

## **DISEÑO Y PERFORMANCE DE UN PROTOTIPO PARA SIEMBRA DIRECTA (\*\*)**

M. PRINCIPI, R. MATTANA, O. CARDINALI y J. COLODRO (\*)

### **RESUMEN**

El objetivo general de este trabajo, realizado desde 1990 a 1999, fue desarrollar un prototipo de siembra directa de granos finos, con el que se consiga, en distintos tipos de suelos con cantidades variables de rastrojo, colocar la semilla y el fertilizante, éste último línea de siembra por medio, en condiciones propicias, y compararlo con otros sistemas de labranza y siembra convencionales de uso en el área de influencia de la U.N.R.C. Como resultado se logró una máquina que, mediante transferencia de peso dinámico, posibilita la adecuada penetración de los sistemas a cuchillas y discos de los kit de siembra y fertilización, sin necesidad de contrapesos, como es usual en otros equipos de siembra directa. En las evaluaciones realizadas no se observaron diferencias significativas en las poblaciones de plantas logradas con respecto al sistema convencional, existiendo en cambio diferencias altamente significativas en el rastrojo que queda en superficie

---

(\*) Cátedra Maquinaria Agrícola. Dpto. Ecología Agraria. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto. 5800 Río Cuarto (Córdoba). E-mail: mprincipi@ayv unrc.edu.ar  
(\*\*) Trabajo subsidiado por CONICOR y Secretaría de Ciencia y Técnica de la U.N.R.C.

luego de la siembra y en la energía consumida respecto a este último. Lo expuesto hace suponer un campo propicio de utilización del prototipo en nuestra región.

**Palabras clave:** *diseño, siembra directa, experimentación, grano fino.*

## SUMMARY

### DESIGN AND PERFORMANCE OF A DIRECT SOWING PROTOTYPE

Between the years 1990 and 1999 a prototype for direct sowing of fine grains was developed and assayed with the aim of achieving the right penetration depth in different types of soils with variable amounts of stubble, applying the seed and the fertilizer in alternate sowing lines, and comparing the resulting techniques with the conventional tillage and sowing systems commonly used in the area of influence of Río Cuarto University. The result is a prototype which, unlike other direct sowing systems, allows for suitable penetration of the coulter and disk systems of the sowing and fertilization kits by means of dynamic weight transfer, thus making counterweights unnecessary. No significant differences were found in the plant stands achieved with respect to conventional system. However, highly significant differences were found in the stubble remaining of the surface after sowing and the energy used with respect to these system. Results suggest a favorable range of application in our region.

**Key words:** *design, direct sowing, experimentation, fine grain.*

## INTRODUCCION

Principi et al., (1980, 1984, 1992) han diseñado diversos equipos de labranza reducida (siembra directa, mínima labranza, etc.), experimentandolos en laboratorio y a campo, aplicando protocolos de ensayos de CODEMA, (Maroni et al., 1980), para comparar la performance de los nuevos sistemas con el convencional, llegando a la conclusión que con los mismos se logran poblaciones de plantas semejantes a éstos últimos.

Erbach et al., (1983); Bolton y Booster, (1981); Hauck y Fanning, (1984); Sanchez et al., (1983); Romagnoli, (1992), analizan en sus trabajos sobre siembra directa de cereales finos factores relacionados al diseño de estas máquinas y a su construcción y experimentación, las que, en general, mantienen las poblaciones logradas y la eficiencia de siembra respecto al sistema de labranza y siembra de granos finos convencional.

También está demostrado, mundialmente, que estas técnicas permiten controlar los problemas de erosión eólica e hídrica. Al respecto, Richey et al., (1973), expresa que el rastrojo remanente en la superficie luego de las operaciones de labranza resulta de vital importancia, siendo la pérdida de suelo una función inversa de la cantidad del mismo.

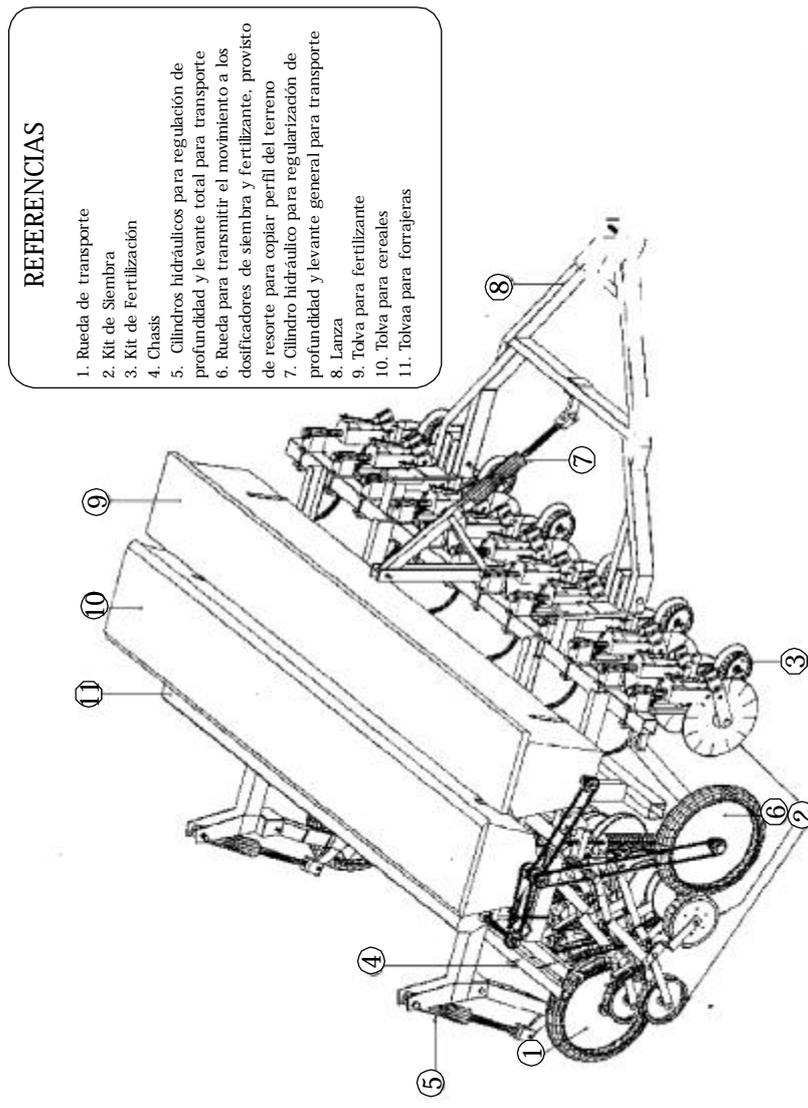
En lo relativo a la energía requerida por estos sistemas, Summers y Frisby (1978), dan un gráfico donde se aprecia que la energía consumida por cada sistema de labranza analizado, disminuyó en forma progresiva desde el sistema convencional (arado de rejas, disco, siembra y labor cultural), hasta el sistema de siembra directa, encontrándose en forma intermedia a éstos los tratamientos que utilizan en forma previa a la siembra el arado de cinceles y el arado múltiple o el arado de cinceles únicamente.

Sobre la base de estos antecedentes, se fijaron para este trabajo los siguientes objetivos: 1. Desarrollar un prototipo de siembra directa de granos finos que se desempeñe adecuadamente en distintos tipos de suelos, con cantidades variables de rastrojo. 2. Comprobar la performance de los kit de siembra y fertilización del prototipo. 3. Comparar el desempeño del prototipo con otros sistemas de labranza y siembra convencionales de uso en la región.

## **MATERIALES Y METODOS**

En las figuras 1 y 2, se pueden apreciar las características principales del equipo desarrollado desde 1990 a 1995, que el mismo está conformado por un chasis que posee dos ruedas posteriores para su transporte y accionadas para su levante por cilindros hidráulicos; una lanza que se articula al mismo por uno de sus extremos y por el otro se vincula al enganche del tractor y un cilindro hidráulico co-

Figura 1. Vista espacial del prototipo diseñado





**Figura 2.** Vista lateral del prototipo diseñado

nectado por uno de sus extremos a dicha lanza y por el otro al chasis. Este último posee una rueda que sigue las irregularidades del suelo de donde se toma la transmisión de accionamiento de distribuidores de siembra y de fertilizantes. En el chasis se articulan los kit de siembra directa y fertilización. Todo dispuesto de tal modo que en suelos blandos, al clavar la máquina las ruedas traseras de transporte se levantan parcialmente accionadas por sus cilindros hidráulicos, permaneciendo en contacto con el suelo. Pero en suelos más duros, de difícil corte vertical por las cuchillas de microlabranza y discos circulares de los kit de siembra y fertilización, éstas, accionadas por la contracción total de sus cilindros, se levantan hasta dejar de hacer contacto con el suelo. Con esto se logra que todo el peso de la máquina recaiga sobre éstos órganos con lo que se facilita notablemente su penetración. Si se desea incrementar la profundidad de los citados órganos se puede hacer mayor transferencia de peso dinámico hacia los mismos, contrayendo el cilindro hidráulico dispuesto entre la lanza y el

chasis. En cualquiera de los casos la rueda que sigue las irregularidades del suelo, prosigue haciendo contacto con éste y acciona los distribuidores de semillas y fertilizantes.

El kit de siembra esta conformado por una cuchilla circular de microlabranza tipo dura flute, un disco doble con ruedas reguladoras de la profundidad de siembra, donde cae la semilla y ruedas de cierre de la faja de siembra. El kit de fertilización, dispuesto en líneas de siembra de por medio, está conformado por cuchillas circulares oblicuas respecto al suelo (10° de inclinación vertical y 7° de cruce con la dirección de avance) y ruedas adosadas lateralmente a las mismas para regular la profundidad de colocación del fertilizante.

Se aprecia que el objeto de este nuevo equipo es lograr la penetración de los kit de siembra y/o fertilización, por transferencia de peso dinámico hacia éstos y en especial hacia la parte delantera del mismo, sin el agregado de contrapesos adicionales, necesarios en máquinas convencionales de siembra directa, logrando así una menor compactación del suelo y menor potencia necesaria para su arrastre, ya que el peso total (2.500 kg con tolvas vacías) es prácticamente la mitad del peso medio de las máquinas de siembra directa del mercado. Además y debido a que la rueda de transmisión se levanta al desclavar la máquina, se eliminan los embragues de accionamiento de los distribuidores de semillas y fertilizantes lo cual, sumado a las características mencionadas precedentemente, conlleva a un menor costo de adquisición.

El ensayo individual del prototipo se realizó sobre suelos hapludoles típicos francos y franco arenosos, con cantidades variables entre 700 y 2100 kg/ha de materia seca de rastrojo de centeno (*Cecale cereale L.*) previamente picado. Se sembró trigo (*Triticum aestivum L.*) observando el desempeño del tren de siembra y fertilización en lo que respecta a: a) atoramiento (mediante observación visual directa); b) profundidad de la cama de siembra y localización de fertilizantes granulados y semillas (por medio de mediciones referidas a la cota superficial del suelo empleando una regla graduada en mm y con una base plana de apoyo sobre la cual se desplaza verticalmente la escala). Se efectuaron cuatro repeticiones, aplicando análisis estadísticos.

Para el ensayo comparativo con otros sistemas de labranza y siembra, se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas, con cua-

tro repeticiones y cuatro sistemas diferentes de labranza y siembra, conformados por el prototipo de siembra directa (sin el kit de fertilización) y el sistema convencional, utilizados sobre suelos con labranza previa y sin ella.

Los tratamientos se describen a continuación:

1. Sistema de siembra directa con doce líneas de siembra distanciadas a 0,30 m una de otra, conformadas por cuchillas dura flute, discos dobles y ruedas compresoras de presión cero. Se sembró a una velocidad real de 6,51 km/h sobre suelo labrado anticipadamente.

2. Idem al anterior, pero sobre suelo sin labranza previa y con una velocidad de 6,44 km/h.

3. Sistema convencional: labranza en el día de la siembra con arado múltiple de 2,45 m de ancho de trabajo, rastra de discos y de dientes, ambas de 4,20 m, con una velocidad de trabajo de 5,8 y 7,5 km/h respectivamente y siembra con sembradora de grano fino con veinticuatro abresurcos a discos separados a 0,15 m, sembrando líneas de por medio, a una velocidad de 6,48 km/h sobre suelo labrado anticipadamente.

4. Idem al anterior, pero sobre suelo sin labranza previa. La velocidad de siembra fue de 6,60 km/h.

La labranza anticipada se realizó en todos los casos durante la primera quincena de enero, con arado múltiple de 2,45 m de ancho de trabajo y a una velocidad real de 5,87 km/h, mientras que en las parcelas correspondientes a los tratamientos sin labranza previa, se efectuó un barbecho químico por medio de una pasada con tractor y pulverizadora de 4 m de ancho efectivo, a una velocidad de 7,2 km/h.

Como material de siembra se utilizó trigo y se calibraron y regularon los equipos de labranza y siembra a fin de lograr idéntica densidad y profundidad de siembra. Las parcelas fueron, en todos los tratamientos, de 6 líneas de siembra distanciadas a 0,30 m y un largo de 40 m.

Determinación de las variables que se midieron:

1. Población lograda y eficiencia de siembra.

Se constató el número final de plantas emergidas a los treinta días de la siembra, sobre las 2 líneas centrales de cada tratamiento, tomándose 3 muestras de 3,33 m lineales cada una, (6 m<sup>2</sup>). La eficien-

cia de siembra se obtuvo como el cociente entre el número final de plantas emergidas y el número de semillas fértiles sembradas, expresado en porcentaje. Se aplicó a los resultados análisis de varianza.

#### 2. Rastrojo en superficie.

Las mediciones se efectuaron en forma previa y posterior a las operaciones de labranza y siembra. Para el muestreo respectivo se utilizó un aro de 0,25 m<sup>2</sup>, colocado al azar sobre las parcelas, recolectándose 8 muestras en cada una de ellas. Se realizó análisis de varianza sobre los valores de post-siembra.

#### 3. Energía consumida.

El esfuerzo necesario en la barra de tiro del tractor, para cada tratamiento, se midió con un dinamógrafo AMSLER, determinándose velocidad real, potencia y energía consumida. La energía total para cada tratamiento es la sumatoria de las correspondientes a cada una de las operaciones que conforman el mismo.

## RESULTADOS

En la Tabla 1 se observan los resultados de las pruebas individuales del prototipo, realizadas durante 1996 en dos suelos diferentes, cada uno con distintas cantidades de rastrojo previamente picado.

En la Tabla 2 se observa el número total de plantas nacidas y la eficiencia de siembra logrados en 3 años de experimentación. No se observaron diferencias significativas, para cada año analizado, entre tratamientos. Tampoco existieron diferencias significativas por los efectos de los sistemas de labranza ni de las épocas para efectuarlas, así como sus interacciones.

Los niveles de rastrojo en superficie (Tabla 3), promedio de los tres años de experimentación, existentes hasta la fecha de siembra en todos los tratamientos, determinaron la existencia de diferencias altamente significativas entre el tratamiento de siembra directa y los restantes. También fue significativo al nivel del 1 % el efecto de la época de labranza a favor de la no labranza anticipada y el efecto del sistema de labranza a favor del de siembra directa respecto al de

**Tabla N° 1.** Penetración del sistema de apertura de la faja de siembra y ubicación de la semilla y el fertilizante.

Humedad del suelo (%)	Rastrojo (kg ms/ha)	Prof. faja de siembra (cm) DS y CV (%)	Profundidad semilla (cm) DS y CV (%)	Profundidad fertilizante (cm) DS y CV (%)
<b>SUELO FRANCO</b>				
10,5	800	10,0	DS= 1,31 CV= 13,1	3,0 DS= 0,41 CV= 13,6
11,0	2100	8,0	DS= 1,05 CV= 13,1	2,7 DS= 0,39 CV= 14,4
<b>SUELO FRANCO-ARENOSO</b>				
11,0	700	10,0	DS= 1,02 CV= 10,2	3,1 DS= 0,45 CV= 14,5
12,0	2000	9,0	DS= 1,37 CV= 15,2	4,1 DS= 0,65 CV= 15,8
				7,0 DS= 0,88 CV= 12,6
				6,0 DS= 1,10 CV= 18,3

**Tabla N° 2.** Número final de plantas (pl) de trigo emergidas y eficiencia de siembra

SUELO	Rastrojo	SUELO FRANCO		SUELO FRANCO-ARENOSO	
		pl/m²	%	pl/m²	%
10,5	800	632	73	0	a
11,0	2100	646	77	2	a
11,0	700	642	69	8	a
12,0	2000	646	69	8	a

Tratamientos con letras iguales en cada columna no difieren significativamente

labranza convencional. No resultaron significativas las interacciones entre ambos.

En la Tabla 4 se aprecian los resultados de potencia y energía en la barra de tiro del tractor para todos los tratamientos. Estos valores, muy similares en los tres años de experimentación, muestran diferencias altamente significativas entre la energía consumida por el tratamiento de siembra directa sin labranza anticipada y los restantes.

**Tabla N° 3.** Rastrojo en superficie (kg ms / ha) medido en forma previa y a posterior de las operaciones de labranza anticipada y labranza y siembra de trigo.

SISTEMAS DE LABRANZA Y SIEMBRA	PROMEDIO AÑOS 1997-98-99			
	Labranza anticipada		Labranza y siembra	
	Previo	Posterior	Previo	Posterior
SIEMBRA DIRECTA C/ANTIC.	2200	990 <sup>b</sup>	950	810 <sup>b</sup>
SIEMBRA DIRECTA	2550	2550 <sup>a</sup>	2340	2220 <sup>a</sup>
CONVENCIONAL C/ANTIC.	2350	1025 <sup>b</sup>	890	270 <sup>b</sup>
CONVENCIONAL	2500	2500 <sup>a</sup>	2280	690 <sup>b</sup>
	C.V.= 16,8		C.V.= 18,5	

Dentro de cada columna los valores seguidos por letras distintas indican diferencias altamente significativas (0,01) s/ test de Tukey.

**Tabla N° 4.** Potencia y energía consumida en la barra de tiro

SISTEMA DE LABRANZA Y SIEMBRA	kw	E (kwh / ha)
SIEMBRA DIRECTA CON ANTICIPADA	39,9	26,5 <sup>b</sup>
SIEMBRA DIRECTA	19,5	8,3 <sup>a</sup>
CONVENCIONAL CON ANTICIPADA	83,8	47,2 <sup>b</sup>
CONVENCIONAL	60,2	31,5 <sup>b</sup>

Diferencias altamente significativas (0.01) entre a y b s/test de Tukey. C.V. = 18,5 %

## DISCUSION

En los ensayos individuales del nuevo prototipo se pudo observar que, al realizar siembras de trigo sobre distintas cantidades de rastrojo previamente picado, se logró una buena penetración de los dispositivos de apertura de la faja de siembra, sin problemas de atoramamiento y ubicando las semillas y el fertilizante en la posición deseada, lo que coincide con los resultados logrados por máquinas de siembra directa mucho más pesadas, según Bolton y Boster (1981) y Hauck y Fanning (1984), por lo que consideramos que el dispositivo de transferencia de peso funciona eficientemente.

En el ensayo comparativo con otros sistemas de labranza y siembra y en lo que respecta al número total de plantas emergidas y la eficiencia de siembra, se comprobó que en los tres años de experimentación, al ser muy buena la humedad del suelo acumulada a la fecha de siembra (entre 15 y 18% hasta 10 cm. de profundidad) todos los tratamientos tuvieron una buena emergencia de plantas y eficiencia de siembra, sin diferencias significativas entre ellos, lo cual coincide con los resultados logrados por Erbach et al. (1983), Sánchez et al. (1983), Principi et al. (1980, 1984 y 1992) y Romagnoli (1992).

Con respecto al rastrojo remanente en la superficie del suelo luego de las operaciones de labranza y siembra, si bien y como es lógico, en los tratamientos que poseen mayor número de labranzas fue menor, no se apreció en ningún caso problemas de erosión, posiblemente por coincidir la siembra con épocas de escasa magnitud de lluvias (14 mm, 14 mm y 11,6 mm en los años 97, 98 y 99, respectivamente). Esto concuerda con lo expresado por Richey et al. (1973), Erbach et al. (1983) y Hauck y Fanning (1984).

La potencia y energía consumida en la barra de tiro del tractor por el sistema de siembra directa sin labranza anticipada es significativamente menor que en el resto de los tratamientos, lo cual concuerda por lo expresado por Summers y Frisby (1978).

## CONCLUSIONES

Con el prototipo de siembra directa diseñado es posible, mediante transferencia de peso dinámico, lograr una buena penetración en distintos tipos de suelos, de las cuchillas de microlabranza y discos de los kit de siembra y fertilización, sin necesidad de sobrepeso adicional como es necesario en equipos convencionales de siembra directa, con una menor compactación del suelo y eliminando además los embragues necesarios para accionar dosificadores de semillas y fertilizantes.

A través de su experimentación se comprobó que el mismo se desempeña correctamente en suelos cubiertos con cantidades significativas de rastrojo picado, permitiendo la ubicación deseada de la semilla y del fertilizante sin problemas de atoramiento y logrando poblaciones de plantas y eficiencia de siembra sin diferencias signi-

ficativas respecto a los sistemas convencionales (en los que el número de pasadas en el predio es superior), dejando además cobertura de rastros significativamente mayores y una reducción también significativa de la energía mecánica necesaria en la barra de tiro del tractor respecto a estos últimos, lo cual involucra la utilización de tractores de menor potencia y menor costo de adquisición de maquinarias.

Sobre la base de los resultados obtenidos se puede expresar que este equipo resulta apropiado a las condiciones de trabajo (suelos y rastrojo) de nuestra región.

## **AGRADECIMIENTO**

Se agradece al personal No Docente de la U.N.R.C., Sres. Osvaldo Genesio, Franco Cardetti, Ricardo Ramírez y Florentino Reynoso, por su colaboración en la realización de este trabajo y al Ing. Pedro Stafolani y Sr. Claudio Fischer por la confección del dibujo espacial del prototipo.

## **BIBLIOGRAFIA CITADA**

**BOLTON F.E. y D.E. BOSTER**, 1981. Strip-Till Planting in Dryland Cereal Production. Transactions of the ASAE (59): 59-62.

**ERBACH D.C., MORRISON J.E. y D.E. WILKING**, 1983. Equipment modification and innovation for conservation tillage - Journal of Soil and water conservation. May-June 1963, Vol. 38 (3): 182-183.

**HAUCK D.D. y C. FANNING**, 1984. Reduced tillage seeding Equipment for small grains. Cooperative Extensions Service. North Dakota State University. Extension Circular AE-826.

**MARONI J., DELAFOSSE R.M., MAIDAGAN A. y A POBIHUSKA**, 1980. Ensayo de sembradoras de grano fino (cereales, lino, pasturas y otros). CODEMA. Boletín N° 1. DIR.INTA.

**PRINCIPI M.A., MATTANA R.R., COLODRO J.L. y O.P. CARDINALI, 1980.** «Desarrollo y experimentación de una máquina de labranza cero, montada en el sistema hidráulico de 3 puntos del tractor». Novena Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo, Paraná, Septiembre de 1980: 795-806 y Anales INIA España. Serie Agrícola N° 20 - 1982: 163-182.

**PRINCIPI M.A., MATTANA R.R., COLODRO J.L. y O.P. CARDINALI, 1984.** «Diseño y experimentación de equipos y sistemas de labranza y siembra reducidas para maíz». IDIA N° 413-416, Agosto de 1984, 30-42.

**PRINCIPI M.A., MATTANA R.R., COLODRO J.L. y O. P. CARDINALI, 1992.** «Diseño y experimentación de sistemas de labranza y siembra para maíz». II Congreso Argentino de Ingeniería Rural. Villa María, Córdoba. 287-328..

**RICHEY C.B., GRIFFITH D.R., GALLOWAY H.M. y J.V. MANNERING, 1973.** Evaluation of tillage-planting system for corn, American Society Agric. Engng. St. Joseph, Mich., 73:113.

**ROMAGNOLI J.C., 1992.** Maquinarias en siembra directa. 1er. Congreso Interamericano de Siembra Directa. Villa Giardino, Córdoba. 99-120.

**SANCHEZ V., HERNANZ J.L., FERNÁNDEZ C. y L. NAVARRETE, 1983.** Tres años de siembra directa en el cultivo de los cereales. 18 Feria Técnica Internacional de la Maquinaria Agrícola. Zaragoza (España). Comunicación: 10 pp.

**SUMMERS J.D. y J.C. FRISBY, 1978.** Energy and Power requeriments for individual tillage tools and tillage systems. American Society of Agricultural Engineers. Paper N° MC-78-606: 12 pp.





