

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

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

Instituto de Ingeniería Rural - CIA - CNIA

¹Laboratorio de Terramecánica e Implantación de Cultivos

²EEA Famaillá (Tucumán)

Informe Técnico N° 34
Marzo 2018



Ediciones

Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



Informe Técnico N° 34
ISSN 1852-3080
Marzo 2018

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

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. 4621-1447/1448/1668

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

INDICE

Resumen	2
1. Introducción	3
2. Materiales y Métodos	4
3. Resultados	8
3.1 Descripción y clasificación del suelo del área experimental	8
3.2 Caracterización del perfil del suelo	8
3.3 Análisis físico-químico del perfil del suelo	9
3.4 Relieve y diseño experimental	10
3.5 Estado de los parámetros físicos del suelo en el tercer año del ensayo	11
3.6 Desarrollo del cultivo	28
4. Consideraciones Finales	37
5. Bibliografía	38

Cultivo de caña en Famaillá: Estudio de caso.

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

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 durante el cuarto año del ensayo y el rendimiento del cultivo del año 2017. La evolución de las variables del suelo monitoreadas en el transcurso de este ensayo se mantiene estable desde el año 2014. La diferenciación provocada por los tratamientos y fundamentalmente, por los subtratamientos, se manifestó luego de realizada la primera cosecha de caña. A partir de ese momento, los cambios observados adquirieron escasa magnitud. La principal fuente de variación respondió a los subtratamientos. La alteración de la densidad aparente se evidenció en la capa más superficial y en la más profunda del perfil y su dinámica fue favorecida por la labranza. Los perfiles de menor resistencia mecánica del suelo se observaron en las subparcelas con labranza en franjas y cosecha reducida. En el extremo opuesto se encuentran las subparcelas con cosecha convencional, las cuales presentaron la tipología característica de los suelos cañeros. El rendimiento del cultivo, del orden de las 70 t·ha⁻¹, fue casi coincidente en ambos tratamientos. La cosecha convencional deprimió significativamente los rendimientos (-10 t·ha⁻¹) en las parcelas implantadas en forma convencional. Sólo en estas parcelas el picado de la trocha presentó un efecto positivo.

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 cuarto 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.

En el año 2017 se introdujo el laboreo del entresurco con un escarificador, trabajo cultural muy difundido y denominado *picado de la trocha* por los productores cañeros, en la mitad de los entresurcos de las subparcelas. En estos entresurcos no fue hecho el relevamiento anual del suelo, pero sí fue discriminado el rendimiento obtenido en los surcos donde fue picada la trocha y el de aquellos surcos donde los entresurcos permanecieron sin disturbar.

Parámetros físicos del suelo relevados durante el año 2016

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 ($\text{kg}\cdot\text{tallos}^{-1}$).

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 cuarto año del ensayo (2016) y el rendimiento del cultivo del año 2017. 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	N° de orden	Parámetros físicos relevados	N° de cosecha	Fecha de cosecha
2013	Año 1 Situación de base	SI	-----	-----
2014	Año 2	SI	1°	julio
2015	Año 3	SI	2°	septiembre
2016	Año 4	SI	3°	septiembre
2017	Año 5	SI	4°	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 fisicoquímico 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.

3.5: Estado de los parámetros físicos del suelo en el año 2016

3.5.1: Densidad aparente

No se detectaron diferencias significativas en la densidad aparente del suelo entre tratamientos ($F=0,97$; $Pr>F= 0,3403$). Las parcelas provenientes de labranza convencional y de labranza en franjas alcanzaron densidades de $1,512 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ y $1,487 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ respectivamente (Tabla 3.5.1.1).

La principal fuente de variación se encontró en los subtratamientos. 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 ($F=9,35$; $Pr>F <0,0054$). Este incremento tuvo mayor magnitud y alcanzó significación estadística ($|t| = 2,78$; $Pr>|t| = 0,0105$) en las subparcelas implantadas bajo labranza convencional (Figura 3.5.1.1).

TABLA 3.5.1.1: Densidad aparente del área experimental discriminada por tratamiento, subtratamiento y profundidad de muestreo. Error estándar: $0,044 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Septiembre de 2016

Tratamiento	Dap ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	Subtratamiento	Dap ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	Profundidad (cm)	Dap ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	Dap Hor A ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
Labranza convencional	1,512	Cosecha convencional	1,561	0 a 10	1,516	1,530
				> 10 a 20	1,544	
				30 a 40	1,625	
		Cosecha reducida	1,462	0 a 10	1,385	1,427
				> 10 a 20	1,468	
				30 a 40	1,532	
Labranza en franjas	1,487	Cosecha convencional	1,515	0 a 10	1,473	1,484
				> 10 a 20	1,494	
				30 a 40	1,577	
		Cosecha reducida	1,459	0 a 10	1,364	1,399
				> 10 a 20	1,435	
				30 a 40	1,578	

La densidad aparente varió con la profundidad ($F=10,94$; $Pr>F= 0,0004$). A nivel de los tratamientos, las densidades aparentes a profundidades crecientes con labranza convencional fueron de $1,451 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, $1,506 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ y $1,579 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Con la labranza en franjas, se obtuvieron valores de $1,419 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, $1,464 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ y $1,578 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. La comparación entre la densidad aparente media del horizonte A (0,0 a 10,0 cm y >10,0 a 20 cm) con labranza convencional ($1,479 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) y con labranza en franjas ($1,442 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) no alcanzó significación estadística ($F=1,39$; $Pr>F= 0,2493$). La densidad del horizonte A bajo cosecha

convencional ($1,507 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) presentó diferencias altamente significativas ($F=9,04$; $Pr>F = 0,0061$) respecto de la obtenida bajo cosecha reducida ($1,413 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$).

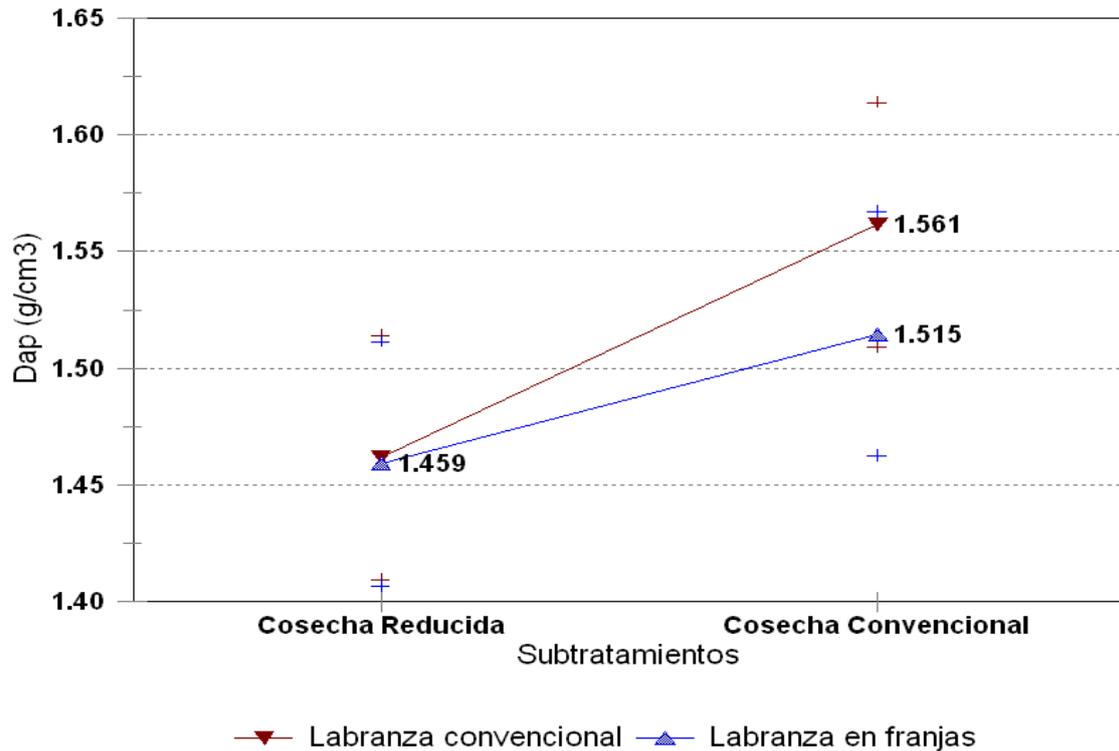


FIGURA 3.5.1.1: Interacción entre tratamientos y subtratamientos. Densidad aparente promedio del suelo de 0 a 40 cm de profundidad. Referencias: Dap: Densidad aparente ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$). +: intervalos de confianza al 95%. Referencia Dap labranza convencional y cosecha convencional (no mostrada): $1,462 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

La tasa de cambio de la densidad aparente del horizonte A, al pasar de cosecha reducida a convencional, resultó similar en la labranza convencional y en la labranza en franjas alcanzando incrementos de + 7,2 % y + 6,0 % respectivamente (Figura 3.5.1.2). Por el contrario, en el horizonte B_{t1} se observó una variación similar a las anteriores bajo labranza convencional mientras que, ésta fue prácticamente nula donde se utilizó labranza en franjas (Figura 3.5.1.3). El significativo aumento de la densidad aparente del perfil evaluado (0 a 40 cm) representado en la figura 3.5.1.1, obedeció entonces al diferente comportamiento del horizonte B_{t1} en los distintos tratamientos.

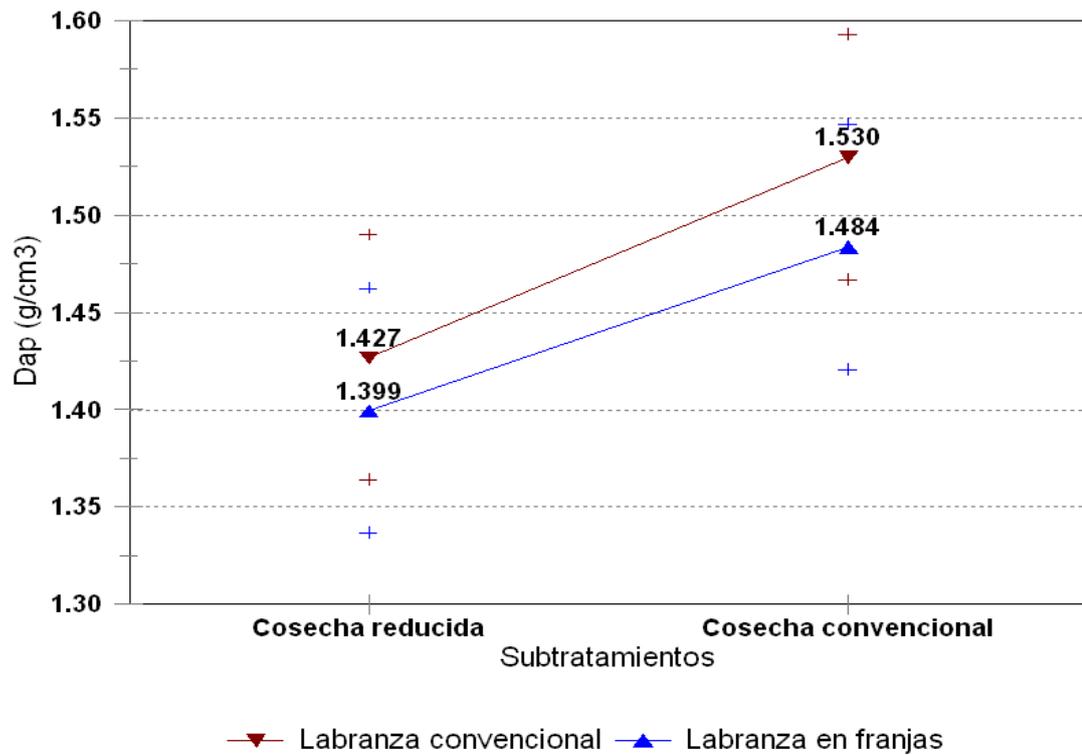


FIGURA 3.5.1.2: Interacción Tratamientos * Subtratamientos. Densidad aparente promedio del horizonte A. Referencias: Dap: Densidad aparente ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$). +: intervalos de confianza del 95%. Septiembre de 2016.

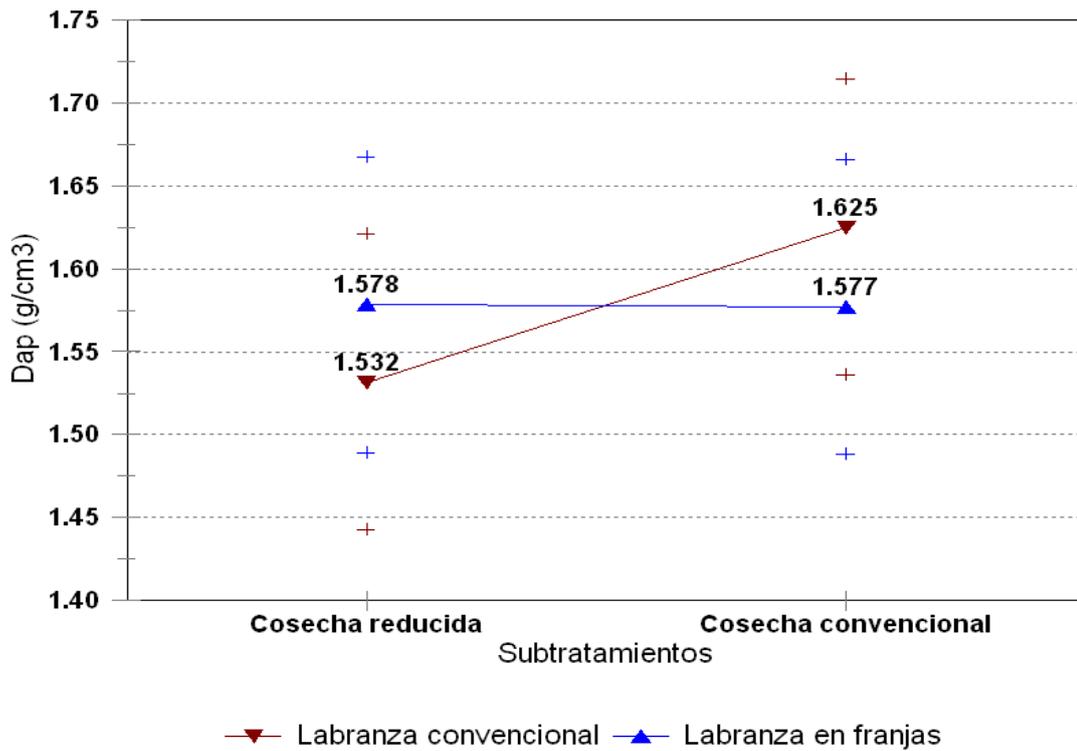


FIGURA 3.5.1.3: Interacción Tratamientos * Subtratamientos. Densidad aparente promedio del horizonte Bt₁. Referencias: Dap: densidad aparente ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$). +: intervalos de confianza del 95%. Septiembre de 2016.

La densidad aparente promedio del área experimental de los sitios sin alterar fue de 1,449 g·cm⁻³, alcanzando valores de 1,320 g·cm⁻³, 1,425 g·cm⁻³ y de 1,603 g·cm⁻³ en rangos de profundidades crecientes. Estos valores continúan siendo superiores a los obtenidos en la situación de base (año 2013). El promedio del perfil de los sitios inalterados del año 2016 presentó diferencias significativas al compararlo con el tratamiento de labranza convencional ($F= 4,28$; $Pr>F= 0,0473$) pero no con el de labranza en franjas ($F=1,55$; $Pr>F= 0,2227$). En la prueba de Tukey efectuada a nivel de los subtratamientos, las subparcelas que recibieron labranza y cosecha convencional resultaron excluidas del grupo homogéneo de los testigos.

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: 0,1006 g·cm⁻³. Septiembre de 2016.

Manejo del suelo		Dap (g·cm ³)	Grupos Homogéneos	
Tratamientos	Sub Tratamientos			
Labranza convencional	Cosecha convencional	1,561	B	
	Cosecha reducida	1,462	A	B
Labranza en franjas	Cosecha convencional	1,515	A	B
	Cosecha reducida	1,459	A	
Sin Alterar (Testigos)		1,449	A	

En la figura 3.5.1.4 se representa la densidad aparente del horizonte A en diferentes profundidades, discriminada por tratamientos, subtratamientos y sitios sin alterar (Testigos). Se encontraron diferencias significativas del horizonte A del testigo, respecto de tratamientos y subtratamientos. La densidad aparente resultó estadísticamente superior bajo labranza convencional y con cosecha convencional. Ahora bien, dentro de cada uno de los tratamientos, la densidad aparente difirió de los testigos siempre que se utilizó la cosecha convencional mientras que, resultó estadísticamente igual a aquéllos cuando se aplicó la cosecha reducida.

Desde el inicio del ensayo en el año 2013, el horizonte A del área experimental presenta dos capas con distintas densidades aparentes. En todos los tratamientos y subtratamientos, e incluso en los sitios sin alterar, se incrementa el valor de este parámetro en el estrato de profundidad de 10 a 20 cm. El efecto del subtratamiento cosecha convencional se manifiesta con mayor intensidad en los primeros 10 cm del suelo, principalmente en las parcelas donde el cultivo fue implantado de forma convencional. En estas subparcelas, incluso, prácticamente se alcanzó el umbral de significación estadística ($F=3,93$; $Pr>F= 0,0567$) al contrastarlas con los testigos a la profundidad de 10 a 20 cm (Tabla 3.5.1.3).

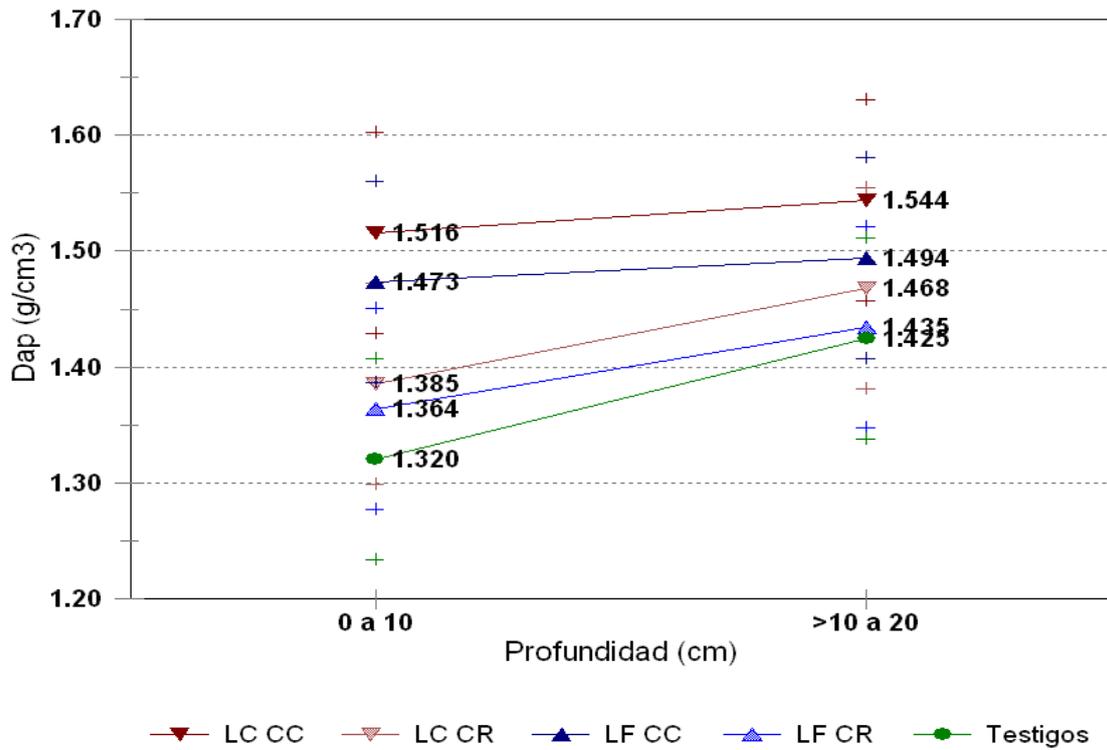


FIGURA 3.5.1.4: Densidad aparente del horizonte A en diferentes profundidades discriminada por tratamientos, subtratamientos y sitios sin alterar. Referencias: la sigla “LC CC” representa tratamiento y subtratamiento y significa labranza convencional - cosecha convencional. Dap: Densidad aparente ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$). +: Intervalos de confianza al 95%. Septiembre de 2016.

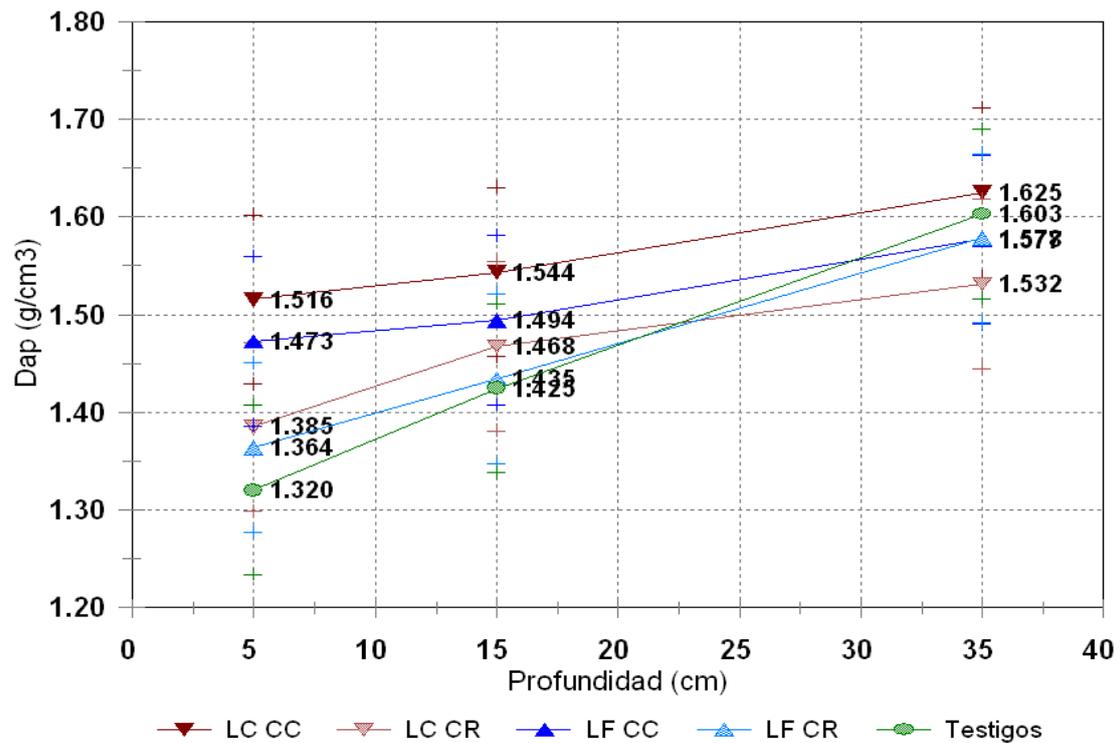


FIGURA 3.5.1.5: Densidad aparente del perfil bajo estudio discriminada por tratamientos y subtratamientos a diferentes profundidades. Referencias: la sigla “LC CC” representa tratamiento y subtratamiento y significa labranza convencional - cosecha convencional. Dap: Densidad aparente ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$). +: Intervalos de confianza al 95%. Septiembre de 2016.

En la figura 3.5.1.5 se incluye también al horizonte Bt₁ (profundidad media de 35 cm), representando entonces la totalidad de los resultados obtenidos a partir del muestreo del año 2016. Como en años anteriores, en este horizonte las subparcelas con labranza convencional y cosecha reducida se diferenciaron notablemente del resto, pero sin alcanzar el nivel de significación ($F=1,83$; $Pr>F= 0,1860$).

TABLA 3.5.1.3: Contrastes ortogonales entre la densidad aparente de los testigos vs tratamientos y subtratamientos en el horizonte A. Referencias: DF: grados de libertad; SS: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios; LC: Tratamiento Labranza convencional; LF: Tratamiento labranza en franjas; CR: Subtratamiento Cosecha reducida; CC: Subtratamiento Cosecha convencional. Septiembre de 2016.

Contraste	DF	SS	CM	Valor F	Pr>F
Testigo A vs A Trat LC	1	0,0447	0,0447	8,26	0,0074
Testigo A vs A Trat LF	1	0,0190	0,0190	3,51	0,0707
Testigo A vs A Subtrat CC	1	0,0719	0,0719	13,30	0,0010
Testigo A vs A Subtrat CR	1	0,0066	0,0066	1,21	0,2795
Testigo A vs Trat LC SubTrat CC	1	0,0741	0,0741	13,70	0,0009
Testigo A vs Trat LC SubTrat CR	1	0,0088	0,0088	1,63	0,2119
Testigo A vs Trat LF SubTrat CC	1	0,0370	0,0370	6,83	0,0139
Testigo A vs Trat LF SubTrat CR	1	0,0022	0,0022	0,40	0,5322
Testigo A 0-10 cm vs Trat LC 0-10 cm	1	0,0339	0,0339	6,26	0,0180
Testigo A 0-10 cm vs Trat LF 0-10 cm	1	0,0193	0,0193	3,56	0,0688
Testigo A 0-10 cm vs SubTrat CC 0-10 cm	1	0,0606	0,0606	11,19	0,0022
Testigo A 0-10 cm vs SubTrat CR 0-10 cm	1	0,0059	0,0059	1,09	0,3045
Testigo A 10-20 cm vs Trat LC >10-20 cm	1	0,0132	0,0132	2,44	0,1291
Testigo A 10-20 cm vs Trat LF >10-20 cm	1	0,1291	0,0031	0,58	0,4516
Testigo A 10-20 cm vs SubTrat CC >10-20 cm	1	0,0177	0,0177	3,28	0,0802
Testigo A 10-20 cm vs SubTrat CR >10-20 cm	1	0,0014	0,0014	0,26	0,6119
Testigo A 0-10 cm vs Trat LC Subtrat CC 0-10 cm	1	0,0572	0,0572	10,58	0,0028
Testigo A 0-10 cm vs Trat LF Subtrat CC 0-10 cm	1	0,0350	0,0350	6,46	0,0164
Testigo A 10-20 cm vs Trat LC Subtrat CC >10-20 cm	1	0,0212	0,0212	3,93	0,0567
Testigo A 10-20 cm vs Trat LF Subtrat CC >10-20 cm	1	0,0072	0,0072	1,33	0,2574

3.5.2: Humedad del suelo

La humedad del suelo promedio en el rango de profundidad de 0 a 40 cm no presentó diferencias significativas entre las parcelas provenientes de labranza convencional y de labranza en franjas ($F= 1,20$; $Pr>F= 0,2422$). La diferencia entre ambos tratamientos fue del 0,7 % (Tabla 3.5.2.1). A nivel de los subtratamientos tampoco se alcanzó el umbral de significación ($F= 3,63$; $Pr>F= 0,0690$). Las subparcelas cosechadas en forma convencional presentaron valores promedio de humedad

gravimétrica en el rango de profundidad de 0 a 40 cm de 26,5 % y de 27,6 % las del subtratamiento con cosecha reducida. La aplicación de mayores cargas durante la cosecha convencional redujo el contenido de humedad gravimétrica en ambos tratamientos sin alcanzar una interacción significativa (Figura 3.5.2.1).

TABLA 3.5.2.1: Humedad gravimétrica (HG) del área experimental discriminada por tratamiento, subtratamiento y profundidad de muestreo. Error estándar: 0,54 %. Septiembre de 2016.

Tratamiento	HG (%)	Subtratamiento	HG (%)	Profundidad (cm)	HG (%)
Labranza convencional	27,4	Cosecha convencional	26,6	0 a 10	22,2
				> 10 a 20	26,2
				30 a 40	31,6
		Cosecha reducida	28,1	0 a 10	23,0
				> 10 a 20	28,6
				30 a 40	32,7
Labranza en franjas	26,7	Cosecha convencional	26,4	0 a 10	23,6
				> 10 a 20	25,2
				30 a 40	30,3
		Cosecha reducida	27,0	0 a 10	22,5
				> 10 a 20	25,9
				30 a 40	32,7

La humedad gravimétrica presentó diferencias altamente significativas en función de la profundidad ($F= 85,57$; $Pr>F <0,0001$). El promedio en los rangos de profundidad de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm, ambos dentro del horizonte A, fue de 22,8 % y de 26,5 % respectivamente. La del horizonte Bt₁ alcanzó al 31,8 %. La figura 3.5.2.2 representa la humedad gravimétrica en función de la profundidad, discriminada por tratamiento y subtratamiento y la de los sitios sin alterar. Puede percibirse que la humedad resultó homogénea en superficie ya que tratamientos, subtratamientos y sitios inalterados mantuvieron un rango de variación menor al 2%. Esta situación tiende a modificarse en la capa más profunda del horizonte A y en el Bt₁. Aunque la interacción triple tratamiento x subtratamiento x profundidad resultó no significativa ($F= 1,11$; $Pr>F =0,3874$) al igual que los contrastes ortogonales efectuados a las distintas profundidades, los niveles de significación alcanzados (Tabla 3.5.2.2) son ilustrativos de la diferenciación provocados por tratamientos y subtratamientos. Similares tendencias han sido obtenidas en los muestreos anuales realizados desde el inicio del ensayo.

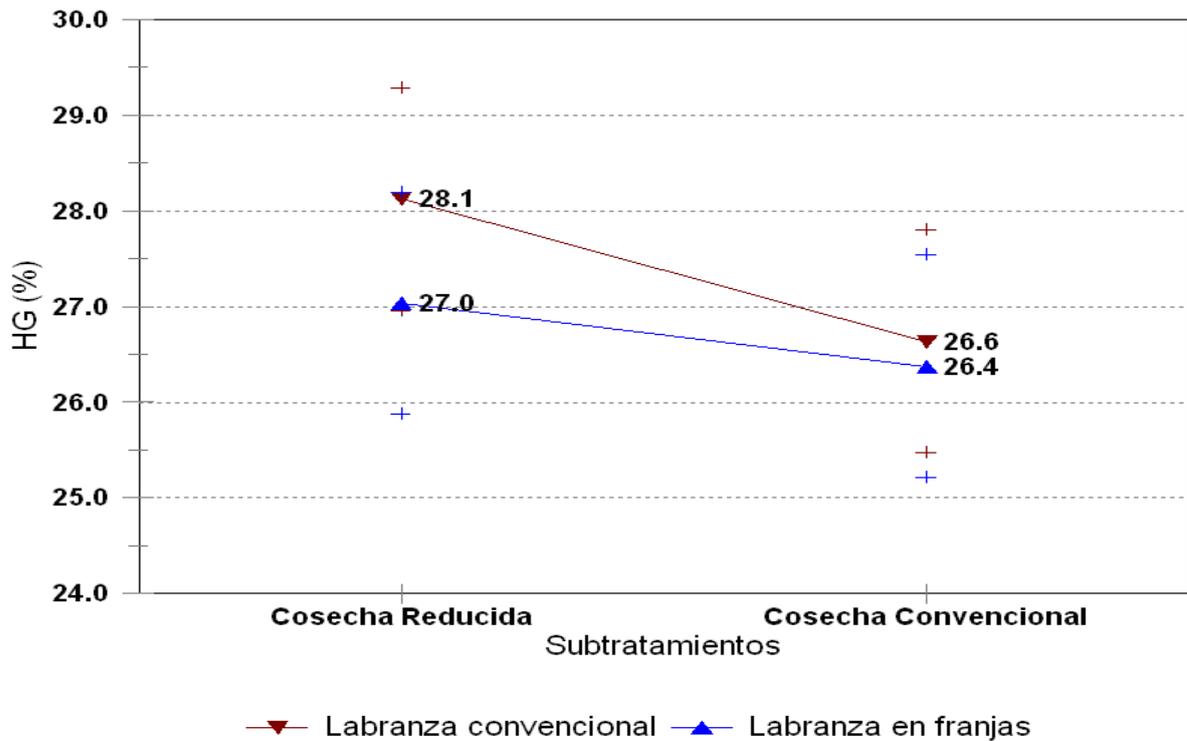


FIGURA 3.5.2.1: Interacción Tratamientos x Subtratamientos. Referencias: HG: humedad gravimétrica (%); +: Intervalos de confianza del 95%. Septiembre de 2016.

TABLA 3.5.2.2: Contrastes ortogonales de la humedad gravimétrica del área experimental discriminada por tratamiento, subtratamiento y profundidad de muestreo. Referencias: DF: grados de libertad; SS: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios; LC: Tratamiento Labranza convencional; LF: Tratamiento labranza en franjas; CR: Subtratamiento Cosecha reducida; CC: Subtratamiento Cosecha convencional. Septiembre de 2016.

Contraste	DF	SS	CM	Valor F	Pr>F
Hor A Subtrat CR 0 a 10 cm vs Subtrat CC 0 a 10 cm	1	0,0408	0,0408	0,01	0,9060
Hor A Trat LC 0 a 10 cm vs Trat LF 0 a 10 cm	1	0,6533	0,6533	0,23	0,6373
Hor A Subtrat CR >10 a 20 cm vs Subtrat CC >10 a 20 cm	1	7,3008	7,3008	2,55	0,1235
Hor A Trat LC >10 a 20 cm vs Trat LF >10 a 20 cm	1	9,9008	9,9008	3,46	0,0754
Hor Bt ₁ Subtrat CR vs Subtrat CC	1	9,5052	9,5052	3,32	0,0811
Hor Bt ₁ Trat LC vs Trat LF	1	1,3872	1,3872	0,48	0,4933

Al igual que en años anteriores, los sitios sin alterar presentaron los menores contenidos de humedad (24,9%), lo cual es atribuible a la presencia de vegetación natural herbácea en contraposición con la cobertura de restos de cosecha en las parcelas de ensayo. Estadísticamente, los sitios inalterados sólo se diferenciaron de las subparcelas con labranza convencional y cosecha reducida (Tabla 3.5.2.3).

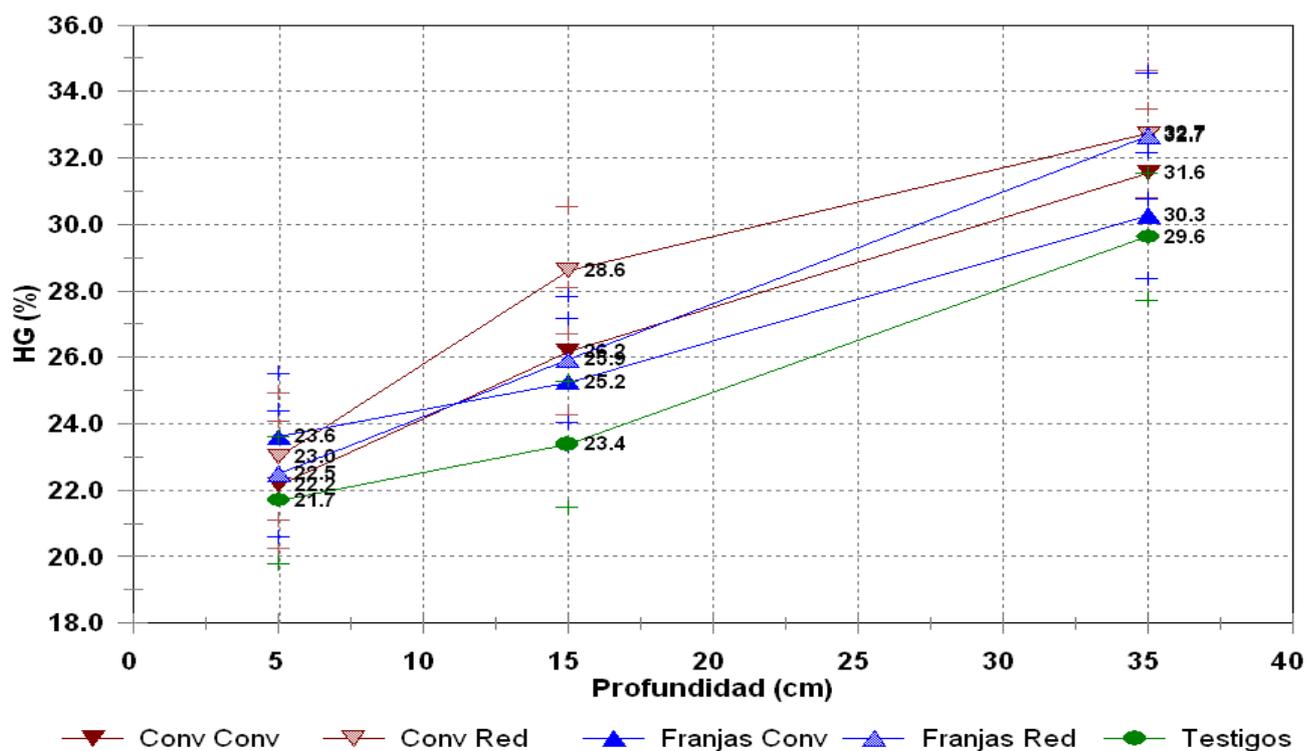


FIGURA 3.5.2.2: Humedad gravimétrica discriminada por tratamientos y subtratamientos a diferentes profundidades. Referencias: la sigla “Conv Red” representa tratamiento y subtratamiento y significa labranza convencional, cosecha reducida. +: Intervalos de confianza del 95%. Septiembre de 2016.

TABLA 3.5.2.3: Resultados de la prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha = 0,05$). Humedad gravimétrica (HG %) en el rango de profundidad de 0,0 a 0,40 cm, discriminada por tratamiento, subtratamiento y sitios sin alterar. Diferencia significativa mínima: 2,22 %. Septiembre de 2016.

Manejo del suelo		HG (%)	Grupos Homogéneos	
Tratamientos	Sub Tratamientos			
Labranza convencional	Cosecha convencional	26,6	A	B
	Cosecha reducida	28,1		B
Labranza en franjas	Cosecha convencional	26,4	A	B
	Cosecha reducida	27,0	A	B
Sin Alterar (Testigos)		24,9	A	

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 tratamiento alcanzando los 2402,5 kPa en las parcelas con labranza en franjas y 2443,5 kPa en las que se utilizó labranza convencional ($F=1,76$; $Pr>F=0,1843$). Por el contrario, se observaron diferencias altamente significativas en la resistencia del suelo en función de la forma de cosecha ($F=477,17$; $Pr>F <0,0001$). El perfil del suelo presentó un IC

promedio de 2759,6 kPa en las subparcelas con cosecha convencional y de 2086,4 kPa en las subparcelas con cosecha reducida. La cosecha convencional generó un significativo incremento en la resistencia del suelo en los dos tratamientos (Figura 3.5.3.1). El perfil de menor resistencia media se observó en las subparcelas con cosecha reducida y labranza en franjas, diferenciándose incluso del obtenido con igual forma de cosecha y labranza convencional ($[t]=3,264$; $Pr>[t] = 0,0011$).

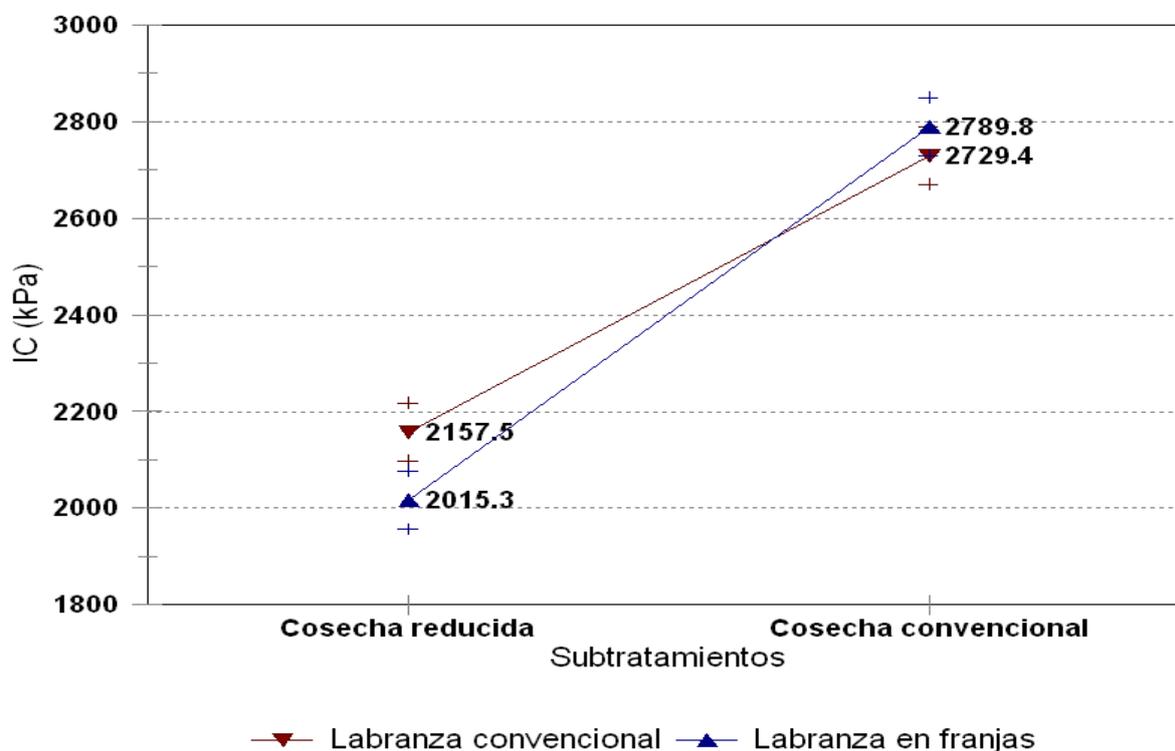


FIGURA 3.5.3.1: Interacción Tratamientos * Subtratamientos con la totalidad de los datos obtenidos entre surcos contiguos. Referencias: IC: Índice de cono (kPa); +: Intervalos de confianza al 95%. Septiembre de 2016.

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. Error estándar: 27,8 kPa. Septiembre de 2016.

Tratamiento	Índice de cono (kPa)	Subtratamiento	Índice de cono (kPa)
Labranza Convencional	2443,5	Cosecha convencional	2729,4
		Cosecha reducida	2157,5
Labranza en Franjas	2402,5	Cosecha convencional	2789,8
		Cosecha reducida	2015,3

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 de los surcos, el área de influencia de las raíces del cultivo, a distancias horizontales de 0 a 0,30 m y de 1,30

m a 1,60 m y la del entresurco o trocha, a una distancia horizontal comprendida entre los 0,40 m y 1,20 m.

Al analizar la resistencia del suelo en la zona de desarrollo radical (Figura y Tabla 3.5.3.2) se detectó una diferencia significativa entre tratamientos ($F=16,27$; $Pr>F <0,0001$). El IC promedio en los surcos fue de 2460,1 kPa para la labranza en franjas y de 2757,6 kPa para la labranza convencional. Las mayores cargas aplicadas sobre el suelo en el transcurso de la cosecha convencional incrementaron significativamente la resistencia del suelo en ambos tratamientos ($F= 246,66$; $Pr>F <0,0001$).

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 y en la figura 3.5.3.3. En este caso, el perfil de resistencia alcanzado por la labranza en franjas resultó significativamente superior al de la labranza convencional ($F=4,45$; $Pr>F =0,0350$) aunque la diferencia nominal entre ambos tratamientos no llegó a superar los 110 kPa (4,3%). Al igual que lo ocurrido al analizar los surcos, las mayores cargas aplicadas durante la cosecha convencional incrementaron de manera altamente significativa la resistencia del perfil en ambos tratamientos ($F=125,36$; $Pr>F <0,0001$).

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 0,30 m y de 1,30 m a 1,60 m por 0,45 m de profundidad, desglosados por tratamiento y subtratamiento. Referencias: Subtratamientos: “Cosecha Reducida”: cosechadora liviana y sin ingreso de camiones en el cerco. “Cosecha convencional”: cosechadora convencional (14 t) e ingreso de camiones en el cerco. Septiembre de 2016.

Tratamiento	Índice de cono (kPa)	Subtratamiento	Índice de cono (kPa)
Labranza Convencional	2757,6	Cosecha convencional	2809,1
		Cosecha reducida	2111,0
Labranza en Franjas	2460,1	Cosecha convencional	2706,1
		Cosecha reducida	1802,8

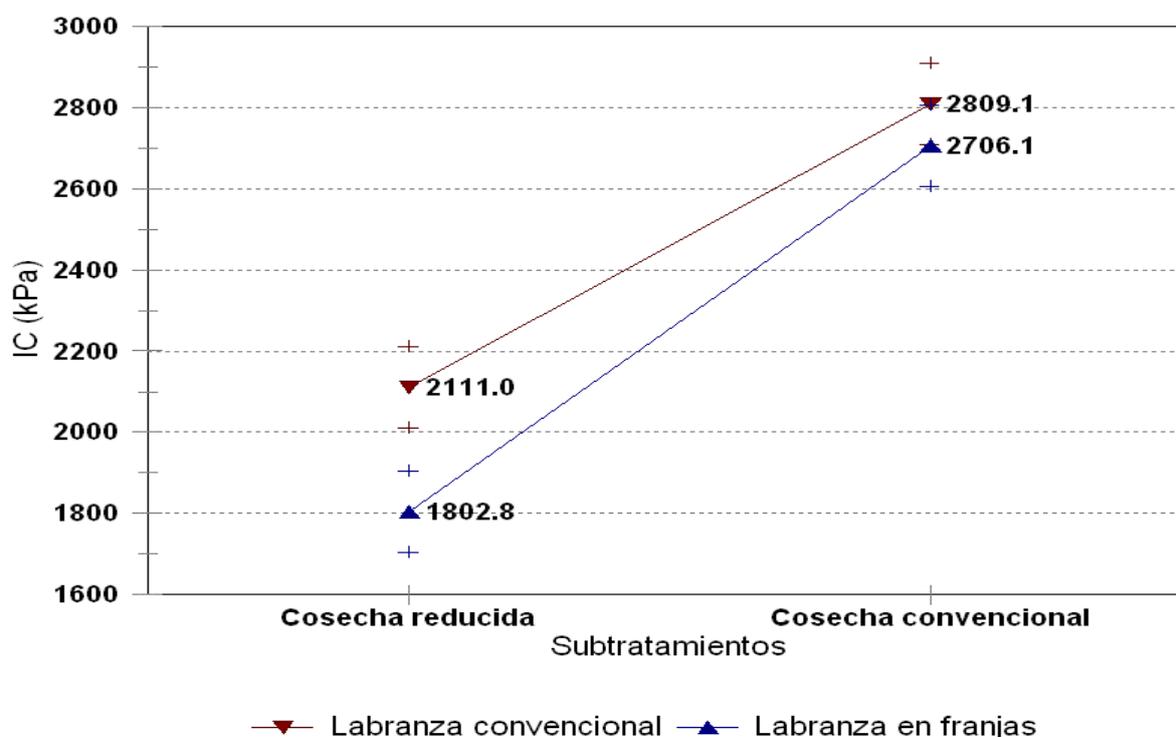


FIGURA 3.5.3.2: Interacción Tratamientos x Subtratamientos en la zona de desarrollo radical, a distancias horizontales de 0,00 m a 0,30 m y de 1,30 m a 1,60 m por 0,45 m de profundidad, desglosados por tratamiento y subtratamiento. Referencias: IC: Índice de cono (kPa); +: Intervalos de confianza al 95%. Septiembre de 2016.

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. Referencias: Subtratamientos: "Cosecha Reducida": cosechadora liviana y sin ingreso de camiones en el cerco. "Cosecha convencional": cosechadora convencional (14 t) e ingreso de camiones en el cerco. Septiembre de 2016.

Tratamiento	Índice de cono (kPa)	Subtratamiento	Índice de cono (kPa)
Labranza Convencional	2428,7	Cosecha convencional	2658,6
		Cosecha reducida	2198,8
Labranza en Franjas	2534,2	Cosecha convencional	2864,3
		Cosecha reducida	2204,1

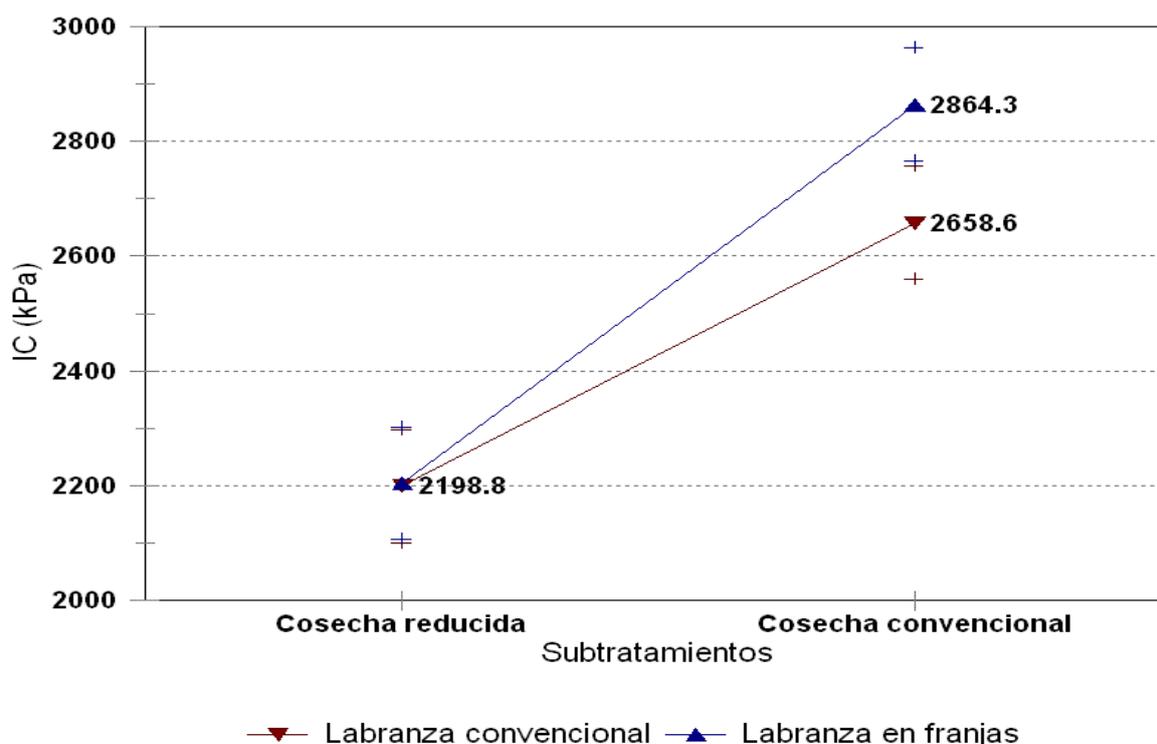


FIGURA 3.5.3.3: Interacción Tratamientos x Subtratamientos en la trocha, a distancias horizontales de 0,40 m a 1,20 m por 0,45 m de profundidad, desglosados por tratamiento y subtratamiento. Referencias: IC: Índice de cono (kPa); +: Intervalos de confianza al 95%. Referencia tratamiento labranza convencional, subtratamiento cosecha reducida (no mostrada) 2204,1 kPa. Septiembre de 2016.

La resistencia media de los perfiles del suelo en los sitios sin alterar, abandonados a la vegetación natural desde el año 2012, fue de 2755,8 kPa y formó un grupo homogéneo con las subparcelas que recibieron cosecha convencional (Tabla 3.5.3.4), diferenciándose claramente de aquéllas que fueron cosechadas con máquinas livianas y sin tránsito de camiones.

TABLA 3.5.3.4: Índices de cono promedio del perfil del suelo, en secciones de 1,60 m de ancho por 0,45 m de profundidad, desglosados por tratamientos, subtratamientos y sitios sin alterar. Resultados de la prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha = 0,05$). Diferencia significativa mínima: 107 kPa. Septiembre de 2016.

Tratamiento	Subtratamiento	Índice de cono (kPa)	Grupos homogéneos
Labranza Convencional	Cosecha convencional	2729,4	C
	Cosecha reducida	2157,5	B
Labranza en Franjas	Cosecha convencional	2789,8	C
	Cosecha reducida	2015,3	A
Sitios sin alterar		2755,8	C

En las figuras 3.5.3.4 a 3.5.3.8 pueden observarse los perfiles de resistencia del suelo. En las subparcelas que recibieron labranza y cosecha convencional (LC CC; Figura 3.5.3.4) se manifestaron

claramente dos zonas de suelo de elevada resistencia, en coincidencia con los sectores del entresurco denominados “costillas” por los productores cañeros. En estos sectores, próximos a los centros de los surcos del cultivo (distancias horizontales 0 y 160 cm en las figuras) es donde se encuentran con mayor frecuencia las huellas de la cosechadora. Es notable también que el endurecimiento en las costillas se extiende lateralmente hacia los surcos. El efecto del tránsito es perceptible hasta los 30 cm de profundidad superando significativamente la resistencia del centro del entresurco (distancia horizontal 80 cm). De hecho, fue el único perfil del suelo en donde se encontró una interacción significativa distancia horizontal x profundidad ($F=1,4$; $Pr>F = 0,0003$). La capa de mayor dureza se observó a 10 cm de profundidad, formando un grupo homogéneo con aquellas existentes entre los 5 y los 20 cm. Esta uniformidad estadística se manifestó a pesar del incremento en la humedad del suelo en 4 puntos porcentuales entre los 10 y 20 cm de profundidad, dentro del mismo horizonte, lo cual es un síntoma inequívoco de un proceso de endurecimiento del suelo generado por una acción mecánica.

Dentro del mismo tratamiento, labranza convencional, las subparcelas donde se efectuó cosecha liviana (LC CL; Figura 3.5.3.5) presentan un perfil de resistencia notablemente diferente al anterior. Se insinúa un mayor endurecimiento en las costillas pero de mucha menor magnitud y sólo se manifiesta en la capa más superficial del suelo, a diferencia de lo que pudo observarse en el perfil LC CC. También resulta menos evidente que las cargas ejercidas sobre las costillas se propaguen a los surcos. Por otra parte y si bien no se descarta la influencia del incremento de la HG en la capa de suelo comprendida entre los 10 y 20 cm de profundidad, de 5,6 puntos porcentuales, no se observan signos que indiquen el reestablecimiento de la impedancia característica de los suelos cañeros en este estrato. Coherentemente, el perfil LC CR fue el de mayor uniformidad vertical ya que a excepción de los primeros centímetros de suelo, la resistencia mecánica del suelo se ordenó en un mismo grupo homogéneo en todas las profundidades.

El perfil de resistencia de las subparcelas donde se hizo labranza en franjas y cosecha convencional (LF CC; Figura 3.5.3.6), resultó similar al LC CC. Esta observación era esperable ya que, la forma de cosecha, es el factor de mayor influencia en la dinámica de los cambios físicos ocurridos en la trocha luego de la implantación del cultivo. La diferencia más notable entre ambos perfiles es que, en LF CC, la trocha resulta más homogénea y es menos evidente el endurecimiento de las costillas respecto del centro del entresurco. Esta observación también era previsible ya que, la impedancia inicial del suelo no fue disturbada al comienzo del ensayo, permaneciendo inalterada la capa densificada y obteniendo mejores condiciones de piso para el tránsito de la maquinaria. No obstante, el proceso de densificación parece seguir progresando, aunque en forma más lenta que en LC CC (Figura 3.3.5.7).

Los menores valores de IC en el centro de los surcos, así como la extensión lateral y vertical de las zonas disturbadas, fueron hallados en las subparcelas con labranza en franjas y cosecha reducida (LF CR; Figura 3.3.5.7). Esto parecería indicar que las cargas superficiales ejercidas con esta forma de cosecha sobre el suelo sin disturbar tienen escaso efecto sobre los surcos. No resulta evidente el endurecimiento de las costillas y de existir, aparece enmascarado por la resistencia inicial de la trocha. La capa de mayor resistencia se encuentra a 10 cm de profundidad, a partir de allí se observan IC similares hasta los 25 cm a pesar de los mayores contenidos de humedad (3,4 puntos porcentuales).

Similar comportamiento presentaron los sitios sin alterar (Figura 3.3.5.8) alcanzando su mayor IC a 15 cm de profundidad y las capas subyacentes formaron un grupo homogéneo hasta los 25 cm. Es oportuno mencionar que la última labranza realizada en estos sitios fue en el año 2011 y luego de la cosecha de la soja, efectuada en el año 2012, permanecieron empastados hasta el momento del actual muestreo en el año 2016. La capa de elevada resistencia mecánica en el horizonte A, de 10 a 25 cm y significativamente superior a la de los primeros centímetros de suelo, se observa nítidamente luego de transcurridos cinco años bajo vegetación natural. La menor resistencia de las subparcelas LF CR que en la trocha tampoco han sido roturadas desde 2011, es atribuible a las diferencias en la humedad gravimétrica entre ambos perfiles.

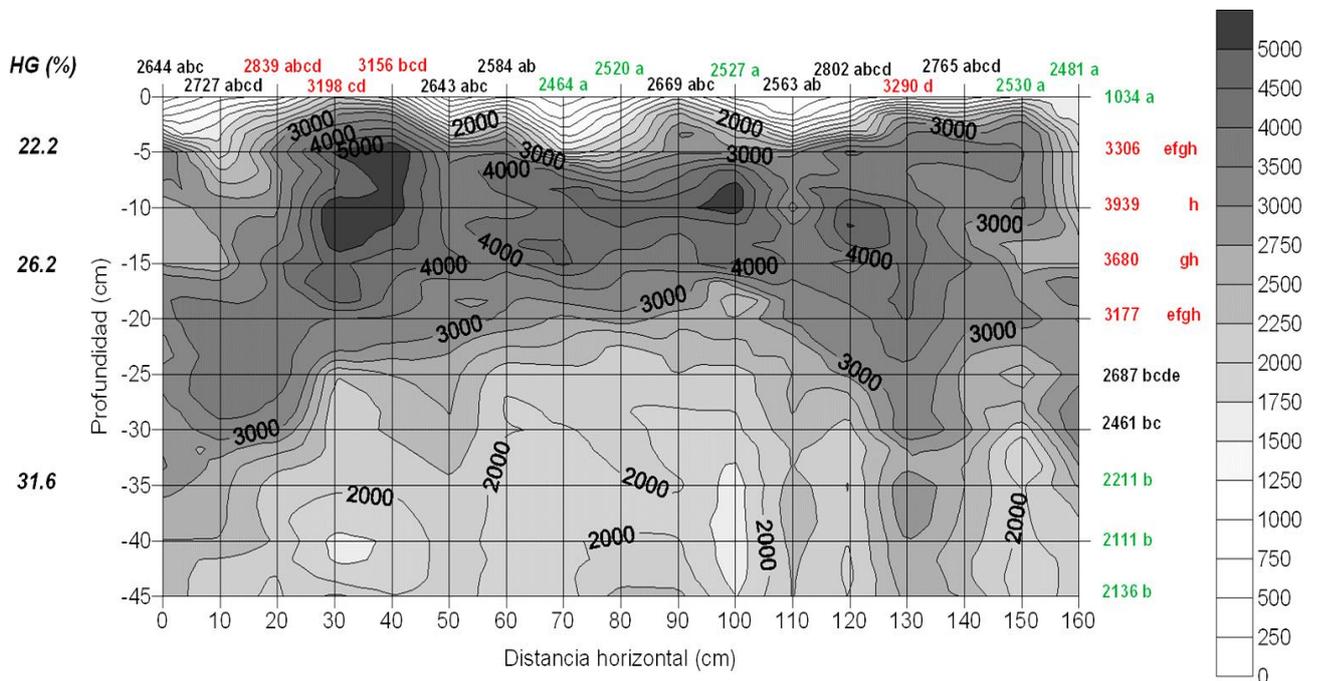


FIGURA 3.5.3.4: Perfil de resistencia del suelo. Tratamiento: labranza convencional. Subtratamiento: Cosecha convencional. Líneas de igual IC (iso-resistencia) en rangos de 250 kPa. En la parte superior de la figura IC promedio en el rango de profundidad de 0,00 m a 0,45 m. A la derecha, IC promedio en el rango de distancia horizontal de 0,00 m a 1,60 m. Letras iguales significa ausencia de diferencia estadísticas (Tukey $\alpha = 0,05$). Diferencia significativa mínima en la distancia horizontal: 599 kPa; en la profundidad: 644 kPa. A la izquierda, HG (%) en los rangos de profundidad de 0-10 cm; >10 a 20 cm (Hor. A) y de 30 a 40 cm (Hor. Bt₁). En rojo: los cuatro IC nominales más elevados en sentido vertical u horizontal. En verde: los cuatro menores IC nominales en sentido vertical u horizontal. Septiembre de 2016.

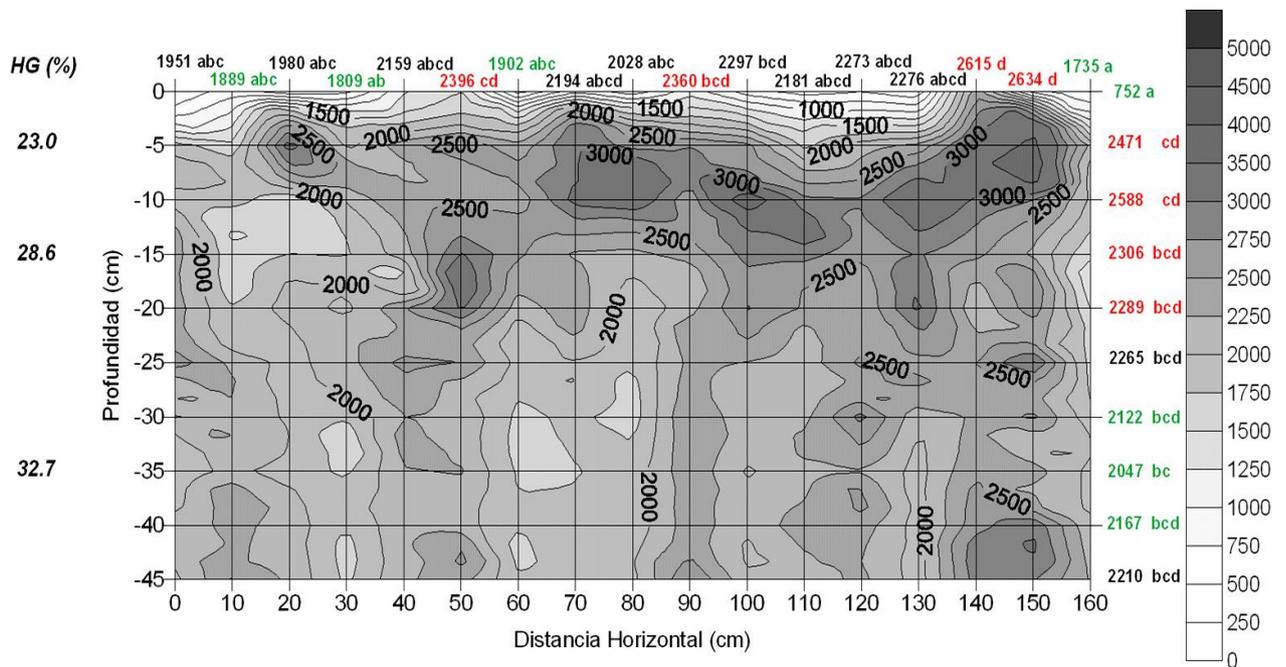


FIGURA 4.5.3.5: Perfil de resistencia del suelo. Tratamiento: labranza convencional. Subtratamiento: Cosecha reducida. Líneas de igual IC (iso-resistencia) en rangos de 250 kPa. En la parte superior de la figura IC promedio en el rango de profundidad de 0,00 m a 0,45 m. A la derecha, IC promedio en el rango de distancia horizontal de 0,00 m a 1,60 m. Letras iguales significa ausencia de diferencia estadísticas (Tukey $\alpha = 0,05$). Diferencia significativa mínima en la distancia horizontal: 565 kPa; en la profundidad: 608 kPa. A la izquierda, HG (%) en los rangos de profundidad de 0-10 cm; >10 a 20 cm (Hor. A) y de 30 a 40 cm (Hor. Bt₁). En rojo: los cuatro IC nominales más elevados en sentido vertical u horizontal. En verde: los cuatro menores IC nominales en sentido vertical u horizontal. Septiembre de 2016.

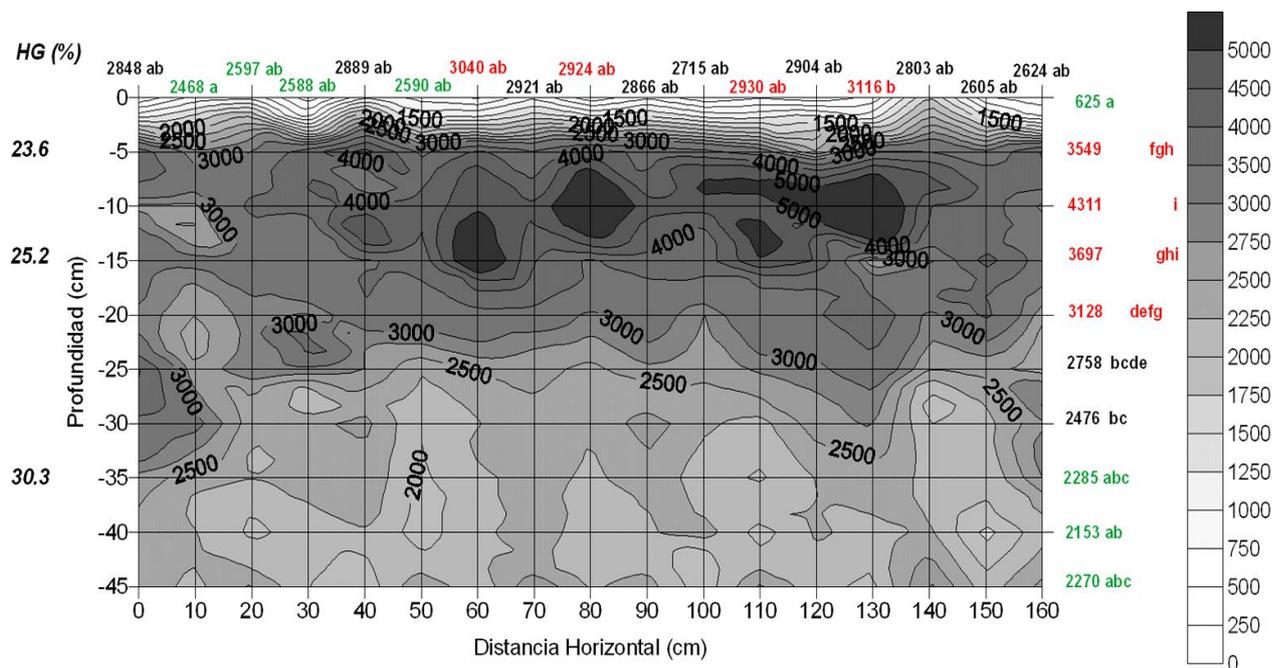


FIGURA 3.5.3.6: Perfil de resistencia del suelo. Tratamiento: labranza en franjas. Subtratamiento: Cosecha convencional. Líneas de igual IC (iso-resistencia) en rangos de 250 kPa. En la parte superior de la figura IC promedio en el rango de profundidad de 0,00 m a 0,45 m. A la derecha, IC promedio en el rango de distancia horizontal de 0,00 m a 1,60 m. Letras iguales significa ausencia de diferencia estadísticas (Tukey $\alpha = 0,05$). Diferencia significativa mínima en la distancia horizontal: 620 kPa; en la profundidad: 667 kPa. A la izquierda, HG (%) en los rangos de profundidad de 0-10 cm; >10 a 20 cm (Hor. A) y de 30 a 40 cm (Hor. Bt₁). En rojo: los cuatro IC nominales más elevados en sentido vertical u horizontal. En verde: los cuatro menores IC nominales en sentido vertical u horizontal. Septiembre de 2016.

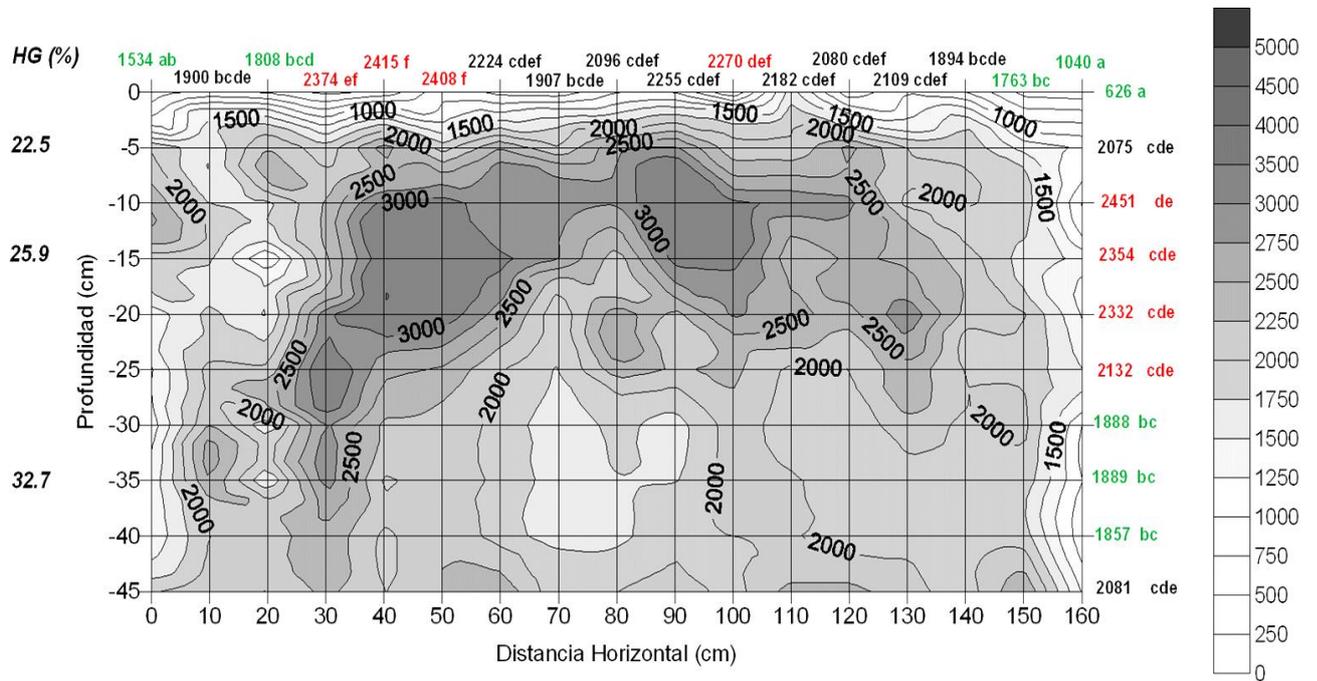


FIGURA 3.5.3.7: Perfil de resistencia del suelo. Tratamiento: labranza en franjas. Subtratamiento: Cosecha reducida. Líneas de igual IC (iso-resistencia) en rangos de 250 kPa. En la parte superior de la figura IC promedio en el rango de profundidad de 0,00 m a 0,45 m. A la derecha, IC promedio en el rango de distancia horizontal de 0,00 m a 1,60 m. Letras iguales significa ausencia de diferencia estadísticas (Tukey $\alpha = 0,05$). Diferencia significativa mínima en la distancia horizontal: 496 kPa; en la profundidad: 534 kPa. A la izquierda, HG (%) en los rangos de profundidad de 0-10 cm; >10 a 20 cm (Hor. A) y de 30 a 40 cm (Hor. Bt₁). En rojo: los cuatro IC nominales más elevados en sentido vertical u horizontal. En verde: los cuatro menores IC nominales en sentido vertical u horizontal. Septiembre de 2016.

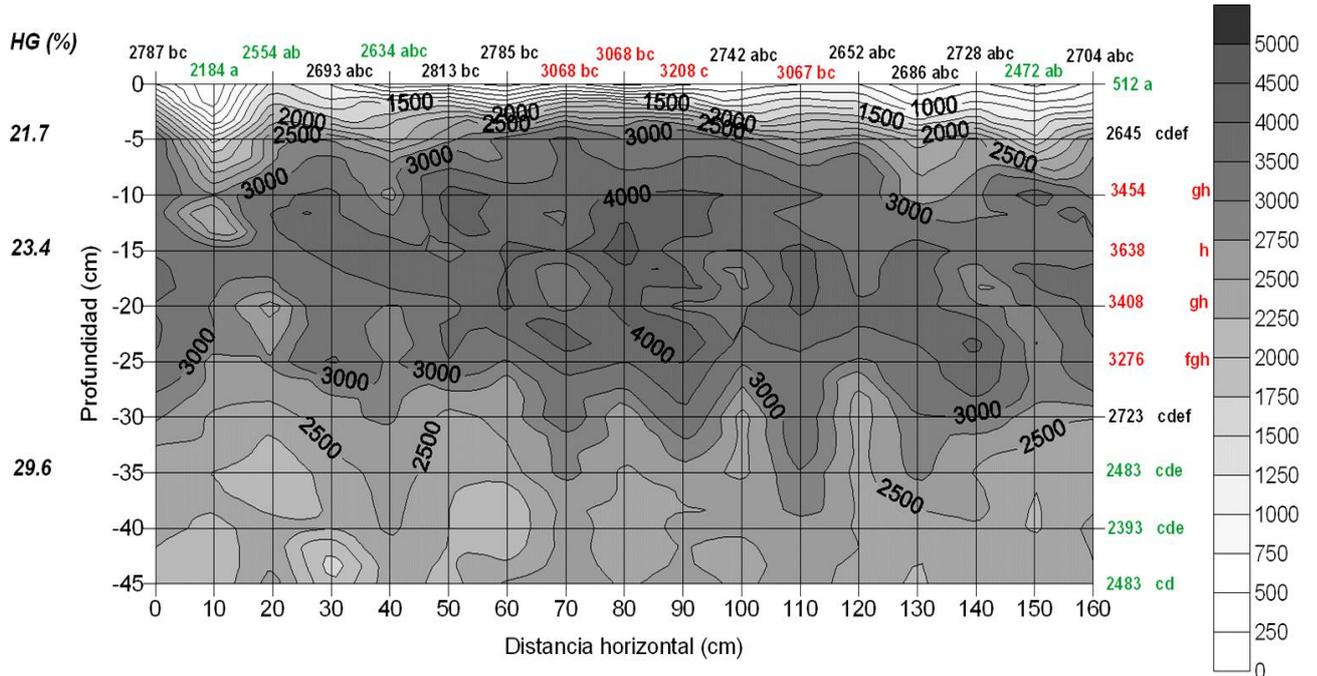


FIGURA 3.5.3.8: Perfil de resistencia del suelo. Sitios sin alterar. Líneas de igual IC (iso-resistencia) en rangos de 250 kPa. En la parte superior de la figura IC promedio en el rango de profundidad de 0,00 m a 0,45 m. A la derecha, IC promedio en el rango de distancia horizontal de 0,00 m a 1,60 m. Letras iguales significa ausencia de diferencia estadísticas (Tukey $\alpha = 0,05$). Diferencia significativa mínima en la distancia horizontal: 599 kPa; en la profundidad: 644 kPa. A la izquierda, HG (%) en los rangos de profundidad de 0-10 cm; >10 a 20 cm (Hor. A) y de 30 a 40 cm (Hor. Bt₁). En rojo: los cuatro IC nominales más elevados en sentido vertical u horizontal. En verde: los cuatro menores IC nominales en sentido vertical u horizontal. Septiembre de 2016.

3.6: Desarrollo del cultivo

3.6.1: Cantidad de tallos

La cantidad de tallos por metro de surco obtenidos en julio de 2017 resultó casi coincidente en ambos tratamientos, alcanzando $20,7$ tallos·m⁻¹ bajo labranza convencional y $20,4$ tallos·m⁻¹ bajo labranza en franjas ($F = 0,61$; $Pr>F = 0,4368$). A diferencia de lo observado en años anteriores, dentro de la labranza en franjas se detectaron diferencias significativas entre subtratamientos (Tabla 3.6.1.1).

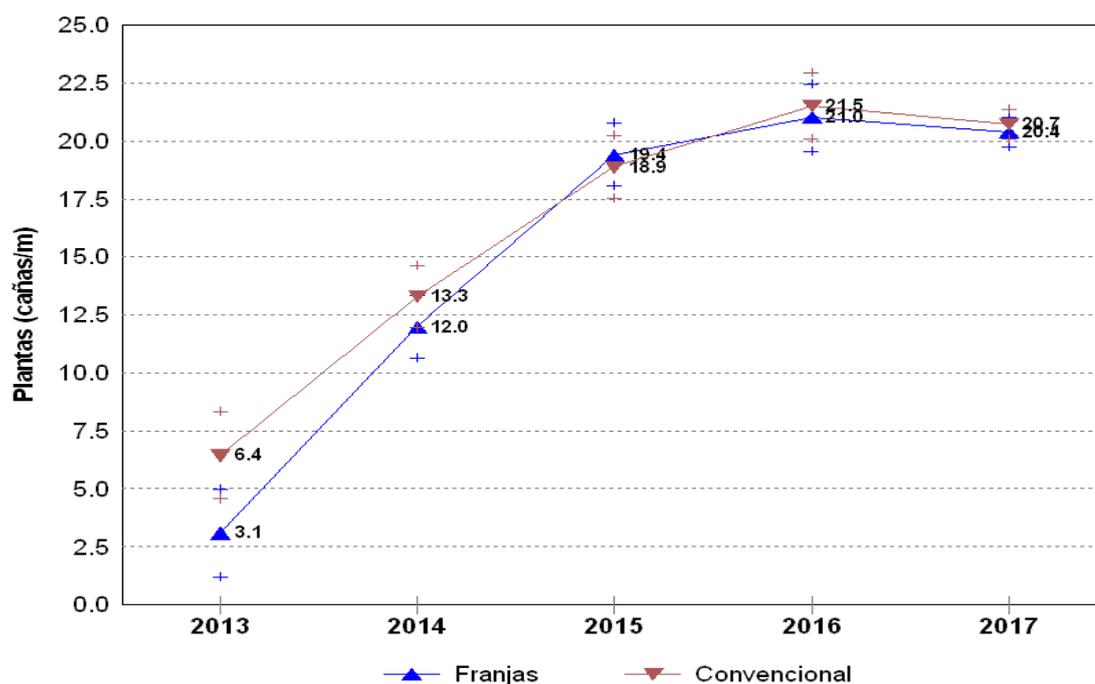


FIGURA 3.6.1.1: Tallos de caña por metro de surco obtenidos en distintas fechas de muestreo. Referencias: Formas de implantación del cultivo (Tratamientos) Franjas – Convencional. +: Intervalos de confianza del 95%.

El picado de la trocha, labor cultural introducida en el año 2017 y realizada en la mitad de los entresurcos de las subparcelas, redujo la cantidad de tallos por metro de surco principalmente en las parcelas implantadas mediante labranza en franjas (Figura 3.6.1.2). Sin embargo, la interacción Tratamiento * manejo de la trocha resultó no significativa ($F = 0,83$; $Pr>F = 0,3652$).

TABLA 3.6.1.1: 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: Convencional o Reducida. Error estándar: 0,225 tallos·m⁻¹. 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 (caña planta)	Franjas	12,00 ^(a)			10,27	13,71
	Imp. Conv.	13,28 ^(a)			11,56	15,00
Junio de 2015 (Soca 1)	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 (Soca 2)	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
Julio de 2017 (Soca 3)	Franjas	20,38 ^(a)	Convencional	21,71 ^(a)	20,81	22,61
			Reducida	19,06 ^(b)	18,16	19,96
	Imp. Conv.	20,74 ^(a)	Convencional	20,46 ^(a)	19,56	21,36
			Reducida	21,01 ^(a)	20,11	21,91

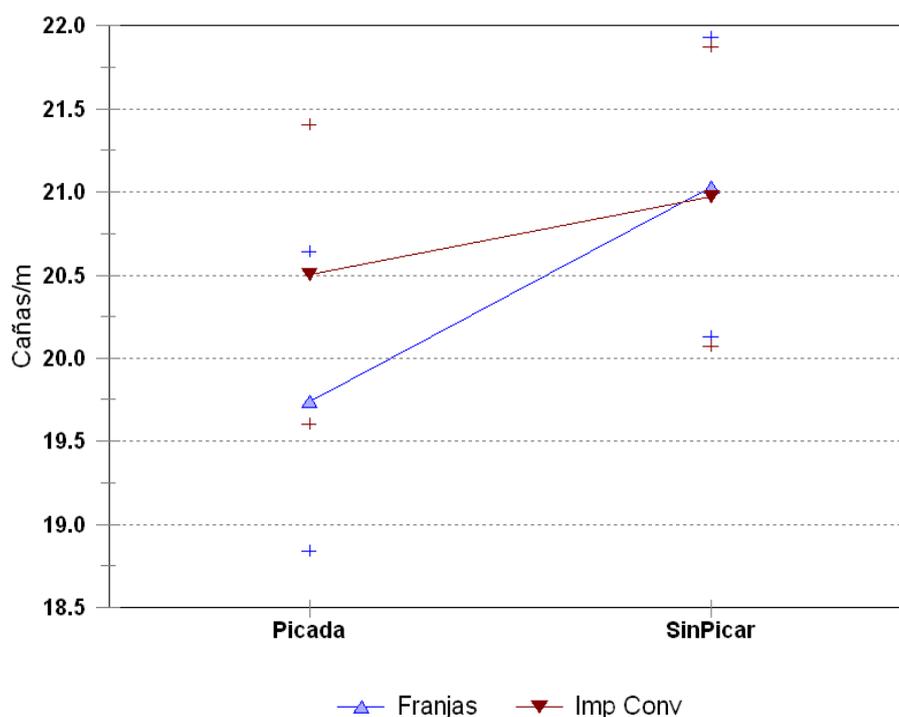


FIGURA 3.6.1.2: Tallos de caña por metro de surco obtenidos con y sin picado de la trocha. Año 2017. Referencias: Formas de implantación del cultivo (Tratamientos): Franjas o Imp. Conv.: Implantación convencional. +: Intervalos de confianza al 95%.

Similar efecto tuvo el picado de la trocha al ser analizado en función de las distintas formas de cosecha (Figura 3.6.1.3). Al igual que en el caso anterior, la interacción subtratamiento * manejo de la trocha resultó no significativa ($F = 0,37$; $Pr > F = 0,5440$).

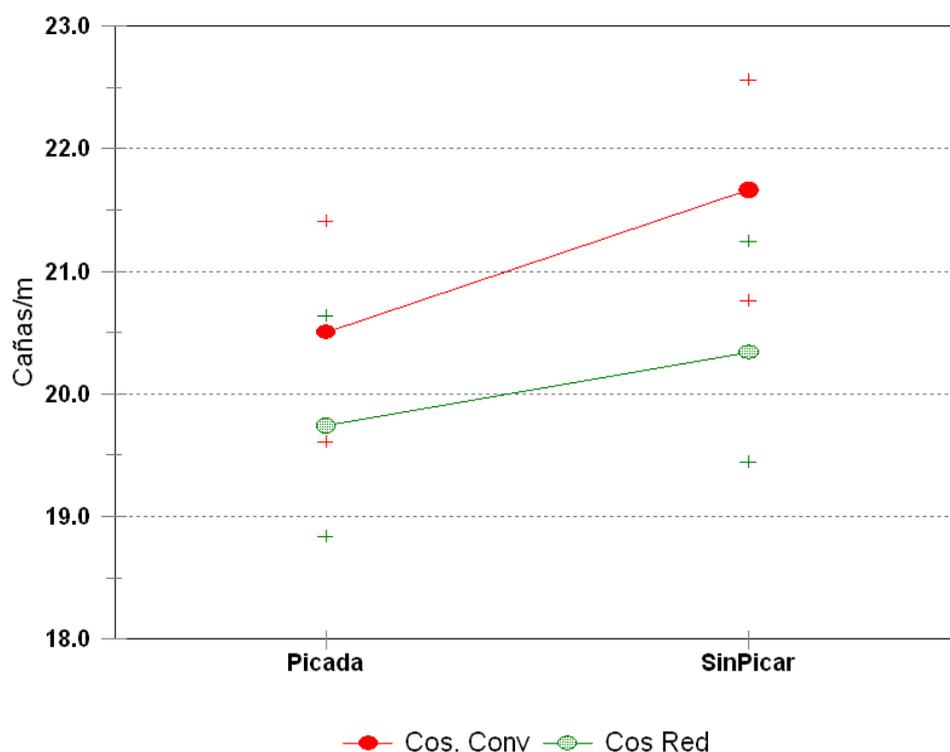


FIGURA 3.6.1.3: Tallos de caña por metro de surco obtenidos con y sin picado de la trocha. Año 2017. Referencias: Formas de cosecha del cultivo (Subtratamientos): Cos. Conv: convencional; Cos Red: reducida. +: Intervalos de confianza del 95%.

4.6.2: Peso de los tallos

El peso unitario promedio de las cañas obtenidas en agosto de 2017 no presentó diferencias significativas entre tratamientos, alcanzando $566,0 \text{ g}\cdot\text{tallo}^{-1}$ bajo labranza convencional y $574,3 \text{ g}\cdot\text{tallo}^{-1}$ bajo labranza en franjas ($F = 0,17$; $Pr > F = 0,6853$). En lo que respecta a los subtratamientos, las subparcelas con cosecha reducida alcanzaron mayor peso medio de tallos ($F = 4,70$; $Pr > F = 0,0339$). Este efecto se manifestó principalmente en las parcelas con labranza convencional (Tabla 3.6.2.1). Sin embargo, dentro de cada uno de los tratamientos, en ninguno de los dos casos estas diferencias resultaron significativas ($F = 1,17$; $Pr > F = 0,2837$).

El picado de la trocha en las parcelas implantadas de forma convencional tuvo un efecto positivo sobre el peso medio de las cañas ($Pr > |t| = 0,0189$). Por el contrario, en las parcelas implantadas mediante labranza en franjas, el peso medio por caña resultó prácticamente indiferente frente a la realización o no de esta práctica (Figura 3.6.2.2).

La interacción tratamiento * manejo de la trocha resultó significativa ($F= 6,17$; $Pr>F= 0,0156$). En cambio, la interacción subtratamiento * manejo de la trocha no alcanzó significación estadística ($F= 1,00$; $Pr>F= 0,3218$). No obstante, el picado insinuó un mayor incremento del peso medio por caña en las subparcelas que fueron sometidas a cosecha convencional (Figura 3.6.2.3).

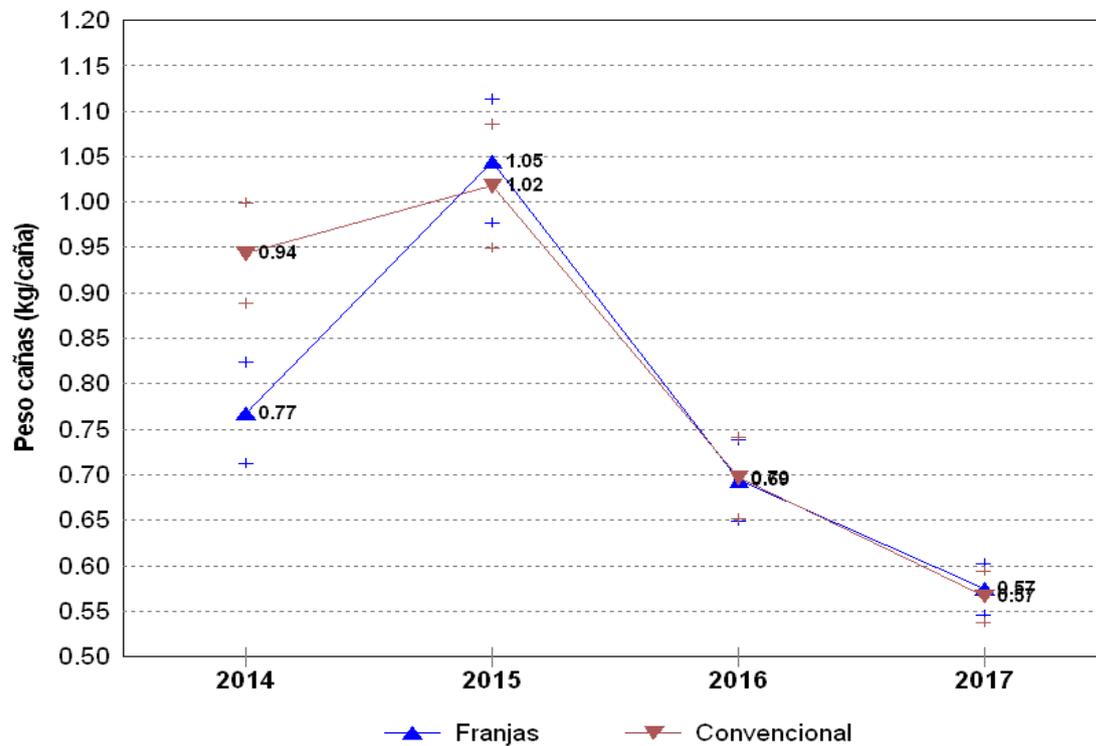


FIGURA 3.6.2.1: Peso medio de las cañas obtenidos en distintas fechas de muestreo. Referencias: Formas de implantación del cultivo (Tratamientos) Franjas o Convencional. +: Intervalos de confianza del 95%.

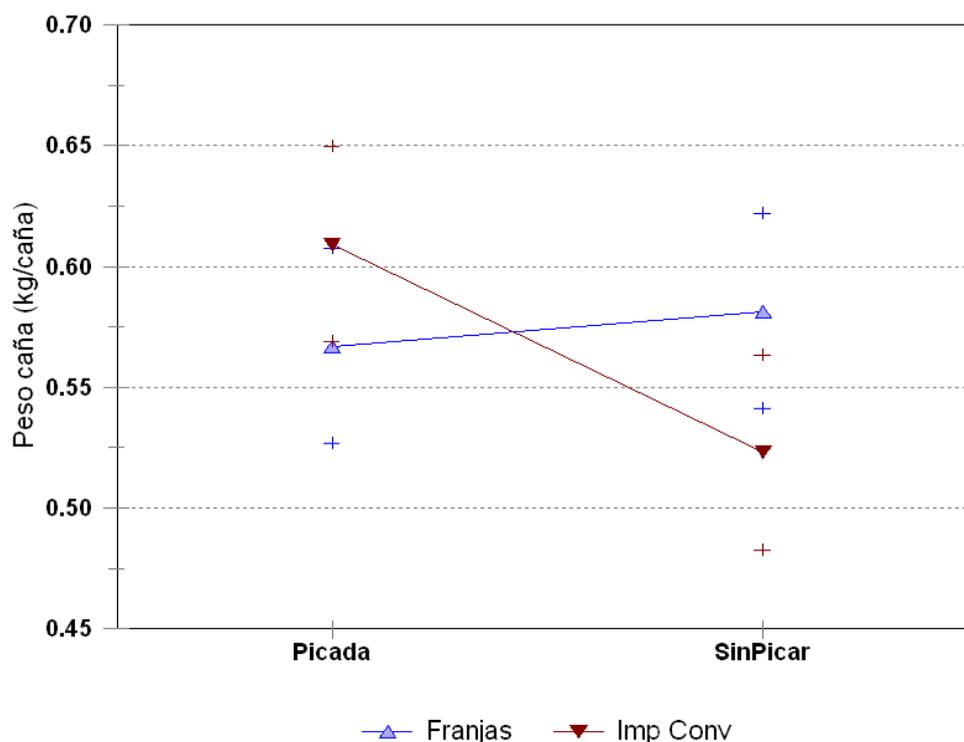


FIGURA 3.6.2.2: Peso medio de las cañas obtenido con y sin picado de la trocha. Año 2017. Referencias: Formas de implantación del cultivo (Tratamientos) Franjas o Imp Conv.: Convencional. +: Intervalos de confianza del 95%.

TABLA 3.6.2.1: Peso promedio de las cañas obtenidas en distintas fechas de muestreo. Referencias: Tratamientos: forma de implantación del cultivo. Imp. Conv: implantación convencional. Subtratamiento: Forma de cosecha: Convencional o Reducida. Error estándar: 1,01 g-caña⁻¹. 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)	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
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
Agosto de 2017	Franjas	574,3 ^(a)	Convencional	563,3 ^(a)	522,9	603,6
			Reducida	585,2 ^(a)	544,9	625,6
	Imp. Conv.	566,0 ^(a)	Convencional	533,2 ^(a)	492,9	573,6
			Reducida	598,8 ^(a)	558,5	639,2

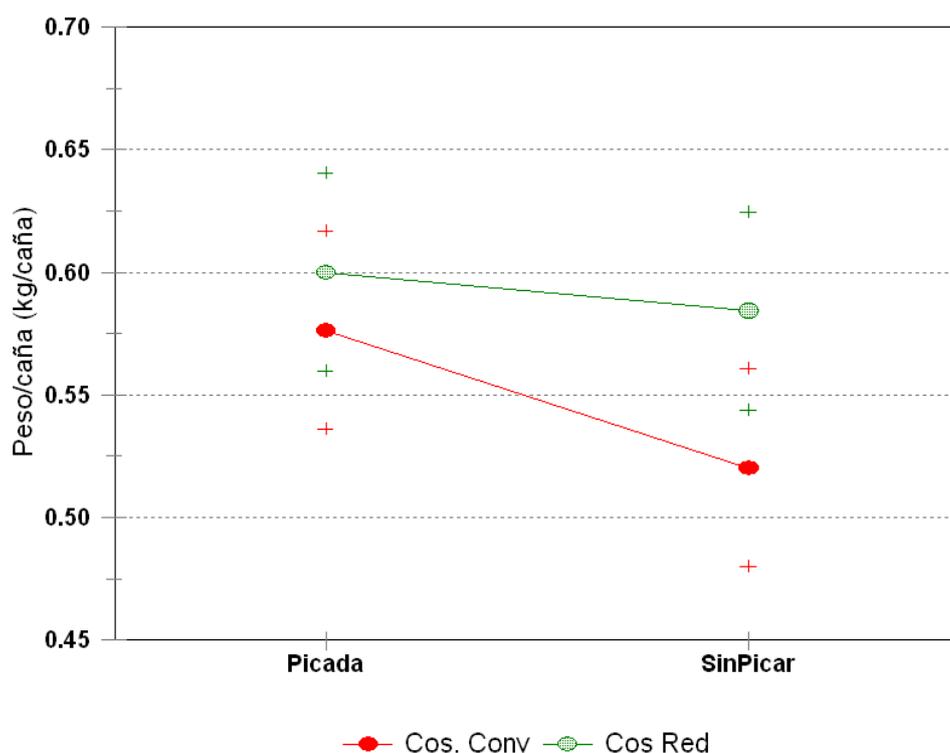


FIGURA 3.6.2.3: Peso medio de las cañas obtenido con y sin picado de la trocha. Año 2017. Referencias: Formas de cosecha del cultivo (Subtratamientos) Cos. Conv: convencional; Cos Red: reducida. +: Intervalos de confianza al 95%.

3.6.3: Rendimiento del cultivo

El rendimiento del cultivo de caña resultó prácticamente igual en los distintos tratamientos, alcanzando a $70,51 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ y $70,15 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ el implantado en forma convencional y en franjas respectivamente. Bajo cosecha convencional se obtuvo un rendimiento de $69,45 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ mientras que, con cosecha reducida, alcanzó a $71,22 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Se manifestó una interacción significativa entre tratamientos y subtratamientos ($F= 13,81$; $Pr>F= 0,0004$). La cosecha convencional redujo significativamente el rendimiento en las parcelas implantadas de forma convencional ($Pr > |t| = 0,0112$).

TABLA 3.6.3.1: Rendimiento de caña obtenido en distintas fechas de muestreo. Referencias: Tratamientos: forma de implantación del cultivo. Imp. Conv: implantación convencional. Subtratamiento: Forma de cosecha: Convencional o Reducida. Error estándar: 0,527 t·ha⁻¹. 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	10,99
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
Agosto de 2017	Franjas	70,15 ^(a)	Convencional	73,32 ^(a)	68,96	77,68
			Reducida	66,98 ^(a)	62,62	71,34
	Imp. Conv.	70,51 ^(a)	Convencional	65,57 ^(a)	61,21	69,93
			Reducida	75,45 ^(b)	71,09	79,81

La interacción tratamiento * manejo de la trocha resultó significativa ($F= 11,58$; $Pr>F= 0,0012$). El picado de la trocha en las parcelas implantadas de forma convencional tuvo un efecto positivo sobre el rendimiento del cultivo ($Pr> |t| = 0,0268$) mientras que, la realización de esta práctica en las parcelas implantadas mediante labranza en franjas tuvo un efecto depresor en el rendimiento sin significación estadística ($Pr> |t| = 0,2206$).

La interacción subtratamiento * manejo de la trocha no alcanzó significación estadística ($F= 0,61$; $Pr>F= 0,4389$). En este caso, el picado de la trocha generó un incremento en el rinde en las subparcelas que donde se utilizó cosecha convencional y tuvo un efecto prácticamente nulo en las que se practicó cosecha liviana (Figura 3.6.3.3).

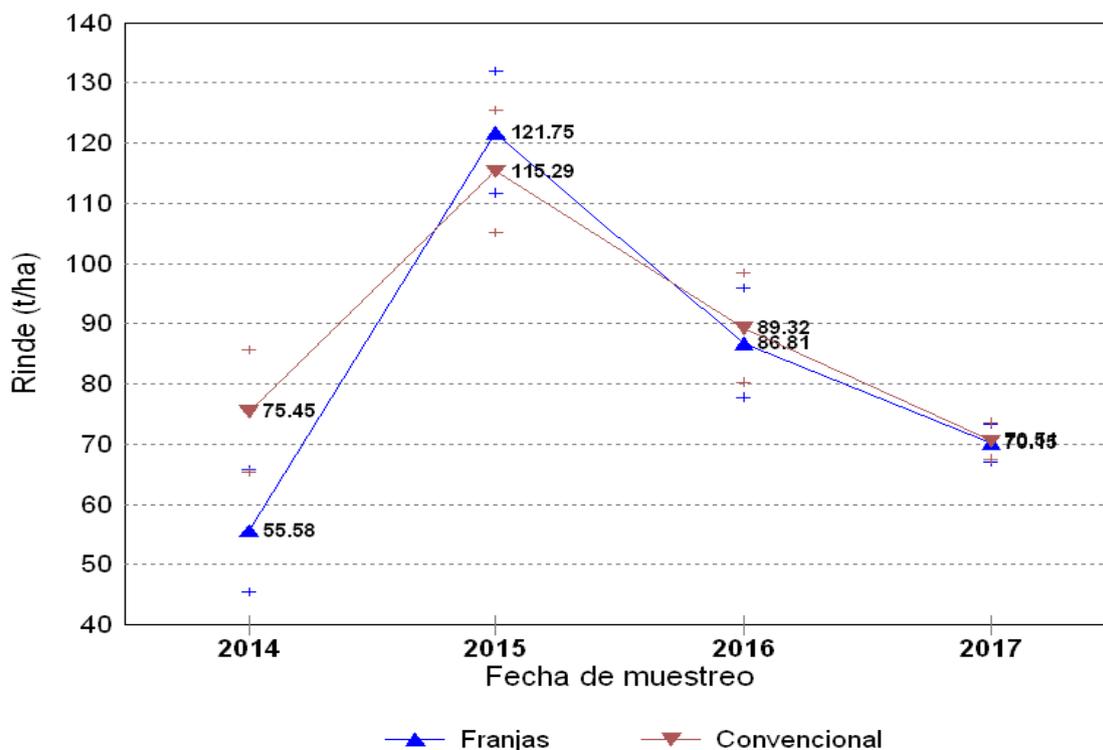


FIGURA 3.6.3.1: Rendimiento del cultivo obtenido en distintas fechas de muestreo. Referencias: Formas de implantación del cultivo (Tratamientos) Franjas o Convencional. +: Intervalos de confianza del 95%.

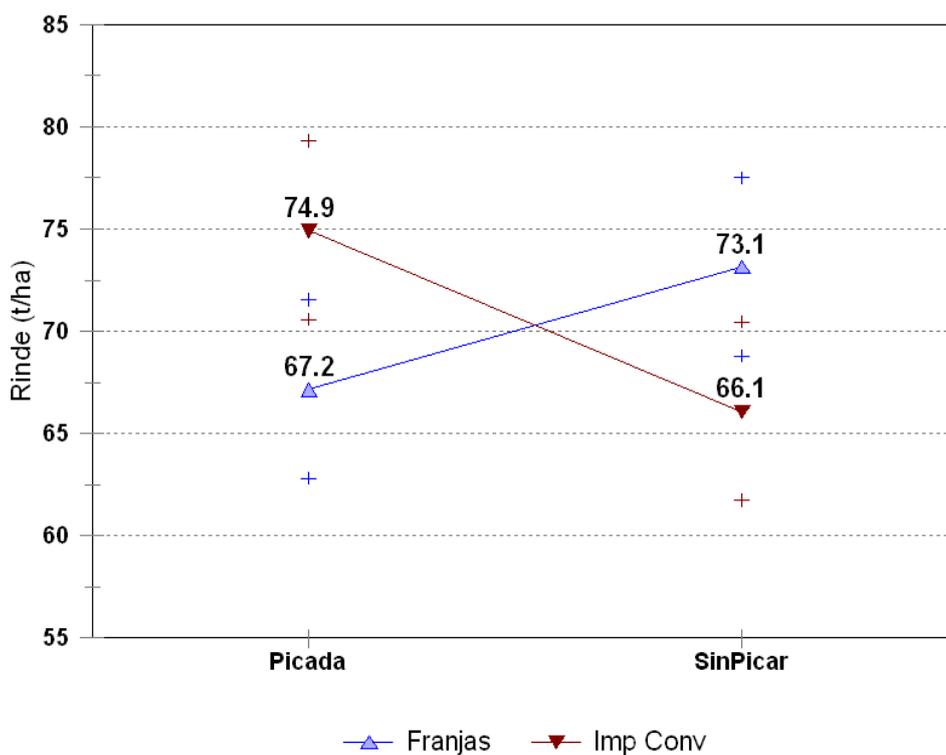


FIGURA 3.6.3.2: Rendimiento obtenido con y sin picado de la trocha. Año 2017. Referencias: Formas de implantación del cultivo (Tratamientos); Franjas o Imp Conv: Implantación convencional. +: Intervalos de confianza del 95%.

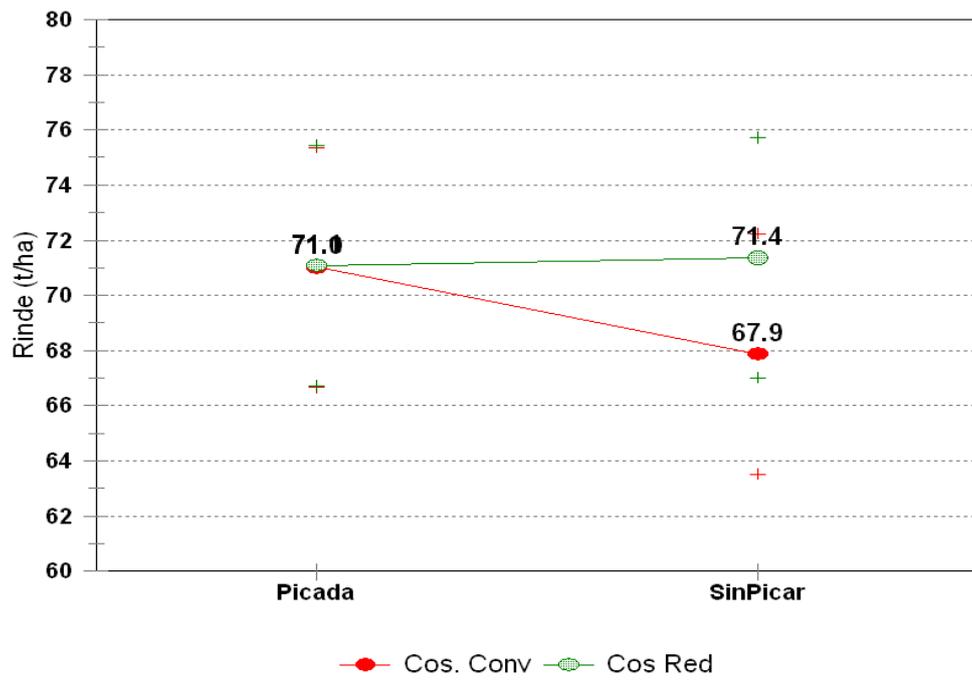


FIGURA 3.6.2.3: Rendimiento obtenido con y sin picado de la trocha. Año 2017. Referencias: Formas de cosecha del cultivo (Subtratamientos): Cos. Conv: convencional; Cos Red: reducida. +: Intervalos de confianza del 95%.

4. CONSIDERACIONES FINALES

La evolución de las variables del suelo monitoreadas en el transcurso de este ensayo se mantiene estable desde el año 2014. La diferenciación provocada por los tratamientos y fundamentalmente, por los subtratamientos, se manifestó luego de realizada la primera cosecha de caña. A partir de ese momento, los cambios observados adquirieron escasa magnitud.

La principal fuente de variación respondió a los subtratamientos. La alteración de la densidad aparente se evidenció en la capa más superficial y en la más profunda del perfil y su dinámica fue favorecida por la labranza. Las mayores cargas ejercidas sobre el suelo en las sucesivas operaciones de cosecha convencional, mantuvieron la densidad aparente promedio del perfil en niveles estadísticamente superiores a los existentes en las subparcelas con cosecha reducida. Éstas últimas presentan una evolución similar a la de los sitios testigos.

Fue escasa la variación de la humedad del suelo entre las subparcelas, pero resultó coherente con los cambios ocurridos en la densidad aparente.

Los perfiles de menor resistencia mecánica del suelo se observaron en las subparcelas con labranza en franjas y cosecha reducida. El extremo opuesto se encuentra en las subparcelas con cosecha convencional, las cuales evidenciaron la tipología característica de los suelos cañeros.

El rendimiento del cultivo, del orden de las 70 t·ha⁻¹, fue casi coincidente en ambos tratamientos. La cosecha convencional deprimió significativamente los rendimientos (-10 tn·ha⁻¹) en las parcelas implantadas en forma convencional. Sólo en estas parcelas y dentro de éstas, en aquellas subparcelas donde se efectuó cosecha convencional, el picado de la trocha presentó un efecto positivo.

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