnica de labranza en franjas fue más lenta que con la implantación convencional. La cantidad de brotes obtenidos en el primer muestreo bajo labranza

convencional, realizado a aproximadamente 4 meses de la plantación, prácticamente duplicaba al obtenido mediante labranza en franjas. Sin embargo, debido a la gran desuniformidad que presentaba el cultivo en ese momento, tanto en las parcelas con labranza convencional como en aquéllas que habían sido preparadas con labranza en franjas, no se encontraron diferencias significativas en la brotación entre tratamientos. La diferencia en la tasa de emergencia inicial entre los distintos tratamientos puede ser explicada por diferentes causas, que confluyeron en el momento de la implantación. La labranza en franjas fue realizada con la máquina sin su accesorio posterior para labranza secundaria. Aunque la construcción del prototipo para labranza en franjas no estaba finalizada en ese momento, se efectuó la plantación en esas condiciones para no demorar un año el inicio del ensayo. La ausencia de dicho accesorio pudo haber generado un menor grado de refinamiento del suelo, respecto de la implantación convencional, reduciendo el contacto del suelo con la caña semilla y retardando su brotación. Además, parte del suelo inalterado de la trocha y el rastrojo presente en ella, fue mezclado con el suelo disturbado por la labranza en el momento del tapado de los surcos. Pese a ello, en el segundo relevamiento efectuado en forma previa a la primera cosecha realizada en julio de 2014, la cantidad de tallos por metro prácticamente se había equiparado. En el año 2015, los tallos obtenidos bajo labranza en franjas superaron levemente a los de la implantación convencional, aunque sin alcanzar diferencias estadísticas. Tampoco se detectaron diferencias apreciables entre subtratamientos en su primer año de aplicación (Tabla 3.6.1).

Fecha de muestreo	Tratamiento	Tallos·m ⁻¹	Sub tratamiento	Brotos·m ⁻¹	IC (95%)	
					Inf.	Sup.
Noviembre de 2013	Franjas	3,09 ^(a)			-0,24	6,42
	Imp. Conv.	6,44 ^(a)			3,11	9,77
Junio de 2014	Franjas	12,00 ^(a)			10,27	13,71
	Imp. Conv.	13,28 ^(a)			11,56	15,00
Junio de 2015	Franjas	19,42 ^(a)	Convencional	19,27 ^(a)	17,49	21,05
			Reducida	19,56 ^(a)	17,78	21,34
	Imp. Conv.	18,88 ^(a)	Convencional	19,20 ^(a)	17,42	20,98
			Reducida	18,56 ^(a)	16,78	20,34

TABLA N° 3.6.1: Tallos de caña por metro de surco obtenidos en distintas fechas de muestreo. Referencias: Tratamientos: forma de implantación del cultivo. Imp. Conv: implantación convencional. Sub tratamiento: Forma de cosecha: Reducida: cosechadora liviana, sin pisoteo de camiones en el cerco. Letras diferentes en los brotes por metro de surco en la misma fecha de muestreo significa diferencias estadísticas entre los promedios ($Pr>[t] < 0.05$).

3.6.2: Peso de los tallos

El peso unitario de los tallos de caña previo a la cosecha presentó diferencias significativas entre tratamientos en el año 2014 (Tabla 3.6.2). La diferencia entre el tratamiento convencional y la

labranza en franjas puede ser atribuida al menor período de desarrollo que tuvo la caña en este último caso, como consecuencia del retraso en la emergencia. En el año 2015 el peso promedio de los brotes con la labranza en franjas superó levemente al obtenido mediante la implantación convencional, aunque sin alcanzar significación estadística. Sí se detectaron diferencias significativas entre subtratamientos al comparar implantación en franjas vs convencional bajo cosecha convencional, 1110,4 g y 992,1 g respectivamente ($[t]=3,23$; $Pr>[t]= 0,0120$). La misma comparación entre tratamientos, pero hecha entre subparcelas con cosecha reducida no resultó significativa ($[t]=1,73$; $Pr>[t]= 0,1218$).

Fecha de muestreo	Tratamiento	Peso tallos (g)	Subtratamiento	Peso tallos (g)	IC (95%)	
					Inf.	Sup.
Julio de 2014	Franjas	767,8 ^(a)			690,0	845,6
	Imp. Conv.	943,4 ^(b)			865,6	1021,2
Julio de 2015	Franjas	1045,0 ^(a)	Convencional	1110,4 ^(b)	1050,7	1170,1
			Reducida	979,6 ^(a)	919,9	1039,3
	Imp. Conv.	1017,5 ^(a)	Convencional	992,1 ^(a)	932,4	1051,8
			Reducida	1042,9 ^(a)	983,2	1102,6

TABLA N° 3.6.2: Peso promedio de los brotes de caña obtenidos en distintas fechas de muestreo. Referencias: Tratamientos: forma de implantación del cultivo. Imp. Conv: implantación convencional. Sub tratamiento: Forma de cosecha: Reducida: cosechadora liviana, sin pisoteo de camiones en el cerco. Letras diferentes en el peso promedio de los brotes en la misma fecha de muestreo, a nivel de tratamiento o en iguales subtratamientos, significa presencia de diferencias estadísticas ($Pr>[t] < 0,05$).

3.6.3: Rendimiento del cultivo

El rendimiento del cultivo de la caña planta implantado en forma convencional superó al obtenido mediante labranza en franjas, principalmente por la variación en el peso de las cañas (Tabla 3.6.3). Sin embargo, no se obtuvieron diferencias significativas debido a la gran dispersión de los datos del primer muestreo realizado en el año 2014. En el año 2015, las parcelas provenientes de labranza en franjas superaron el rendimiento de aquellas trabajadas en forma convencional. La máxima diferencia en rendimiento entre ambas formas de implantación se obtuvo en las subparcelas con cosecha convencional ($14 \text{ tn}\cdot\text{ha}^{-1}$) aunque no se alcanzaron diferencias estadísticas ($[t]=1,5660$; $Pr>[t]= 0,1560$). A pesar que aún no hay sustento como para establecer relaciones causa-efecto entre la condición del suelo y el rendimiento del cultivo, es oportuno mencionar que las subparcelas con cosecha convencional provenientes del tratamiento con implantación convencional, fueron las que más evidenciaron el efecto del tránsito.

Fecha de muestreo	Tratamiento	Rendimiento (tn·ha ⁻¹)	Sub tratamiento	Rendimiento (tn·ha ⁻¹)	IC (95%)	
					Inf.	Sup.
Junio de 2014	Franjas	55,58 ^(a)			26,03	85,13
	Imp. Conv.	75,45 ^(a)			45,90	104,99
Junio de 2015	Franjas	121,75 ^(a)	Convencional	128,37 ^(a)	113,81	142,93
			Reducida	115,12 ^(a)	100,56	129,68
	Imp. Conv.	115,29 ^(a)	Convencional	114,38 ^(a)	99,82	128,95
			Reducida	116,20 ^(a)	101,63	130,76

TABLA N° 3.6.3: Rendimiento de caña obtenido en distintas fechas de muestreo. Referencias: Tratamientos: forma de implantación del cultivo. Imp. Conv: implantación convencional. Sub tratamiento: Forma de cosecha: Reducida: cosechadora liviana, sin pisoteo de camiones en el cerco. Letras diferentes en el rendimiento del cultivo en la misma fecha de muestreo, a nivel de tratamiento o en iguales sub tratamientos, significa presencia de diferencias estadísticas ($Pr>[t] < 0,05$).

4. CONSIDERACIONES FINALES

El sistema de cosecha fue el factor de mayor influencia en la densidad aparente del suelo. Las cargas ejercidas sobre el área de cultivo durante la cosecha convencional, incrementaron sustancialmente la densidad aparente del horizonte A, aproximándola a las observadas en el horizonte B_{t1}.

Las subparcelas cosechadas en forma convencional y en las que se aplicó el método tradicional de laboreo, se diferenciaron claramente de los sitios sin alterar. En cambio, las densidades aparentes de las subparcelas con cosecha reducida y las de aquellas en las que se utilizó cosecha convencional pero que fueron implantadas mediante labranza en franjas, resultaron equivalentes a las de los sitios inalterados.

El efecto de los tratamientos y subtratamientos tuvo menor relevancia en el horizonte B_{t1} ya que, en ningún caso, se encontraron diferencias significativas al compararlo con los sitios inalterados.

Los sitios inalterados presentaron mayores densidades aparentes que las observadas en el año 2013, al analizar la situación de base del área experimental. La máxima diferencia entre ambos años se encontró en el estrato de profundidad de 10 a 20 cm.

La resistencia media del perfil del suelo con labranza en franjas fue superior al obtenido con labranza convencional, pero se mantuvo más estable frente a los diferentes niveles de cargas aplicadas durante la cosecha. En la zona de influencia de las raíces del cultivo, a una distancia horizontal de +/- 40 cm del centro de los surcos, la dureza del suelo resultó sensiblemente inferior cuando se utilizó la labranza en franjas.

Los sitios sin alterar presentaron los perfiles de mayor resistencia debido a su menor contenido de humedad.

La alteración generada en la condición del suelo por las diferentes formas de manejo aún no se manifiesta en variaciones significativas en el rendimiento del cultivo.

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 (2006) 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.

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.

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 Agroindustria
Presidencia de la Nación