

Cultivo de caña en Famaillá: Estudio de caso. Análisis de las reacciones del suelo sobre cuchillas Wavy de 20" de diámetro y 12 ondas bajo diferentes condiciones operativas.

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

Instituto de Ingeniería Rural - CIA - CNIA

¹Laboratorio de Terramecánica e Implantación de Cultivos

²EEA Famaillá (Tucumán)

Informe Técnico N° 37
Agosto 2021



Ediciones

Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



Informe Técnico Nº 37

ISSN 1852-3080

Agosto 2021

Cultivo de caña en Famaillá: Estudio de caso.
Análisis de las reacciones del suelo sobre cuchillas Wavy de 20" de diámetro
y 12 ondas bajo diferentes condiciones operativas.

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

ÍNDICE

Resumen	2
1. Introducción	4
2. Materiales y Métodos	6
3. Resultados	
3.1 Profundidad efectiva de trabajo	9
3.2 Reacción del suelo (fuerza vertical)	11
3.3 Fuerza de tracción (fuerza axial)	13
3.4 Relación entre la fuerza axial y la reacción del suelo	15
3.5 Relación entre la velocidad efectiva de avance y la velocidad tangencial de la cuchilla	15
4. Consideraciones Finales	18
5. Bibliografía	20

Cultivo de caña en Famaillá: Estudio de caso.

Análisis de las reacciones del suelo sobre cuchillas Wavy de 20" de diámetro y 12 ondas bajo diferentes condiciones operativas.

RESUMEN

Se realizaron pruebas de campo con una cuchilla Ingersoll Wavy de 20" de diámetro y 12 ondas bajo diferentes condiciones operativas. Las reacciones del suelo sobre dicho órgano activo fueron medidas utilizando un carro dinamométrico desarrollado en el Laboratorio de Terramecánica e Implantación de Cultivos del Instituto de Ingeniería Rural (IIR-CIA-CNIA-INTA). Las fuerzas axiales, transversales y verticales ejercidas por el suelo sobre la cuchilla se almacenaron a intervalos de un segundo, en un sistema de adquisición de datos. En forma simultánea con las lecturas de las fuerzas actuantes, fueron registradas la velocidad de avance del equipo, la profundidad de trabajo y la velocidad tangencial de la cuchilla.

El carro dinamométrico fue alistado para que la cuchilla trabajara a tres profundidades: máxima, media y mínima. En la máxima, se permitió el descenso de la cuchilla hasta 160 mm por debajo del plano de sustentación de las ruedas de apoyo del carro dinamométrico. En la media y en la mínima, el descenso estuvo limitado a 140 y 120 mm, respectivamente.

Se observó una tendencia a la reducción de la profundidad media efectiva de trabajo a medida que lo hacía la velocidad de avance, pero esta relación no alcanzó significación estadística. La velocidad de avance tuvo un efecto despreciable sobre la fuerza vertical. La fuerza axial requerida para impulsar la cuchilla se modificó en función de la profundidad

utilizada, alcanzando valores de 23,5 kg, 18,9 kg y 14,7 kg para las regulaciones máxima, media y mínima, respectivamente. La velocidad de avance tuvo un efecto similar al de la profundidad, aunque de menor magnitud. El cociente entre la fuerza de tracción y la reacción del suelo no presentó diferencias estadísticas por efecto de la profundidad ni por la velocidad de avance. Respecto a la relación entre la velocidad efectiva de avance y la velocidad tangencial de la cuchilla, ninguna de las variables utilizadas modificó los porcentajes sustancialmente, excepto cuando la cuchilla trabajó en el borde del surco.

1. INTRODUCCIÓN

A diferencia de lo sucedido en la mayoría de los cultivos argentinos, en los que los sistemas tradicionales de manejo dieron paso a planteos productivos conservacionistas, en el cultivo de la caña de azúcar los sistemas tradicionales mantienen su vigencia. En este escenario, la secuencia de labores tiene una incidencia aproximada de entre un 30 y un 35 % en los costos de producción.

En el marco del PE 1108074 - Optimización del ciclo de vida de los cultivos industriales (PNIND) Módulo 2: “Alternativas tecnológicas y optimización de los sistemas de manejo en cultivos industriales” 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.

En un área con suelos argiudoles ácuicos de la EEA Famaillá, con un prolongado historial de monocultivo de caña de azúcar con el manejo tradicional de la zona y partiendo de un rastrojo de soja, comenzaron a probarse dos sistemas de cultivo: 1) Manejo convencional; 2) Labranza en franjas sin remoción profunda del suelo en los sitios de tránsito (trocha). En el caso del tratamiento 1 la implantación del cultivo se realizó en forma convencional, con la siguiente secuencia de labores: una pasada de rastra excéntrica sobre el rastrojo de soja, dos pasadas de subsolador, una segunda labranza con rastra excéntrica, surcado y plantación. A partir de este momento, se condujo con el manejo tradicional de la zona, consistente en el control mecánico de malezas y el laboreo profundo de la trocha durante el ciclo del cultivo. En el tratamiento 2, sólo se efectuó una labranza profunda en los sitios donde luego se conformaron los surcos para ser colocada la caña semilla. Esta técnica, conocida como labranza en franjas, se llevó a cabo mediante un prototipo diseñado y desarrollado en el Laboratorio de Terramecánica e Implantación de Cultivos (IIR-CIA-CNIA-INTA). Este escarificador posee arcos rígidos que trabajan progresivamente, a profundidades crecientes, en una estrecha franja de suelo. La utilización del mismo permite mantener las trochas (sitios de tránsito) sin disturbar desde el comienzo del ciclo del

cultivo. Al momento del ensayo, el escarificador no contaba con un rolo desterronador con cuchillas circulares, dispositivo que contribuye a la obtención de una adecuada granulometría evitando la permanencia de terrones grandes que dificultan la implantación del cultivo. Posteriormente, este accesorio para labranza secundaria fue incorporado a la máquina, siendo ahora necesario obtener información técnica que permita definir el modelo más apropiado de órgano activo en lo que respecta al diámetro y el número de ondas de las cuchillas circulares.

Kushwaha et al. (1986) informan que la capacidad de corte de las cuchillas y el esfuerzo tractivo depende de sus características de diseño (diámetro y profundidad de trabajo), del suelo (humedad y resistencia a la penetración) y de la cantidad de residuos en superficie. Nieuwenburg et al. (1992) expresaron que la fuerza de reacción del suelo sobre la cuchilla puede dividirse en dos componentes, la fuerza de corte y la fuerza de fricción. Evaluando distintos diseños concluyeron que estos componentes dependen tanto del diseño del filo como el de los planos laterales de fricción. Schaaf et al. (1980) encontraron que, sin la influencia del rastreo, el diseño de las cuchillas no afectaba significativamente la fuerza de tiro o la fuerza vertical, pero sí afectaba significativamente la formación del surco y la cantidad de suelo disturbado. Entonces, es de esperar que el efecto de los diferentes diseños de cuchillas sobre el suelo produzca variaciones en la eficiencia de implantación. Tice and Hendrick (1991), trabajando sobre una cuchilla de diseño "Wavy" (de 8 y 13 ondas) expresaron que la velocidad de trabajo tuvo un efecto pronunciado en la cantidad de suelo adherido, independientemente de la geometría de la chuchilla.

El objetivo de este trabajo fue cuantificar las reacciones del suelo sobre distintos diseños de cuchillas, a fin de seleccionar el modelo más apropiado para ser incorporado al accesorio para labranza secundaria del prototipo utilizado en el ensayo de la EEA Famaillá.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo fue realizado en el campo experimental del Instituto de Ingeniería Rural (INTA Castelar, provincia de Buenos Aires, 34° 36' 20,69" S; 58° 40' 2,56" O) sobre un complejo de suelos integrado en un 60 % por la serie Hurlingham (argiudol vértico) y en un 40 % por la serie Las Cabañas (argiudol típico), moderadamente drenado con una pendiente de 1-3%. La zona se caracteriza por presentar un clima templado. La temperatura media anual es de 18 °C y las precipitaciones medias anuales corresponden a la isohieta de 900 mm (SAGyP, 1990).

El contenido de humedad promedio del suelo al momento de realizar las pruebas fue de 24,4%, en un rango de profundidad de 0 a 150 mm. Este tenor de humedad corresponde aproximadamente al límite entre el estado de consistencia del suelo friable y plástico.

El órgano activo probado fue una cuchilla marca Ingersoll modelo Wavy de 20 pulgadas de diámetro (508 mm) y 12 ondas. Las reacciones del suelo sobre dicho órgano activo fueron medidas utilizando un carro dinamométrico desarrollado en el Laboratorio de Terramecánica e Implantación de Cultivos del Instituto de Ingeniería Rural del INTA Castelar. Las fuerzas axiales, transversales y verticales ejercidas por el suelo sobre la cuchilla fueron almacenadas, a intervalos de un segundo, en un sistema de adquisición de datos. En forma simultánea con las lecturas de las fuerzas actuantes, fueron registradas la velocidad de avance del equipo, la profundidad de trabajo y la velocidad tangencial de la cuchilla.

El carro dinamométrico fue alistado para que la cuchilla trabajara a tres profundidades: máxima, media y mínima. En la máxima, se permitió el descenso de la cuchilla hasta 160 mm por debajo del plano de sustentación de las ruedas de apoyo del carro dinamométrico. En la media y en la mínima, el descenso estuvo limitado a 140 y 120 mm, respectivamente.

Se utilizó un tractor New Holland Modelo TM 7020 el cual fue conducido a un régimen del motor de 1500 vueltas por minuto en tres diferentes marchas: A3, B3 y D1. Estas combinaciones de régimen y marchas determinaron las velocidades mínima, media y máxima que fueron de aproximadamente $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ y $1,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, respectivamente.



FIGURA 2.1: Izquierda: Vista lateral del carro dinamométrico con la cuchilla en posición de trabajo. Derecha: Vista trasera del equipo completo utilizado en el ensayo.



FIGURA 2.2: Vista en detalle de la cuchilla

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado. La cuchilla fue probada en el centro y en los bordes de los surcos conformados previamente mediante un

escarificador para labranza en franjas. La resistencia mecánica del suelo luego de efectuada la labranza, medida en tres transectas perpendiculares a la trayectoria del escarificador, puede observarse en la tabla 2.1 y en la figura 2.2.

Profundidad (cm)	Distancia horizontal (cm)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	1146	397	140	667	187	140	163	257	304	163	292
5	1427	1065	292	1064	210	233	222	257	713	842	760
10	2024	1814	1076	1427	350	514	281	515	969	1509	1310
15	1895	2141	1521	1580	514	947	444	503	1416	1521	1626
20	1626	2645	1708	2001	760	772	363	735	1697	1065	1486
25	1533	2176	1603	1696	714	737	503	1006	1825	1076	1533
30	1416	1837	1533	1790	748	1053	561	959	1849	1053	1556

TABLA 2.1: Índice de cono promedio de tres transectas perpendiculares al paso del escarificador para labranza en franjas. Referencias: Valores expresados en kPa. Entre los 50 y 60 cm aproximadamente se ubica el centro del surco. En este lugar fue pasada la cuchilla en la posición “Centro”. A +/-20 cm del centro fue pasada la cuchilla en la posición “Borde”.

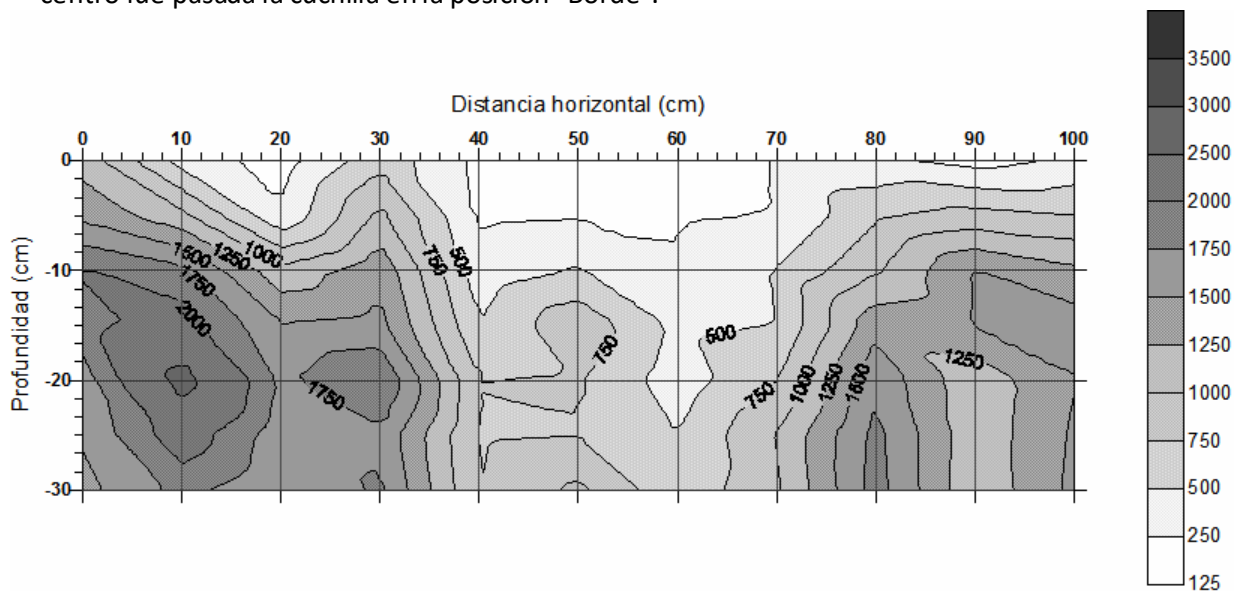


FIGURA 2.2: Perfil de resistencia del suelo promedio de tres transectas perpendiculares al paso del escarificador para labranza en franjas. Representación gráfica de la tabla 2.1. Referencias: Valores expresados en kPa. Entre los 50 y 60 cm aproximadamente se ubica el centro del surco. En este lugar fue pasada la cuchilla en la posición “Centro”. A +/-20 cm del centro fue pasada la cuchilla en la posición “Borde”.

A modo de resumen, en la siguiente tabla se detallan los tratamientos realizados:

Tratamiento	Niveles	Magnitud
Profundidad de trabajo	Máxima	160 mm
	Media	140 mm
	Mínima	120 mm
Velocidad de trabajo	Máxima	1,6 m·s ⁻¹
	Media	1,2 m·s ⁻¹
	Mínima	0,5 m·s ⁻¹
Posición de la cuchilla	Centro	
	Borde	

TABLA 2.2: Resumen de los tratamientos efectuados en el ensayo.

Cada tratamiento fue repetido tres veces. El manejo estadístico de los resultados se realizó mediante análisis multivariante de la varianza. Los datos obtenidos a intervalos de un segundo en cada repetición y en cada tratamiento se consideraron como submuestras. Cuando se detectaron diferencias significativas en el análisis multivariante de los efectos principales, se utilizó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey con un nivel de significación del 5%. Cuando las interacciones entre los efectos principales resultaron significativas, las comparaciones múltiples empleadas fueron la prueba de “t” y los contrastes ortogonales.

3. RESULTADOS

3.1 Profundidad efectiva de trabajo

Las profundidades de trabajo medias efectivas obtenidas fueron de 129 mm, 112 mm y 92 mm cuando se utilizaron las regulaciones máxima, media y mínima respectivamente (Tabla 3.1.1).

Nivel de regulación de la profundidad	N	Profundidad media			Intervalo de confianza	
		Media (mm)	Dev STD (mm)	Err STD (mm)	Lím sup (mm)	Lím inf (mm)
Max	680	-129 ^a	40,9	3,1	-125,5	-131,5
Med	716	-112 ^{ab}	52,0	3,8	-108,6	-114,5
Min	664	-92 ^b	34,3	2,6	-89,4	-95,3

TABLA 3.1.1: Profundidades medias efectivas de trabajo. Referencias: **N:** tamaño de la muestra (cantidad de datos). **Media:** Profundidad promedio obtenida a partir de las distintas regulaciones efectuadas al carro dinamométrico. Letras distintas significan diferencias estadísticas con un nivel de significación del 5%. **Dev STD:** Desvío estándar de los datos. **Err STD:** Desvío estándar de la media. **Intervalo de Confianza:** rango de profundidad donde se ubicaría el verdadero valor del promedio, con un nivel de confianza del 95%.

Se observó una tendencia a la reducción de la profundidad media efectiva de trabajo a medida que lo hacía la velocidad de avance, pero esta relación no alcanzó significación estadística ($F=3,67$; $Pr>F=0,0909$). Cuando la velocidad de avance efectiva fue de $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ la profundidad media efectiva alcanzó a 105 mm mientras que con velocidades de 1,2 y $1,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ las profundidades medias efectivas fueron de 117 y 123 mm respectivamente. En cambio, se manifestaron nítidas diferencias en este parámetro cuando la cuchilla trabajó en el centro del surco conformado por el escarificador y cuando lo hizo en el límite entre el suelo disturbado y sin disturbar (borde del surco). En este último caso, la profundidad media efectiva se redujo en aproximadamente un 31%, tal como puede apreciarse en la tabla 3.1.2.

Nivel de posición de la cuchilla	N	Profundidad media			Intervalo de confianza	
		Media (mm)	Dev STD (mm)	Err STD (mm)	Lím sup (mm)	Lím inf (mm)
Borde	1032	-91 ^a	35,3	2,4	-88,6	-93,4
Centro	1028	-131 ^b	46,1	2,4	-128,5	-133,4

TABLA 3.1.2: Profundidades medias efectivas de trabajo. Referencias: **N:** tamaño de la muestra (cantidad de datos). **Media:** Profundidad promedio en las distintas posiciones de trabajo de la cuchilla. Letras distintas significan diferencias estadísticas con un nivel de significación del 5%. **Dev STD:** Desvío estándar de los datos. **Err STD:** Desvío estándar de la media. **Intervalo de Confianza:** rango de profundidad donde se ubicaría el valor del promedio, con un nivel de confianza del 95% verdadero.

En la tabla 3.1.3 se detallan las profundidades medias efectivas alcanzadas en el centro y en los bordes de los surcos.

Nivel de regulación de la profundidad	Nivel de posición de la cuchilla	N	Profundidad media			Intervalo de confianza	
			Media (mm)	Dev STD (mm)	Err STD (mm)	Lím sup (mm)	Lím inf (mm)
Max	Borde	379	-110	32,6	1,7	-107,0	-113,6
Med	Borde	338	-76	35,8	1,9	-72,3	-80,0
Min	Borde	315	-84	26,5	1,5	-80,8	-86,7
Max	Centro	301	-151	38,7	2,2	-147,1	-155,8
Med	Centro	378	-143	43,1	2,2	-138,8	-147,5
Min	Centro	349	-100	38,4	2,1	-96,0	-104,1

TABLA 3.1.3: Profundidad media efectiva de la cuchilla en función de la regulación de profundidad y de la posición de trabajo. Referencias: **N:** tamaño de la muestra (cantidad de datos). **Media:** Profundidad promedio en las distintas regulaciones y posiciones de la cuchilla. **Dev STD:** Desvío estándar de los datos. **Err STD:** Desvío estándar de la media. **Intervalo de confianza:** rango de profundidades donde se ubicaría el verdadero valor del promedio, con un nivel de confianza del 95%.

3.2 Reacción del suelo (fuerza vertical)

Las reacciones medias del suelo fueron de 41 kg, 34,2 kg y 26,1 kg cuando se utilizaron las regulaciones de profundidad máxima, media y mínima respectivamente (Tabla 3.2.1).

La velocidad de avance tuvo un efecto despreciable sobre este parámetro ($F=0,72$; $Pr>F=0,5235$). La reacción del suelo alcanzó un máximo de 34,5 kg a la menor velocidad y presentó un mínimo de 32,1 kg cuando se utilizó la velocidad media.

La reacción del suelo se incrementó en aproximadamente un 28% al pasar del centro al borde del surco (Tabla 3.2.2). No obstante, el aumento de la fuerza vertical fue insuficiente para mantener constante la profundidad efectiva media de trabajo, tal como

fue descrito en el apartado anterior. Pese a que la interacción entre estas dos variables no alcanzó significación estadística ($F=1,98$; $Pr>F=0,2190$), la menor diferencia en la reacción del suelo, de aproximadamente el 11% al pasar del centro al borde del surco, se correspondió con la regulación mínima en la profundidad (Tabla 3.2.3).

Nivel de regulación de la profundidad	N	Reacción del suelo			Intervalo de confianza	
		Media (kg)	Dev STD (kg)	Err STD (kg)	Lím sup (kg)	Lím inf (kg)
Max	680	41,0 ^a	12,7	0,48	41,9	40,0
Med	716	34,2 ^b	12,7	0,47	35,1	33,2
Min	664	26,1 ^c	10,2	0,47	27,0	25,1

TABLA 3.2.1: Reacción del suelo en función de la profundidad de trabajo. Referencias: **N:** tamaño de la muestra (cantidad de datos). **Media:** Reacción del suelo promedio a las distintas profundidades, Letras distintas significan diferencias estadísticas con un nivel de significación del 5%. **Dev STD:** Desvío estándar de los datos. **Err STD:** Desvío estándar de la media. **Intervalo de Confianza:** rango de fuerza vertical donde se ubicaría el verdadero valor del promedio, con un nivel de confianza del 95%.

Nivel de posición de la cuchilla	N	Reacción del suelo			Intervalo de confianza	
		Media (kg)	Dev STD (kg)	Err STD (kg)	Lím sup (kg)	Lím inf (kg)
Borde	1032	37,9 ^a	15,2	0,39	38,7	37,1
Centro	1028	29,7 ^b	9,7	0,39	30,4	28,9

TABLA 3.2.2: Reacción del suelo en función de la posición de trabajo. Referencias: **N:** tamaño de la muestra (cantidad de datos), **Media:** Reacción del suelo promedio en las distintas posiciones de la cuchilla, Letras distintas significan diferencias estadísticas con un nivel de significación del 5%. **Dev STD:** Desvío estándar de los datos. **Err STD:** Desvío estándar de la media. **Intervalo de confianza:** rango de fuerza vertical donde se ubicaría el verdadero valor del promedio, con un nivel de confianza del 95%.

Nivel de regulación de la profundidad	Nivel de posición de la cuchilla	N	Reacción del suelo			Intervalo de confianza	
			Media (kg)	Dev STD (kg)	Err STD (kg)	Lím sup (kg)	Lím inf (kg)
Max	Borde	379	44,0	14,3	2,3	48,4	39,5
Med	Borde	338	40,8	13,7	2,2	45,2	36,4
Min	Borde	315	27,5	12,0	1,5	30,5	24,4
Max	Centro	301	37,2	9,1	2,1	41,5	33,0
Med	Centro	378	28,2	7,9	1,5	31,0	25,3
Min	Centro	349	24,8	7,9	1,3	27,4	22,2

TABLA 3.2.3: Reacción del suelo en función de la profundidad y de la posición de trabajo. Referencias: **N:** tamaño de la muestra (cantidad de datos). **Media:** Reacción del suelo promedio en las distintas profundidades. **Dev STD:** Desvío estándar de los datos. **Err STD:** Desvío estándar de la media. **Intervalo de confianza:** rango de fuerza vertical donde se ubicaría el verdadero valor del promedio, con un nivel de confianza del 95%.

3.3 Fuerza de tracción (fuerza axial)

La fuerza axial requerida para impulsar la cuchilla se modificó en función de la profundidad utilizada, alcanzando valores de 23,5 kg, 18,9 kg y 14,7 kg para las regulaciones máxima, media y mínima respectivamente (Tabla 3.3.1),

Nivel de regulación de la profundidad	N	Fuerza axial			Intervalo de confianza	
		Media (kg)	Dev STD (kg)	Err STD (kg)	Lím sup (kg)	Lím inf (kg)
Max	680	23,5 ^a	9,8	0,37	24,2	22,8
Med	716	18,9 ^b	8,4	0,36	19,6	18,2
Min	664	14,7 ^c	7,8	0,36	15,4	14,0

TABLA 3.3.1: Fuerza axial en función de la profundidad de trabajo. Referencias: **N:** tamaño de la muestra (cantidad de datos). **Media:** Fuerza axial promedio en las distintas profundidades. Letras distintas significan diferencias estadísticas con un nivel de significación del 5%. **Dev STD:** Desvío estándar de los datos. **Err STD:** Desvío estándar de la media. **Intervalo de confianza:** rango de fuerza axial donde se ubicaría el verdadero valor del promedio, con un nivel de confianza del 95%.

La velocidad de avance tuvo un efecto similar al de la profundidad, aunque de menor magnitud, y sólo se presentaron diferencias estadísticas al comparar las fuerzas axiales obtenidas con las velocidades mínima y máxima (Tabla 3.3.2), La fuerza axial demandada por la cuchilla en el centro del surco fue leve, pero estadísticamente superior, a la requerida en el borde del surco (Tabla 3.3.3).

Nivel de velocidad de trabajo	N	Fuerza axial			Intervalo de confianza	
		Media (kg)	Dev STD (kg)	Err STD (kg)	Lím sup (kg)	Lím inf (kg)
Max	383	20,7 ^a	10,3	0,43	21,5	19,9
Med	462	19,2 ^{ab}	8,8	0,39	20,0	18,4
Min	1215	18,5 ^b	9,3	0,24	18,9	18,0

TABLA 3.3.2: Fuerza axial en función de la velocidad de trabajo. Referencias: **N:** tamaño de la muestra (cantidad de datos). **Media:** Fuerza axial promedio a las distintas velocidades. Letras distintas significan diferencias estadísticas con un nivel de significación del 5%. **Dev STD:** Desvío estándar de los datos. **Err STD:** Desvío estándar de la media. **Intervalo de confianza:** rango de fuerza axial donde se ubicaría el verdadero valor del promedio, con un nivel de confianza del 95%.

Nivel de posición de la cuchilla	N	Fuerza axial			Intervalo de confianza	
		Media (kg)	Dev STD (kg)	Err STD (kg)	Lím sup (kg)	Lím inf (kg)
Borde	1032	18,0 ^a	8,6	0,30	18,6	17,4
Centro	1028	20,1 ^b	10,1	0,30	20,7	19,5

TABLA 3.3.3: Fuerza axial en función de la posición de trabajo. Referencias: **N:** tamaño de la muestra (cantidad de datos). **Media:** Fuerza axial promedio en las distintas posiciones de trabajo de la cuchilla. Letras distintas significan diferencias estadísticas con un nivel de significación del 5%. **Dev STD:** Desvío estándar de los datos. **Err STD:** Desvío estándar de la media. **Intervalo de confianza:** rango de fuerza axial donde se ubicaría el verdadero valor del promedio, con un nivel de confianza del 95%.

3.4 Relación entre la fuerza axial y la reacción del suelo

El cociente entre la fuerza de tracción y la reacción del suelo no presentó diferencias estadísticas por efecto de la profundidad ($F=1,30$; $Pr>F=0,3404$) ni por la velocidad de avance ($F=2,11$; $Pr>F=0,2019$). En el caso de la profundidad máxima, esta relación alcanzó a 0,64 mientras que en las regulaciones media y mínima se obtuvo un valor prácticamente coincidente de 0,61. En lo que respecta a la velocidad, se obtuvo un mínimo de 0,58 con la velocidad mínima, mientras que a las velocidades medias y máximas el cociente fue de 0,69 y 0,65, respectivamente. Sí se observaron diferencias significativas en función de la posición de la cuchilla ($F=6,82$; $Pr>F=0,04$), obteniéndose cocientes de 0,55 y 0,69 para el borde y el centro del surco respectivamente (Tabla 3.4.1).

Nivel de Posición de la cuchilla	N	Relación fuerza axial / reacción suelo			Intervalo de confianza	
		Media (kg/kg)	Dev STD (kg/kg)	Err STD (kg/kg)	Lím sup (kg/kg)	Lím inf (kg/kg)
Borde	1032	0,55 ^a	0,81	0,02	0,59	0,50
Centro	1028	0,69 ^b	0,34	0,02	0,73	0,65

TABLA 3.4.1: Cociente entre la fuerza axial y la reacción del suelo en función de la posición de trabajo. Referencias: **N:** tamaño de la muestra (cantidad de datos). **Media:** Cociente promedio obtenido en las distintas posiciones de trabajo de la cuchilla, Letras distintas significan diferencias estadísticas con un nivel de significación del 5%. **Dev STD:** Desvío estándar de los datos. **Err STD:** Desvío estándar de la media. **Intervalo de confianza:** rango de cocientes donde se ubicaría el verdadero valor del promedio, con un nivel de confianza del 95%.

3.5 Relación entre la velocidad efectiva de avance y la velocidad tangencial de la cuchilla

Considerando la totalidad de las mediciones realizadas, la velocidad mínima efectiva de trabajo fue de $0,51 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($1,84 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) mientras que la intermedia, fue de $1,21 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($4,36 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). Estas velocidades, calculadas a partir de los datos obtenidos de la rueda copiadora del carro dinamométrico, difirieron de las tangenciales de la cuchilla en un 1,2 % ($0,50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) y en un 1,7 % ($1,19 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) en las velocidades mínima y media respectivamente. Como se

puede apreciar en las tablas siguientes, la modificación de la profundidad o de la velocidad no afectaron sustancialmente estos porcentajes. Sin embargo pudo detectarse una diferencia significativa cuando la cuchilla trabajó en el borde del surco, aunque esta diferencia puntual puede ser atribuida a que en este caso la rueda copiadora se ubicó sobre el suelo sin remover.

Nivel de regulación de la profundidad		N	Velocidad tangencial			Intervalo de confianza	
			Media (m·s ⁻¹)	Dev STD (m·s ⁻¹)	Err STD (m·s ⁻¹)	Lím sup (m·s ⁻¹)	Lím inf (m·s ⁻¹)
Max	Cuchilla	552	0,832 ^a	0,233	0,010	0,852	0,813
Max	Rueda	552	0,849 ^a	0,233	0,010	0,868	0,829
Med	Cuchilla	587	0,847 ^a	0,234	0,010	0,866	0,828
Med	Rueda	587	0,854 ^a	0,234	0,010	0,873	0,835
Min	Cuchilla	538	0,862 ^a	0,224	0,010	0,881	0,843
Min	Rueda	538	0,877 ^a	0,224	0,010	0,896	0,859

TABLA 3.5.1: Velocidad tangencial de la cuchilla y de la rueda copiadora en función de la profundidad de trabajo. Referencias: **N:** tamaño de la muestra (cantidad de datos). **Media:** Velocidad tangencial promedio a las distintas profundidades. Dentro de cada rango de profundidad, letras distintas significan diferencias estadísticas con un nivel de significación del 5%. **Dev STD:** Desvío estándar de los datos. **Err STD:** Desvío estándar de la media. **Intervalo de confianza:** rango de velocidad tangencial donde se ubicaría el verdadero valor del promedio, con un nivel de confianza del 95%.

Nivel de velocidad de trabajo		N	Velocidad tangencial			Intervalo de confianza	
			Media (m·s ⁻¹)	Dev STD (m·s ⁻¹)	Err STD (m·s ⁻¹)	Lím sup (m·s ⁻¹)	Lím inf (m·s ⁻¹)
Med	Cuchilla	462	1,189 ^a	0,206	0,010	1,208	1,170
Med	Rueda	462	1,209 ^a	0,206	0,010	1,228	1,190
Min	Cuchilla	1215	0,504 ^a	0,206	0,006	0,516	0,493
Min	Rueda	1215	0,511 ^a	0,206	0,006	0,522	0,499

TABLA 3.5.2: Velocidad tangencial de la cuchilla y de la rueda copiadora en función de la velocidad de trabajo. Referencias: **N:** tamaño de la muestra (cantidad de datos). **Media:** Velocidad tangencial promedio a las distintas velocidades. Dentro de cada rango de velocidad, letras distintas significan diferencias estadísticas con un nivel de significación del 5%. **Dev STD:** Desvío estándar de los datos. **Err STD:** Desvío estándar de la media. **Intervalo de confianza:** rango de velocidad tangencial donde se ubicaría el verdadero valor del promedio, con un nivel de confianza del 95%.

Nivel de posición		N	Velocidad tangencial			Intervalo de confianza	
			Media (m·s ⁻¹)	Dev STD (m·s ⁻¹)	Err STD (m·s ⁻¹)	Lím sup (m·s ⁻¹)	Lím inf (m·s ⁻¹)
Borde	Cuchilla	844	0,838 ^a	0,228	0,008	0,854	0,823
Borde	Rueda	844	0,865 ^b	0,228	0,008	0,881	0,850
Centro	Cuchilla	833	0,855 ^a	0,233	0,008	0,871	0,840
Centro	Rueda	833	0,854 ^a	0,233	0,008	0,870	0,839

TABLA 3.5.3: Velocidad tangencial de la cuchilla y de la rueda copiadora en función de la posición de trabajo. Referencias: **N:** tamaño de la muestra (cantidad de datos). **Media:** Velocidad tangencial promedio en las distintas posiciones de trabajo de la cuchilla. Dentro de cada posición, letras diferentes significan diferencias estadísticas con un nivel de significación del 5%. **Dev STD:** Desvío estándar de los datos. **Err STD:** Desvío estándar de la media. **Intervalo de confianza:** rango de velocidad tangencial donde se ubicaría el verdadero valor del promedio, con un nivel de confianza del 95%.

4. CONSIDERACIONES FINALES

Profundidad media efectiva de trabajo

Se observó una tendencia a la reducción de esta variable a medida que lo hacía la velocidad de avance, pero esta relación no alcanzó significación estadística. En cambio, se manifestaron nítidas diferencias en este parámetro cuando la cuchilla trabajó en el centro del surco conformado por el escarificador y cuando lo hizo en el límite entre el suelo disturbado y sin disturbar (borde del surco). En este último caso, la profundidad media efectiva se redujo en aproximadamente un 31%.

Reacción del suelo (fuerza vertical)

La velocidad de avance tuvo un efecto despreciable sobre este parámetro. La reacción del suelo se incrementó en aproximadamente un 28 % al pasar del centro al borde del surco. No obstante, el aumento de la fuerza vertical fue insuficiente para mantener constante la profundidad efectiva media de trabajo.

Fuerza de tracción (fuerza axial)

La fuerza axial requerida para impulsar la cuchilla se modificó en función de la profundidad utilizada, alcanzando valores de 23,5 kg, 18,9 kg y 14,7 kg para las regulaciones máxima, media y mínima respectivamente. La velocidad de avance tuvo un efecto similar al de la profundidad, aunque de menor magnitud, y sólo se presentaron diferencias estadísticas al comparar las fuerzas axiales obtenidas con las velocidades mínima y máxima. La fuerza axial demandada por la cuchilla en el centro del surco fue leve, pero estadísticamente superior, a la requerida en el borde del surco.

Relación entre la fuerza axial y la reacción del suelo

El cociente entre la fuerza de tracción y la reacción del suelo no presentó diferencias estadísticas por efecto de la profundidad ni por la velocidad de avance. Sí se observaron diferencias significativas en función de la posición de la cuchilla (borde y el centro del surco).

Relación entre la velocidad efectiva de avance y la velocidad tangencial de la cuchilla

No pudo detectarse una relación clara entre el patinamiento de la cuchilla y las variables utilizadas en este ensayo.

5. BIBLIOGRAFÍA

Kushwaha, R.L., A.S. Vaishnav and G.C. Zoerb. 1986. Soil bin evaluation of disk coulters under no-till crop residue conditions. Transactions of the ASAE. 29 (1) 40-44.

Nieuwenburg, P.I.J.J., L. Speelman and H.E. Wensink. 1992. An evaluation of some disk coulters designs. Journal of Agricultural Engineering Research. 51(C) 67-80.

SAGyP. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. 1990. Atlas de suelos de la República Argentina. Tomo I. Proyecto PNUD ARG/85/019. 731 pp.

Schaaf, D.E., S. Hann and C.W. Lindwall. 1980. Development of performance and data on seed drill coulters. CASE Paper Nº 80-303. Endemont, Alberta.

Tice, E.M. and J.C. Hendrick. 1991. Disc coulters forces: Evaluation of mathematical models. Transactions of the ASAE. 34 (6) 2291-2298.

La presente publicación integra una serie de Informes Técnicos editada por el Laboratorio de Terramecánica e Implantación de Cultivos del Instituto de Ingeniería Rural. Estos informes tienen como finalidad poner a disposición de los profesionales oficiales y privados, la información generada en los trabajos de investigación llevados a cabo por el mismo.



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina