

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

Omar Tesouro¹ / Enrique Fernández de Ullivarri² / Leonardo Venturelli¹ / Marcos Roba¹ / Ángel Romito¹ / Otto Neiman¹

Instituto de Ingeniería Rural - CIA - CNIA

¹Laboratorio de Terramecánica e Implantación de Cultivos

²EEA Famaillá (Tucumán)

Informe Técnico N° 33
Septiembre 2017



Ediciones

Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



Informe Técnico Nº 33
ISSN 1852-3080
Septiembre 2017

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

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

INDICE

Resumen	2
1. Introducción	3
2. Materiales y Métodos	4
3. Resultados	7
3.1 Descripción y clasificación del suelo del área experimental	7
3.2 Caracterización del perfil del suelo	7
3.3 Análisis físico-químico del perfil del suelo	8
3.4 Relieve y diseño experimental	9
3.5 Estado de los parámetros físicos del suelo en el tercer 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 (II)

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. 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.

En este Informe Técnico se presenta la situación de los principales parámetros físicos del área experimental relevados durante el tercer año del ensayo y el rendimiento del cultivo del año 2016. Las observaciones realizadas a partir del muestreo del año 2015 confirman las tendencias que se manifestaron en el año 2014, luego de efectuar la primera cosecha de la caña. La cosecha llevada a cabo de forma convencional incrementó la densidad aparente del perfil del suelo, principalmente en las parcelas donde el cultivo fue implantado de manera convencional. La densidad aparente de los primeros centímetros del horizonte A en los sitios sin disturbar, se mantuvo estable en los valores obtenidos en los años 2013 y 2014. La capa más profunda de este horizonte manifiesta una tendencia a la estabilización, pero a valores superiores a los encontrados en la situación de base. En el Bt₁, en cambio, la densidad aparente se incrementó significativamente desde el inicio del ensayo. La humedad del suelo en el área experimental presentó una distribución coherente con la densidad aparente. El perfil de menor resistencia mecánica del suelo se correspondió con las subparcelas de cosecha reducida que fueron implantadas de forma convencional, en las cuales no resultó perceptible el piso de arado. Por el contrario, cuando se utilizó la cosecha convencional en el suelo previamente laboreado, se manifestó claramente el reestablecimiento de esta impedancia. Entre estas subparcelas fue donde se obtuvo la mayor diferencia en el rendimiento, de aproximadamente 17 t·ha⁻¹, aunque no se alcanzó el umbral de significación estadística.

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 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) también cuestionan la conveniencia de continuar con el actual sistema de producción y plantean la necesidad de hallar nuevas alternativas de manejo del cultivo (Tesouro et al., 2011).

Al comienzo de este ensayo, entre los meses de junio y julio de 2013, fue evaluada la situación de base del área experimental encontrándose los síntomas típicos de degradación del suelo que caracterizan a la zona cañera (Informe Técnico N° 25).

El objetivo de este trabajo fue evaluar los parámetros físicos del suelo en el tercer año del ensayo y determinar el efecto de las alteraciones generadas por las dos 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) 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 12.000 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 2.500 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 y las subparcelas quedaron 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 año 2015

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 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.

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 6.000 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 ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$).



Figura 2.3: Vista del cultivo. Implantación convencional



Figura 2.4: Vista del cultivo. Implantación con labranza en franjas

Como ya fuera dicho, en este Informe Técnico se presenta la situación de los principales parámetros físicos del área experimental relevados durante el tercer año del ensayo (2015) y el rendimiento del cultivo del año 2016. La tabla 2.1 sintetiza las relaciones mencionadas a lo largo del texto.

Tabla 2.1: Cronograma de actividades y las relaciones temporales entre ellas.

Año calendario	Nº de orden	Parámetros físicos relevados	Nº de cosecha	Fecha de cosecha
2013	Año 1 Situación de base	SI	-----	-----
2014	Año 2	SI	1º	julio
2015	Año 3	SI	2º	septiembre
2016	Año 4	SI	3º	septiembre



3. RESULTADOS

3.1: Descripción y clasificación del suelo del área experimental

Tabla 3.1.1: Clasificación del suelo del área experimental.

Orden	Suborden	Gran Grupo	Subgrupo
Molisol	Udol	Argiudol	ácuico

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>
	<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>	
Paisaje	
	

3.3: Análisis físico-químico del perfil del suelo

Tabla 3.3.1: Análisis físico-químico del perfil del suelo.

Determinación	Unidades	Ap	A	Bt ₁	Bt ₂	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

Referencias:

1. pH, relación suelo / agua, 1:2,5; determinación potenciométrica.
2. Conductividad eléctrica, medida en el extracto de saturación, determinación por 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.

3.4: Relieve y diseño experimental

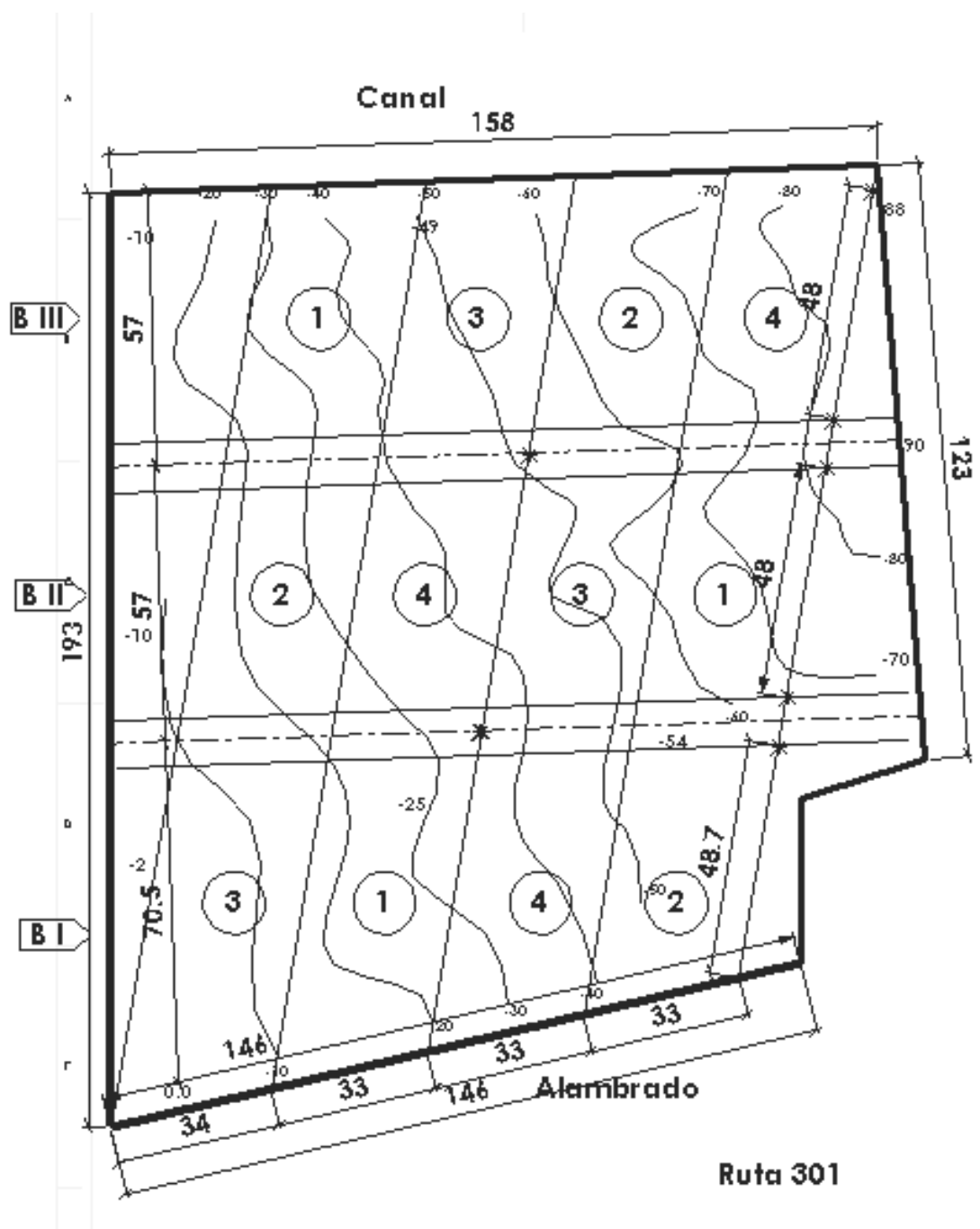


Figura 3.4.1: Plano del ensayo.

Referencias:

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

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

Parcelas 1: Tratamiento: Implantación convencional; Subtratamiento: Cosecha convencional

Parcelas 2: Tratamiento: Implantación convencional; Subtratamiento: Cosecha reducida

Parcelas 3: Tratamiento: Labranza en franjas; Subtratamiento: Cosecha convencional

Parcelas 4: Tratamiento: Labranza en franjas; Subtratamiento: Cosecha reducida

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

Las dimensiones del área experimental están expresadas en metros.

3.5: Estado de los parámetros físicos del suelo en el año 2015

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 ($F = 2,96$; $Pr > F = 0,0973$). La principal fuente de variación 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 ($F = 20,35$; $Pr > F < 0,0001$). Este incremento tuvo mayor magnitud y alcanzó significación estadística en las subparcelas donde se utilizó labranza convencional, manifestándose entonces una interacción significativa entre tratamientos y subtratamientos ($F = 5,10$; $Pr > F = 0,0333$).

TABLA 3.5.1.1: Densidad aparente del área experimental discriminada por tratamiento, subtratamiento y profundidad de muestreo. Septiembre de 2015.

Tratamiento	Dap (g·cm ⁻³)	Subtratamiento	Dap (g·cm ⁻³)	Profundidad (cm)	Dap (g·cm ⁻³)
Labranza convencional	1,516	Cosecha convencional	1,573	0 a 10	1,501
				> 10 a 20	1,583
				30 a 40	1,635
		Cosecha reducida	1,459	0 a 10	1,366
				> 10 a 20	1,455
				30 a 40	1,556
Labranza en franjas	1,545	Cosecha convencional	1,564	0 a 10	1,543
				> 10 a 20	1,557
				30 a 40	1,593
		Cosecha reducida	1,526	0 a 10	1,436
				> 10 a 20	1,502
				30 a 40	1,640

La densidad aparente varió con la profundidad ($F = 24,63$; $Pr > F < 0,0001$). A nivel de los tratamientos, las densidades aparentes a profundidades crecientes con labranza convencional fueron de 1,434 g·cm⁻³, 1,519 g·cm⁻³ y 1,596 g·cm⁻³. Con la labranza en franjas, las densidades aparentes fueron de 1,490 g·cm⁻³, 1,530 g·cm⁻³ y 1,617 g·cm⁻³. La comparación entre la densidad aparente media del horizonte A con labranza convencional (1,476 g·cm⁻³) y con labranza en franjas (1,510 g·cm⁻³) no alcanzó significación estadística ($F = 2,61$; $Pr > F = 0,1189$). Al efectuar la misma comparación a nivel de los subtratamientos se determinó que la densidad del horizonte A bajo cosecha convencional (1,546 g·cm⁻³) fue significativamente superior ($F = 26,44$; $Pr > F < 0,0001$) a la obtenida bajo cosecha reducida (1,440 g·cm⁻³).

La densidad aparente promedio del área experimental en los sitios sin alterar fue de $1,474 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, alcanzando valores de $1,296 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, $1,474 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ y de $1,651 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ en rangos de profundidades crecientes. El promedio presentó diferencias significativas al compararlo con el tratamiento de labranza convencional ($F = 4,24$; $Pr>F = 0,0481$) y con el de labranza en franjas ($F = 12,12$; $Pr>F = 0,0016$). En la prueba de Tukey efectuada a nivel de los subtratamientos, sólo las subparcelas que recibieron cosecha reducida se incluyeron en el mismo grupo homogéneo de los testigos (Tabla 3.5.1.2).

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: 0,0686. Septiembre de 2015.

Manejo del suelo		Dap ($\text{g}\cdot\text{cm}^3$)	Grupos Homogéneos	
Forma de labranza	Forma de cosecha			
Convencional	Convencional	1,573		B
	Reducida	1,459	A	
Franjas	Convencional	1,564		B
	Reducida	1,526	A	B
Sin Alterar		1,474	A	

Al efectuar la comparación a distintas profundidades entre subtratamientos y los sitios sin alterar en el horizonte A, pudo observarse que solo la densidad aparente de las subparcelas con labranza convencional y cosecha reducida no presentaban diferencias significativas con el testigo ($F = 0,75$; $Pr>F = 0,3921$). En la figura 3.5.1.1 se encuentra la representación gráfica de los resultados obtenidos.

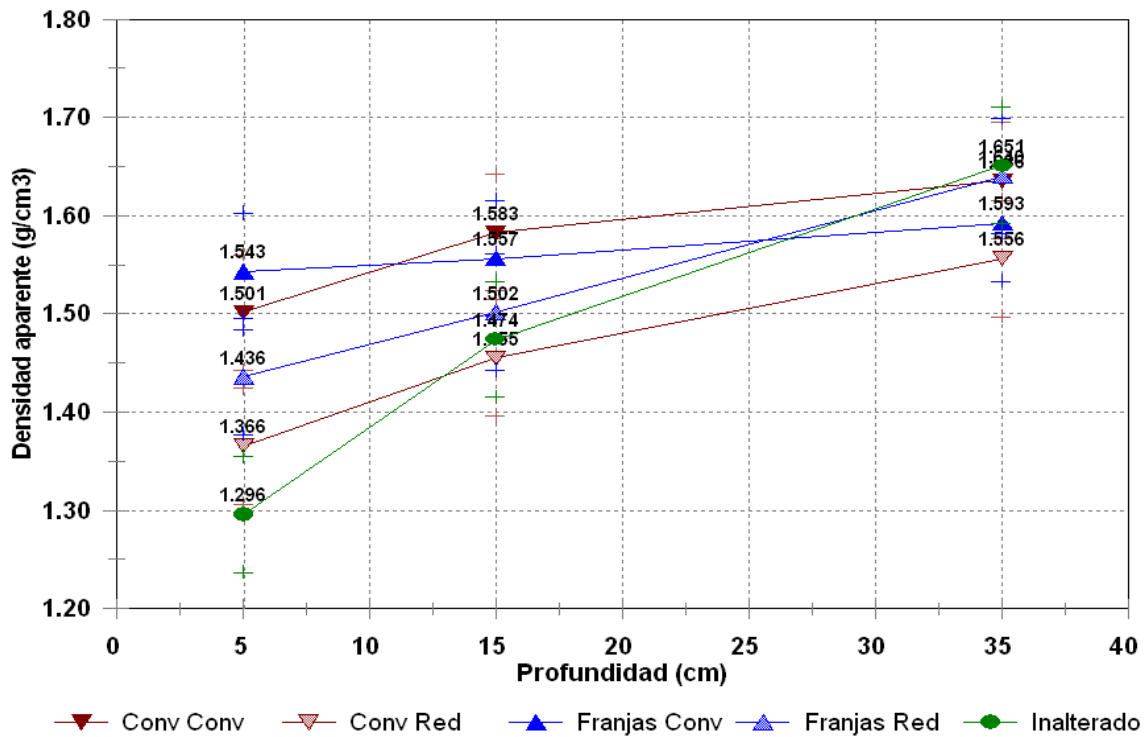


FIGURA 3.5.1.1: Densidad aparente discriminada por tratamientos y subtratamientos a diferentes profundidades. Referencias: la sigla “Conv Red” representa tratamiento y subtratamiento y significa labranza convencional, cosecha reducida. + Intervalos de confianza al 95%. Septiembre de 2015.

Resulta interesante comparar las densidades aparentes de la situación de base, obtenidas en el año 2013 y la de los sitios sin alterar de los años 2014 y 2015. Aunque en principio era esperable una mejora en la condición física del suelo, ya que estos sitios inalterados permanecieron durante más tiempo sin disturbar y continuaron evolucionando bajo la actividad biológica de la vegetación natural, la densidad aparente promedio en el rango de profundidad de 0 a 40 cm aumentó en el 2014 y lo hizo nuevamente en el 2015.

En la tabla 3.5.1.3 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 entre esos años. En cambio, en los primeros 10 cm del horizonte A, donde se encuentra la mayor actividad biológica, la densidad aparente se mantuvo prácticamente constante. Entre los años 2014 y 2015 no se observaron cambios significativos en el horizonte A, pero sí en el Bt₁ ($t = 2,14$; $Pr > [t] = 0,0466$).

TABLA 3.5.1.3: Densidades aparentes obtenidas en la situación de base (año 2013) y en los sitios sin disturbar (años 2014 y 2015).

Horizonte	Profundidad (cm)	Densidad aparente (g·cm ⁻³)		
		Año 2013	Año 2014	Año 2015
A	0 a 10	1,291	1,308	1,296
	10 a 20	1,382	1,467	1,474
Bt ₁	30 a 40	1,534	1,555	1,651
Promedio 0 a 40 cm		1,402	1,443	1,474

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.

3.5.2: Humedad del suelo

La humedad del suelo promedio en el rango de profundidad de 0 a 40 cm fue prácticamente coincidente en las parcelas provenientes de labranza convencional y en las de labranza en franjas (Tabla 3.5.2.1). En estas últimas, los subtratamientos tuvieron un efecto nulo tanto en el contenido de humedad medio del perfil, como en su distribución en profundidad. En cambio, en las parcelas con labranza convencional, el contenido de humedad del suelo fue significativamente inferior donde se utilizó la cosecha convencional ($[t] = 2,68$; $Pr>[t] = 0,0131$). Las diferencias entre ambos subtratamientos se observaron en la parte más profunda del horizonte A y en el Bt₁. 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 permeabilidad del suelo y una mayor acumulación de agua en las capas más profundas del perfil.

TABLA 3.5.2.1: Humedad gravimétrica del área experimental discriminada por tratamiento, subtratamiento y profundidad de muestreo. Septiembre de 2015.

Tratamiento	Humedad gravimétrica (%)	Subtratamiento	Humedad gravimétrica (%)	Profundidad (cm)	Humedad gravimétrica (%)
Labranza convencional	27,8	Cosecha convencional	26,7	0 a 10	25,5
				> 10 a 20	26,3
				30 a 40	28,4
	Cosecha reducida	28,9	0 a 10	25,0	
			> 10 a 20	28,2	
			30 a 40	33,4	
Labranza en franjas	27,8	Cosecha convencional	27,8	0 a 10	25,9
				> 10 a 20	27,3
				30 a 40	30,1
	Cosecha reducida	27,9	0 a 10	25,4	
			> 10 a 20	26,9	
			30 a 40	31,4	

La humedad promedio en los sitios sin alterar fue de 25,1 %, alcanzando valores de 23,5 %, 24,4 % y 27,5 % 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 ($F = 13,01$; $Pr > F = 0,0011$). 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.

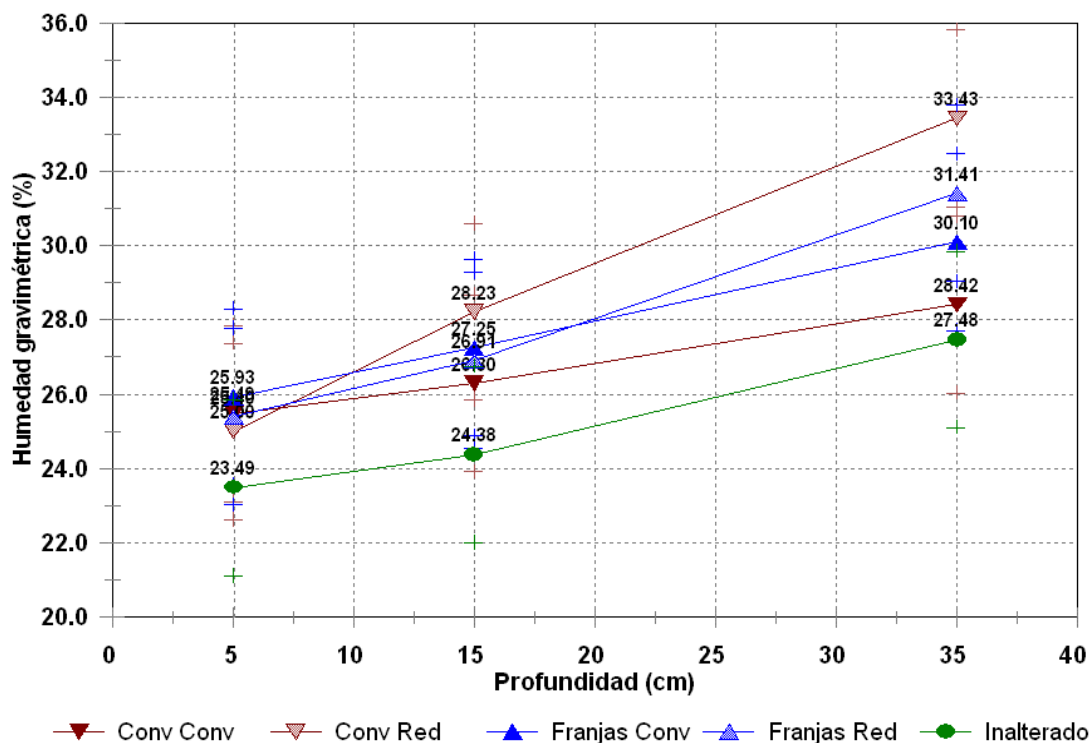


FIGURA 3.5.2.1: Humedad gravimétrica discriminada por tratamientos y subtratamientos a diferentes profundidades. Referencias: la sigla “Conv Red” representa tratamiento y subtratamiento y significa labranza convencional, cosecha reducida. + Intervalos de confianza al 95%. Septiembre de 2015.

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, resultaron casi coincidentes a nivel de tratamientos alcanzando los 1511,3 kPa en las parcelas con labranza en franjas y 1530,9 kPa en las que se utilizó labranza convencional ($F = 0,73$; $Pr > F = 0,3937$). La cosecha reducida contribuyó a disminuir la resistencia del suelo en los dos tratamientos y aunque en ambos casos existieron diferencias significativas, el efecto fue de mayor magnitud en las subparcelas que fueron implantadas mediante labranza convencional que en aquellas donde se utilizó labranza en franjas (Tabla 3.5.3.1). El perfil de menor resistencia media se observó en las subparcelas con cosecha reducida y labranza convencional, diferenciándose incluso del obtenido con igual forma de cosecha y labranza en franjas ($[t] = 3,932$; $Pr > [t] < 0,0001$). Es oportuno mencionar que aquel perfil, fue el único que presentó una tendencia al incremento progresivo en la resistencia del suelo hasta alcanzar el límite de profundidad evaluado (Figura 3.5.3.1). Es decir que, en este caso, no se manifestó la presencia del piso de arado.

La inclusión de la humedad del suelo como variable explicativa no afectó las tendencias observadas en la resistencia mecánica de los subtratamientos. El análisis de la covarianza, incorporando a la humedad como covariable, modificó el nivel de significación en las subparcelas de 0,0017 a 0,0082.

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 2015.

Tratamiento	Índice de cono (kPa)	Subtratamiento	Índice de cono (kPa)
Labranza en Franjas	1511,3	Cosecha convencional	1571,7
		Cosecha reducida	1450,9
Labranza Convencional	1530,9	Cosecha convencional	1738,5
		Cosecha reducida	1323,3

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 ($F = 107,29$; $Pr > F < 0,0001$), inclusive en aquellas subparcelas donde se utilizó cosecha reducida ($F = 16,78$; $Pr > F < 0,0001$).

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 2015.

Tratamiento	Índice de cono (kPa)	Subtratamiento	Índice de cono (kPa)
Labranza en Franjas	1166,4	Cosecha convencional	1167,1
		Cosecha reducida	1165,7
Labranza Convencional	1494,1	Cosecha convencional	1663,1
		Cosecha reducida	1325,1

Los resultados de resistencia del perfil del suelo en la trocha, la zona de tránsito 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 ($F = 65,66$; $Pr > F < 0,0001$) y fue menos afectado por la forma de cosecha. En este caso, el incremento en la resistencia del perfil provocado por la cosecha convencional fue del 9,9% mientras que en las subparcelas que recibieron labranza convencional el aumento fue del 33,8%. En todos los casos las diferencias entre ambas formas de cosecha resultaron altamente significativas.

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 2015.

Tratamiento	Índice de cono (kPa)	Subtratamiento	Índice de cono (kPa)
Labranza en Franjas	1815,5	Cosecha convencional	1901,3
		Cosecha reducida	1729,8
Labranza Convencional	1564,3	Cosecha convencional	1790,5
		Cosecha reducida	1338,0

La resistencia media de los perfiles del suelo en los sitios sin alterar, abandonados a la vegetación natural desde el año 2012, fue de 2165,0 kPa y resultó significativamente superior a los alcanzados en los tratamientos y subtratamientos ($F = 536,9$; $Pr > F < 0,0001$). En las figuras 3.5.3.1 a 3.5.3.5 pueden observarse los perfiles de resistencia del suelo.

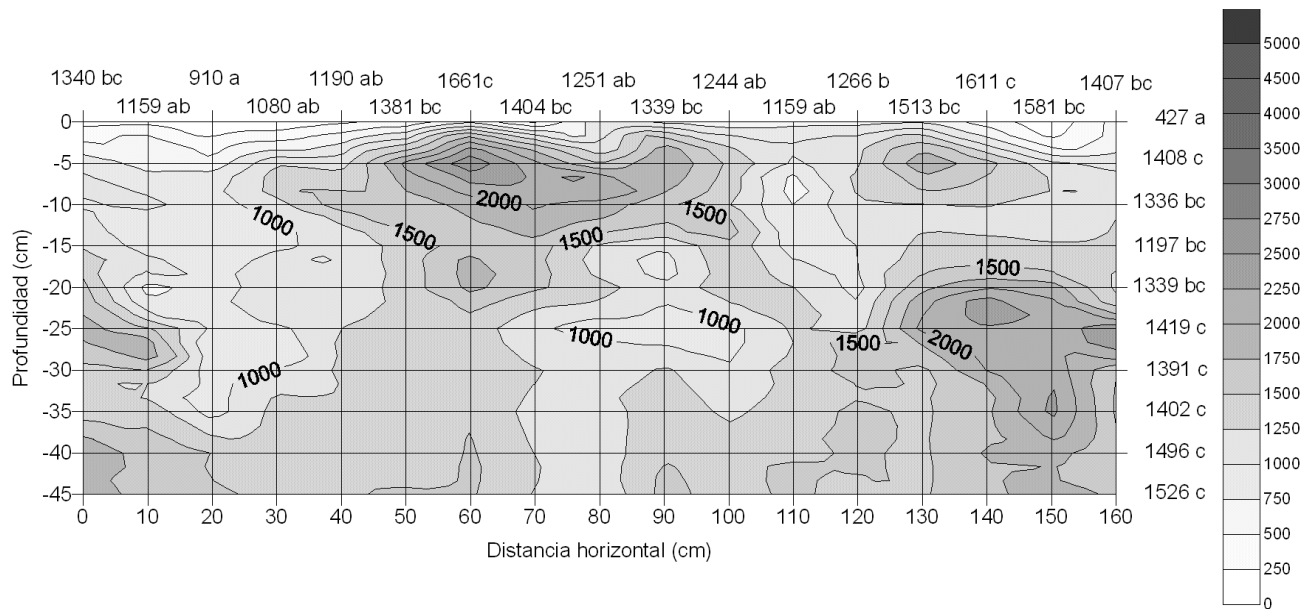


Figura 3.5.3.1: Perfil de resistencia del suelo. Tratamiento: labranza convencional. Subtratamiento: Cosecha reducida. Líneas de igual IC (isoresistencia) en rangos de 250 kPa. En la parte superior de la figura resistencia promedio en el rango de profundidad de 0,00 m a 0,45 m. Letras iguales significa ausencia de diferencia estadísticas (Tukey $\alpha = 0,05$). Septiembre de 2015.

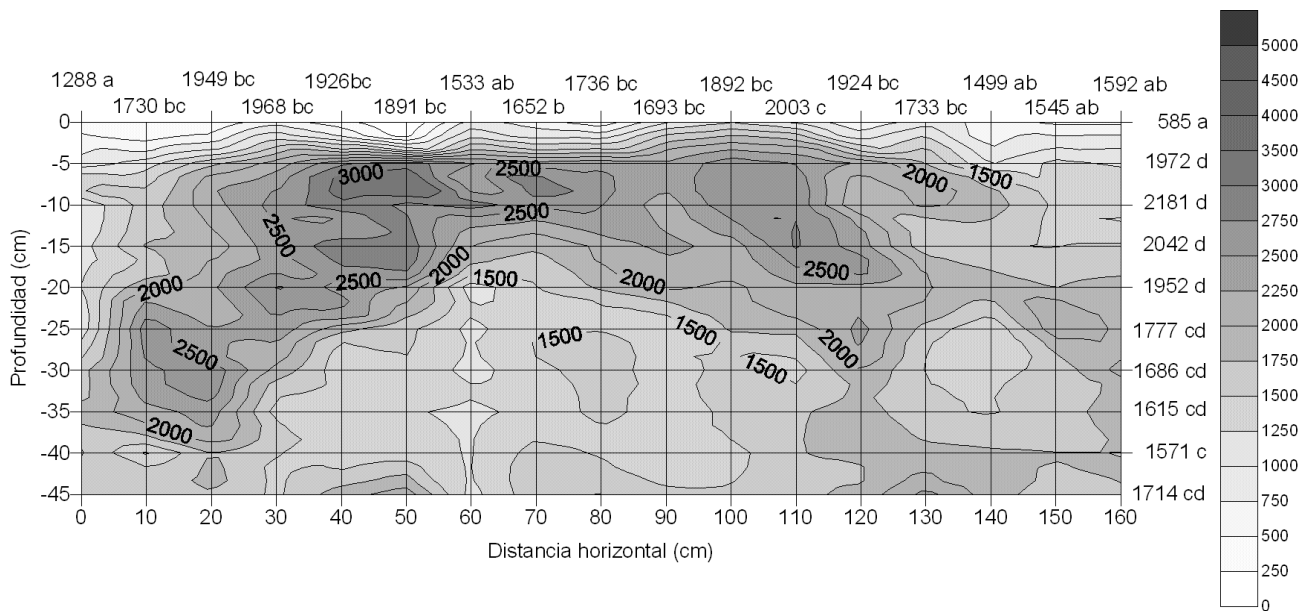


Figura 3.5.3.2: Perfil de resistencia del suelo. Tratamiento: labranza convencional. Subtratamiento: Cosecha convencional. Líneas de igual IC (isoresistencia) en rangos de 250 kPa. En la parte superior de la figura resistencia promedio en el rango de profundidad de 0,00 m a 0,45 m. Letras iguales significa ausencia de diferencia estadísticas (Tukey $\alpha = 0,05$). Septiembre de 2015.

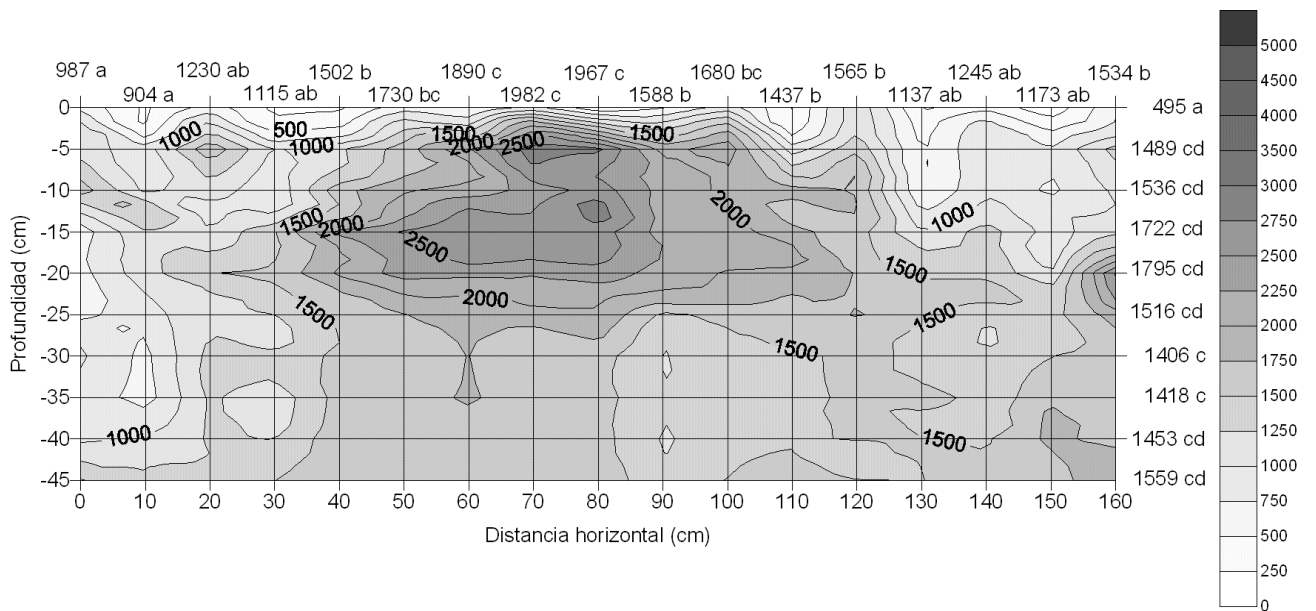


Figura 3.5.3.3: Perfil de resistencia del suelo. Tratamiento: labranza en franjas. Subtratamiento: Cosecha reducida. Líneas de igual IC (isoresistencia) en rangos de 250 kPa. En la parte superior de la figura resistencia promedio en el rango de profundidad de 0,00 m a 0,45 m. Letras iguales significa ausencia de diferencia estadísticas (Tukey $\alpha = 0,05$). Septiembre de 2015.

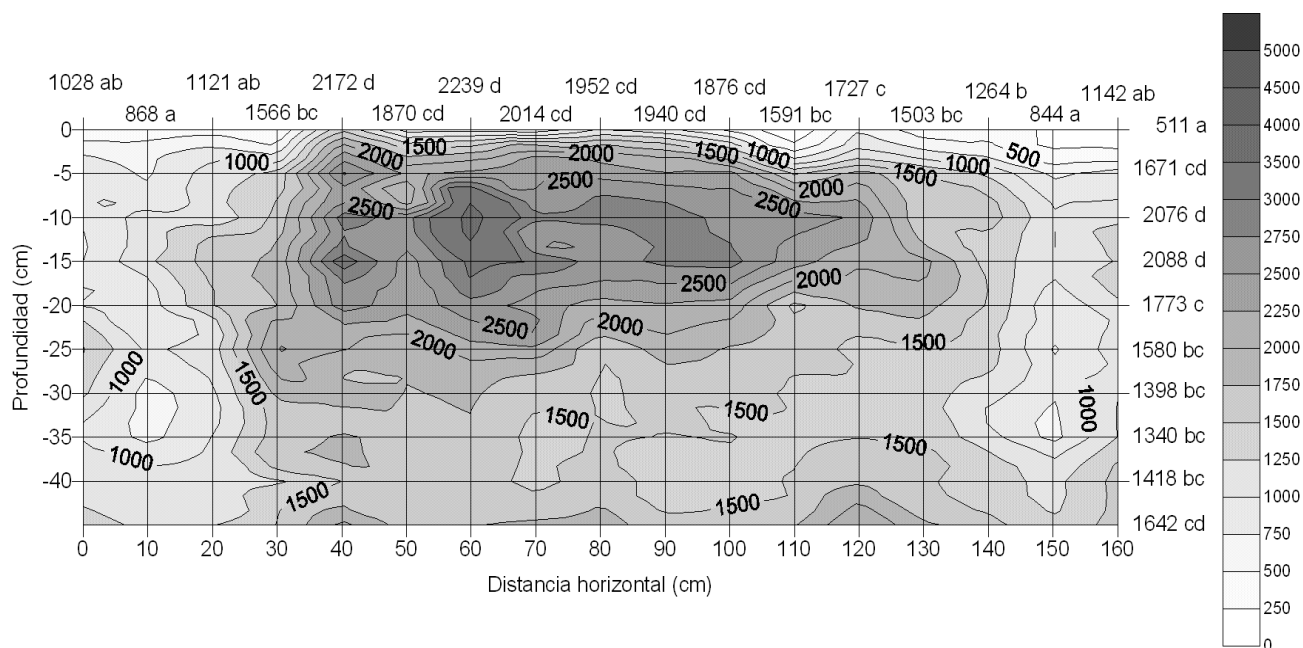


Figura 3.5.3.4: Perfil de resistencia del suelo. Tratamiento: labranza en franjas. Subtratamiento: Cosecha convencional. Líneas de igual IC (isoresistencia) en rangos de 250 kPa. En la parte superior de la figura resistencia promedio en el rango de profundidad de 0,00 m a 0,45 m. Letras iguales significa ausencia de diferencia estadísticas (Tukey $\alpha= 0,05$). Septiembre de 2015.

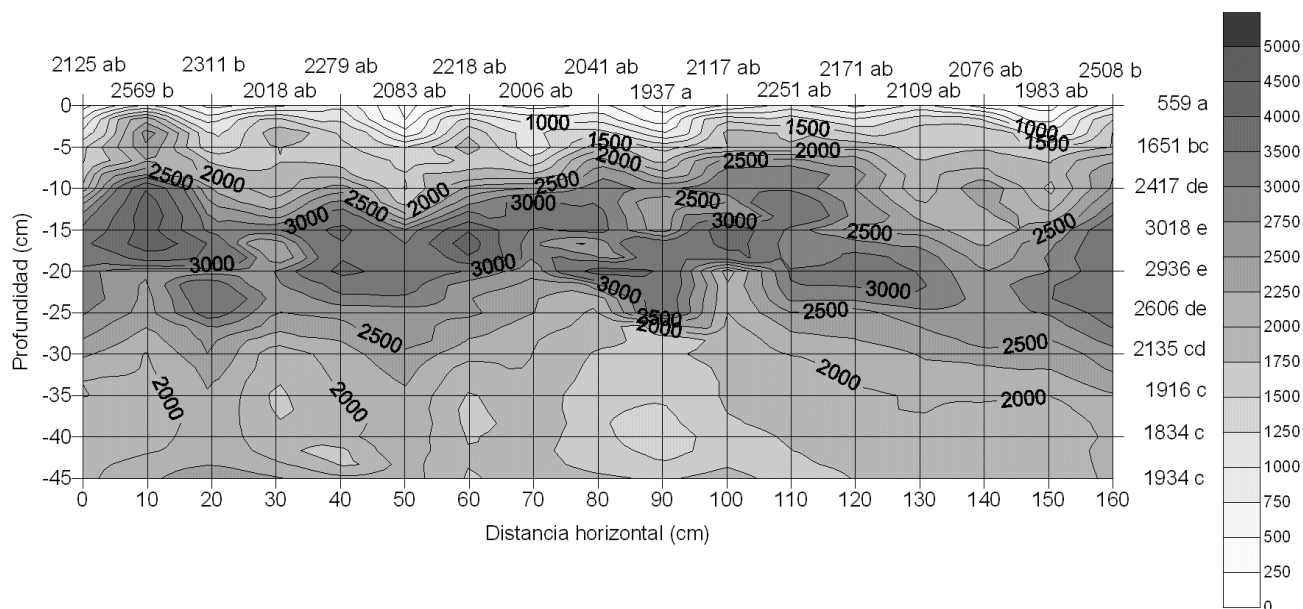


Figura 3.5.3.4: Perfil de resistencia del suelo. Sitios sin alterar. Líneas de igual IC (isoresistencia) en rangos de 250 kPa. En la parte superior de la figura resistencia promedio en el rango de profundidad de 0,00 m a 0,45 m. Letras iguales significa ausencia de diferencia estadísticas (Tukey $\alpha= 0,05$). Septiembre de 2015.

3.6: Desarrollo del cultivo

3.6.1: Cantidad de tallos

La cantidad de tallos por metro de surco obtenidos en junio de 2016 resultó casi coincidente en ambos tratamientos, alcanzando 21,51 tallos·m⁻¹ bajo labranza convencional y 21,00 tallos·m⁻¹ bajo

labranza en franjas ($F = 0,08$; $Pr > F = 0,8295$). Al igual que lo observado en 2015, tampoco se detectaron diferencias apreciables entre subtratamientos (Tabla 3.6.1).

TABLA 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. Subtratamiento: 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 entre subtratamientos dentro de tratamientos, significa presencia de diferencias estadísticas ($Pr > [t] < 0,05$).

Fecha de muestreo	Tratamiento	Tallos·m ⁻¹	Sub Tratamiento	Tallos·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
Junio de 2016	Franjas	21,00 ^(a)	Convencional	22,52 ^(a)	20,67	24,37
			Reducida	19,48 ^(a)	17,63	21,33
	Imp. Conv.	21,51 ^(a)	Convencional	21,18 ^(a)	19,32	23,03
			Reducida	21,84 ^(a)	19,99	23,69

3.6.2: Peso de los tallos

El peso unitario promedio de los tallos de caña obtenidos en julio de 2016 también resultaron prácticamente iguales en ambos tratamientos, alcanzando 694,1 g·tallo⁻¹ bajo labranza convencional y 690,8 g·tallo⁻¹ bajo labranza en franjas ($F = 0,01$; $Pr > F = 0,9401$). En lo que respecta a los subtratamientos, las subparcelas con cosecha reducida presentaron mayor peso medio de tallos, tanto en las parcelas con labranza convencional como en aquellas donde se utilizó labranza en franjas (Tabla 3.6.2). Sin embargo, en ninguno de los casos estas diferencias resultaron significativas ($F = 3,00$; $Pr > F = 0,2252$).

TABLA 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. Subtratamiento: 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 entre subtratamientos dentro de tratamientos, significa presencia de diferencias estadísticas ($Pr>[t] < 0,05$).

Fecha de muestreo	Tratamiento	Peso tallos (g)	Sub Tratamiento	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
Julio de 2016	Franjas	690,8 ^(a)	Convencional	677,3 ^(a)	513,6	841,0
			Reducida	704,4 ^(a)	540,6	868,1
	Imp. Conv.	694,1 ^(a)	Convencional	641,7 ^(a)	477,9	805,3
			Reducida	746,5 ^(a)	582,7	910,1

3.6.3: Rendimiento del cultivo

El rendimiento del cultivo de la caña planta implantado en forma convencional resultó levemente superior al obtenido mediante labranza en franjas, sin que existan entre ellos diferencias significativas ($F = 0,47$; $Pr>F = 0,5650$).

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. Subtratamiento: 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 entre subtratamientos dentro de tratamientos, significa presencia de diferencias estadísticas ($Pr>[t] < 0,05$).

Fecha de muestreo	Tratamiento	Rendimiento (t·ha ⁻¹)	Sub tratamiento	Rendimiento (t·ha ⁻¹)	IC (95%)	
					Inf.	Sup.
Julio de 2014	Franjas	55,58 ^(a)			26,03	85,13
	Imp. Conv.	75,45 ^(a)			45,90	104,99
Julio 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
Agosto de 2016	Franjas	86,81 ^(a)	Convencional	91,77 ^(a)	75,98	107,56
			Reducida	81,85 ^(a)	66,06	97,65
	Imp. Conv.	89,32 ^(a)	Convencional	80,83 ^(a)	65,04	96,63
			Reducida	97,81 ^(a)	82,01	113,60

El rendimiento promedio en el año 2016 fue de 88,07 t·ha⁻¹. Aunque es esperable que a lo largo del período de aprovechamiento de la caña el mayor rendimiento se obtenga en soca 1 (año 2015), la reducción de la cosecha en soca 2 (2016) fue del 26% aproximadamente. Se supone que parte de esta diferencia entre soca 1 y soca 2 se debió también a las condiciones excepcionalmente húmedas en el período 2015 - 2016 que provocaron un anegamiento parcial y temporario del área experimental.

A nivel de los subtratamientos, las diferencias en los rendimientos fueron de mayor magnitud. La de mayor importancia se obtuvo entre subparcelas con cosecha reducida y convencional, dentro del tratamiento de implantación convencional, la cual fue de 17 t·ha⁻¹ aproximadamente (Tabla 3.6.3). A pesar de esta notable variación en el rinde, no se alcanzó el umbral de significación estadística entre subtratamientos debido a la elevada desuniformidad existente en el cultivo como consecuencia de las condiciones ambientales mencionadas anteriormente.

Es oportuno mencionar que, en el período informado, parte de los entresurcos de las subparcelas fueron picados con un equipo de cuatro paquetes. Esta labor accesoria no tuvo ningún efecto favorable sobre el rendimiento del cultivo (Tabla 3.6.4).

TABLA N° 3.6.4: Rendimiento de caña obtenido en agosto de 2016 en surcos con trocha picada y sin picar. Referencias: Subtratamiento: Forma de cosecha. Cosecha Reducida: cosechadora liviana, sin pisoteo de camiones en el cerco. Letras diferentes en el rendimiento del cultivo, entre subtratamientos dentro de tratamientos, significa presencia de diferencias estadísticas($Pr>[t] < 0,05$).

Fecha de muestreo	Sub Tratamiento	Trocha	Rendimiento (t·ha ⁻¹)	IC (95%)	
				Inf.	Sup.
Agosto de 2016	Cosecha Convencional	Picada	84,08 ^(a)	68,29	99,88
		Sin Picar	88,52 ^(a)	72,73	104,31
	Cosecha Reducida	Picada	88,80 ^(a)	73,01	104,59
		Sin Picar	90,86 ^(a)	75,07	106,66

4. CONSIDERACIONES FINALES

Las observaciones realizadas a partir del muestreo del año 2015 confirman las tendencias que se manifestaron en el año 2014, luego de efectuar la primera cosecha de la caña.

La cosecha llevada a cabo de forma convencional incrementó la densidad aparente del perfil del suelo, principalmente en las parcelas donde el cultivo fue implantado de manera convencional. Por el contrario, en las subparcelas donde se utilizó la cosechadora liviana y se evitó el ingreso de camiones en el cerco, aún es perceptible el efecto residual de la labranza realizada en el año 2013.

Aunque las variaciones de la densidad aparente responden a las formas de realizar la cosecha, se especula que este efecto obedece al historial de cargas aplicado sobre el suelo a lo largo de un prolongado período de cultivo bajo un sistema de manejo tradicional.

La densidad aparente de los primeros centímetros del horizonte A en los sitios sin disturbar, se mantuvo estable en los valores obtenidos en los años 2013 y 2014. La capa más profunda de este horizonte manifiesta una tendencia a la estabilización, pero a valores superiores a los encontrados en la situación de base. En el Bt₁, en cambio, la densidad aparente se incrementó significativamente desde el inicio del ensayo.

La humedad del suelo en el área experimental presentó una distribución coherente con la densidad aparente. No fue afectada por la forma de implantación del cultivo, pero sí por el método de cosecha utilizado.

En la zona de influencia de las raíces, a +/- 40 cm del centro del surco, la menor resistencia mecánica del suelo se obtuvo con la labranza en franjas.

El perfil de menor resistencia mecánica del suelo se correspondió con las subparcelas de cosecha reducida que fueron implantadas de forma convencional, en las cuales no resultó perceptible el piso de arado. Por el contrario, cuando se utilizó la cosecha convencional en el suelo previamente laboreado, se manifestó claramente el reestablecimiento de esta impedancia.

Entre las subparcelas mencionadas en el párrafo anterior fue donde se obtuvo la mayor diferencia en el rendimiento, de aproximadamente 17 t·ha⁻¹. Sin embargo, debido a la variabilidad presente en el cultivo a consecuencia de las condiciones ambientales existentes en el período 2015 -2016, no se alcanzó el umbral de significación estadística.

5. BIBLIOGRAFÍA

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

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.

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

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.

Tesouro, M.O., M.A. Roba, E. Fernández de Ullivarri, L.B. Donato, A. Romito, J. Vallejo y 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 Agroindustria
Presidencia de la Nación