

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE SIEMBRA NEUMÁTICO DE ALTA PRECISIÓN PARA LABRANZA DE CONSERVACIÓN PARA TRACTORES DE POTENCIA MEDIA

Development of a High Precision Pneumatic Seeding System for Conservation Tillage for Medium Power Tractors

Santos G. Campos-Magaña^{1‡}, Martín Cadena-Zapata², Antonio Reynolds-Chávez¹, Sergio Jácome-Maldonado¹, José A. Cruz-Ballado¹, José J. Bonilla-Bada¹ y Valentín A. Esqueda-Esquivel¹

RESUMEN

En esta investigación se desarrollaron y evaluaron, en laboratorio y campo, tres elementos básicos que integran un sistema de siembra neumático de precisión: el dosificador de semilla, el disco cortador de residuos y un sistema de monitoreo de dosificación de semilla. En laboratorio, se determinaron: a) la eficiencia en llenado de celdas del plato semillero en diferentes condiciones de impacto, velocidades de siembra y fuerzas de succión; b) la eficiencia de corte de residuos de maíz de diferentes discos; y c) las magnitudes de fuerzas de reacción del suelo. En campo, se evaluó el sistema en su conjunto y se midieron la eficiencia de calidad de trabajo, el índice de desgaste de discos y el consumo de energía. El dosificador de semilla de maíz desarrollado tiene un porcentaje de llenado de celdas de $100\% \pm 5\%$ en condiciones de impacto, a velocidades máximas de $1100 \text{ celdas min}^{-1}$ (SEM) y a presiones de succión de 350 mm de agua; su uso a velocidades mayores de 1300 SEM no es recomendable. Los discos cortadores de residuos requieren de al menos 1000 newtons de peso de resistencia a la penetración del suelo en los primeros 120 mm para 100% de eficiencia de corte de residuo de maíz; la eficiencia decae exponencialmente cuando el diámetro de los discos se reduce en 50 mm. El prototipo proporcionó una calidad de trabajo en campo mayor de 85%, con una demanda de potencia de 26 caballos de fuerza, lo que supera en 15% la calidad de trabajo de

las sembradoras mecánicas de labranza de conservación de fabricación nacional.

Palabras clave: sembradora neumática, discos cortadores, sensores de dosificación.

SUMMARY

Three basic elements were developed and evaluated in laboratory and field: seed metering device, disc coulters and a monitoring system, for seed quantity and seed spacing of a pneumatic planting system. In laboratory, trials were carried out to determine a) efficiency of cell fill under different conditions of impact, planting speed, and suction forces; b) maize stubble cutting efficiency of different disc coulters; and c) magnitude of soil reaction forces. Sensors to record the seed falling throughout the discharge were also developed and evaluated. The complete system was evaluated under field conditions to assess the efficiency of work quality, disc wear index and energy consumption. The developed maize seed metering device has a $100\% \pm 5\%$ cell fill under impact conditions at a maximum speed of $1100 \text{ cells min}^{-1}$ (CPM) and suction pressures of 350 mm water; it is not recommended to use it at speeds higher than 1300 CPM. The disc coulters require at least 1000 N weight and soil resistance for penetration in the first 120 mm for a 100% efficiency of mulch cutting; efficiency dropped exponentially when disc diameter was reduced 50 mm. The prototype had field work quality above 85% with a power requirement of 26 HP; this performance is 15% higher than that of mechanical seed planters manufactured nationally.

Index words: pneumatic seeder, disc coulters, seed delivery sensors.

¹ Campo Experimental Cotaxtla, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Apartado Postal 429, Veracruz, Veracruz, México.

[‡] Autor responsable (camposg_1999@yahoo.com).

² Departamento de Maquinaria Agrícola, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

INTRODUCCIÓN

Una de las limitaciones importantes en la adopción de los sistemas de labranza de conservación en el sureste de México y para condiciones de siembra de temporal, es la falta de disponibilidad de equipo apropiado y de alta confiabilidad para la siembra directa en terrenos con residuos orgánicos. En la actualidad, existe una demanda potencial en la región de 2000 sembradoras de alta precisión para labranza de conservación en condiciones de temporal, para tractores de potencia media (cuya potencia de tiro y fuerza de levante es menor de 40 kW y 12 kN, respectivamente), en los estados de Veracruz, Tabasco, Chiapas, Campeche, Guerrero, Oaxaca y Puebla. Para ser considerado de precisión, el sistema de siembra debe tener una eficiencia de calidad de siembra mayor de 85%, en lo que respecta a la uniformidad de distancia entre semillas, profundidad de siembra y porcentaje de semilla descubierta; así como menos de 1% de daños a la semilla. Actualmente, los equipos con estas características, de dos y tres unidades dosificadores, que existen en el país tienen eficiencias menores de 70% y, en su mayoría, son de dosificación mecánica, con un pobre corte de residuos, deficientes sistemas de flotación y de control de profundidad, y carentes de sistemas de monitoreo de dosificación auxiliares para el operador.

Una máquina de siembra de precisión debe ser capaz de realizar las siguientes operaciones (Kepner *et al.*, 1980; Erbach, 1983; Gebresenbet, 1992): trabajar en una amplia gama de textura de suelos y humedad; cortar diferentes densidades y tipos de residuo; abrir el surco y alterar el suelo, lo suficiente para producir un índice de emergencia mayor de 90%; dosificar la semilla con $100\% \pm 5\%$ de llenado de celdas y menos de 1% de daño a la misma; contar con un sistema de transmisión de movimiento a los sistemas de dosificación con patinaje menor de 5%; realizar un control de profundidad de siembra con una variación menor de 20%; contar con un sistema de tapado de semilla y cerrado del surco con una eficiencia superior a 90%; contar con un sistema de monitoreo y alarma que permita al operador realizar ajustes a los sistemas cuando la variabilidad de dosificación sea superior a 10%.

Una vez que la semilla deja el sistema de dosificación, la regularidad de la siembra depende de la eficiencia en el corte de residuos; por tal motivo, es importante seleccionar el disco cortador de residuos apropiado a

cada condición (Nieuwenburg *et al.*, 1992). Un factor relevante que afecta la eficiencia de corte de residuos es el índice δ , descrito por Kushwaha *et al.* (1986), el cual es función del diámetro del disco (D) y la profundidad de corte (d). El tipo de abresurcos a emplear depende de la profundidad de siembra y de la cantidad de residuos; para siembra profunda, con una mínima cantidad de residuos, se emplea el de tipo cincel (Campos-Magaña, 1995) y para siembra somera, con gran cantidad de residuos, el sistema de doble disco. A este respecto, Tola y Koeller (2005) determinaron que al usar abridores de surco del tipo de doble disco se incorpora un mayor porcentaje de residuos, en comparación con el de tipo cincel y que la cantidad de residuos incorporados se incrementa con la densidad de éstos y se reduce cuando existe una mayor humedad y resistencia al corte del suelo. Para el diseño y la selección del tipo de abresurcos a emplearse en sembradoras de labranza de conservación, se debe buscar que éstos produzcan el menor grado de alteración de suelo y que mantengan buena cobertura de residuos sobre la línea de siembra, para evitar erosión y pérdida de humedad de suelo (Prior *et al.*, 2000). Para los sistemas de tapado y control de profundidad, comúnmente, se emplean las ruedas tipo "V", localizadas después del abresurcos (Morrison y Gerik, 1985). Los sistemas de dosificación de semilla pueden clasificarse en dos tipos: mecánicos y neumáticos (Kepner *et al.*, 1980). Los primeros requieren de una rigurosa clasificación de semilla y gran variabilidad de platos dosificadores, para obtener llenados de celdas que fluctúan entre 85 y 115%, y daños a la semilla inferiores a 2%. A su vez, los sistemas de dosificación neumática operan con base en presión o vacío, requieren de una mínima selección de tamaño de la semilla y de uno a tres platos por tipo de semilla, con llenados de celdas de 95 a 105% y sin producir daños a la semilla. Los sistemas de alarma, empleados en las sembradoras unitarias, consisten básicamente en ajustar la frecuencia, tanto de los sensores como de caída de la semilla, la cual se determina por la velocidad de siembra y por el número de semillas por metro lineal, dando un intervalo de desviación no mayor de 15% para siembra de granos (Cook, 1963; Campos-Magaña, 1995).

El objetivo general de este proyecto fue desarrollar una tecnología de siembra de precisión de dosificación neumática para labranza de conservación en los cultivos de maíz (*Zea mays* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* L.) y soya [*Glycine max* (L.) Merr.].

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en el taller de prototipos y en el laboratorio de labranza del Campo Experimental Cotaxtla (CECOT), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), durante el periodo de 1999 a 2002. El proyecto se dividió en cuatro fases.

Evaluación de un prototipo de dosificador de semillas neumático. Para evaluar los tipos de platos con sus grados de fuerza de succión (F) y de velocidad tangencial del plato semillero (V_s), se construyó un mecanismo experimental de dosificación de semilla de tipo neumático, con el cual se pudo variar la magnitud de F , y se incluyó un sistema de impacto que simulara las condiciones críticas del suelo, con una altura de caída de 50 mm a una frecuencia de 0.25 a 1 Hz. Para el conteo de semilla de cada arreglo, se diseñó el sistema de monitoreo de eventos, el cual se encuentra descrito en la fase tres. Los principales componentes del mecanismo dosificador se muestran en la Figura 1. Para evaluar la eficiencia de dosificación, se determinó la magnitud de la F requerida para mantener la semilla adherida al plato dosificador, en diferentes condiciones de trabajo. Para esto, se utilizó el diseño experimental completamente al azar, variando en seis valores de V_s [780(1), 1080(2), 1410(3), 1740(4), 1980(5) y 2200(6) celdas min^{-1}], y cuatro de la magnitud F entre el plato y la semilla a través de una columna de vacío [200(1), 250(2), 300(3) y 350(4) mm de agua], con impacto (I_c) y sin impacto (I_s). Para cada arreglo se realizaron 10 repeticiones de 1000 eventos por tratamiento. La variable a medir fue el porcentaje de llenado de celdas.

Evaluación de geometrías de discos cortadores de residuo. En laboratorio, se evaluó la efectividad de corte de residuos de discos con diferente diámetro (D),

a distintas profundidades, para lo cual se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Los tratamientos fueron: a) cinco discos cortadores de residuos: ondulado (D) 408 mm ($Do1$), muescas (D) 408 mm (Dm), ondulado (D) 430 mm ($Do2$), liso (D) 300 mm ($DI1$) y liso (D) 408 mm ($DI2$); b) cuatro profundidades de corte: 30, 60, 90 y 120 mm. Se utilizaron residuos de caña de maíz, que se cortaron y distribuyeron uniformemente cada 20 cm a lo largo del tanque de suelos, en una cantidad de $6 \times 10^3 \text{ kg ha}^{-1}$. La velocidad de avance del carro porta implemento, la resistencia a la penetración y la humedad del suelo se mantuvieron constantes a 30 m min^{-1} , 700-1100 kPa y 28% bs, respectivamente. Durante la evaluación, se registraron el porcentaje de residuo sin cortar y la magnitud de la fuerza de tiro y penetración (N). El equipo utilizado, denominado sistema de simulación de fuerzas (SSF), y el acondicionamiento de suelo se encuentran descritos por Campos-Magaña *et al.* (2003). Para evaluar el corte de residuos se siguió la metodología descrita por Kushwaha *et al.* (1986).

Monitoreo de regularidad de dosificación de semilla Se desarrollaron y evaluaron dos sensores de tipo óptico: uno, para detectar frecuencias de caída de la semilla (que está en función del número de semillas por metro) y otro, para medir el desplazamiento de la máquina de siembra. También se desarrolló un indicador numérico de la siembra (semillas por metro) y alarmas que indican cuando la frecuencia de siembra se sale del ajuste seleccionado. Para cuantificar la caída de semilla, se empleó un sensor de tipo óptico unitario de John Deere, con número de parte A9321. Para el desarrollo del sistema de registro se empleó el kit COP8 de programación de microcontroladores de National Semiconductors con el micro COP8SAC720Q3. Para la evaluación del sensor de semillas se realizaron 300 eventos con maíz, sorgo y soya, y para el sensor de

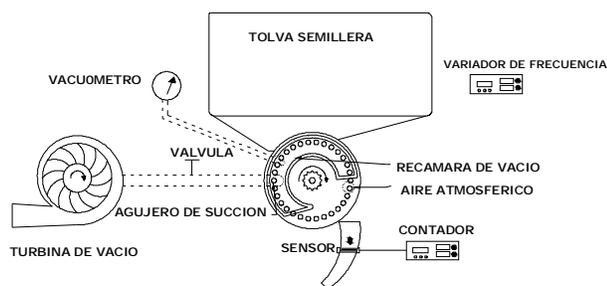


Figura 1. Aparato construido para evaluar el sistema de dosificación de semillas.

desplazamiento, 1000 eventos con 10 repeticiones cada uno.

Integración y evaluación del sistema de siembra de alta precisión. Las pruebas se realizaron de acuerdo con los procedimientos de evaluación desarrollados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), que comprenden: a) la prueba de durabilidad, consistente en medir el desgaste de los discos cortadores de residuo y discos surcadores (desgaste como porcentaje del diámetro por hectárea); b) la prueba de funcionamiento, con la que se determinan las eficiencias de dosificación (%), residuo cortado (%), semillas destapadas (%) y capacidad de siembra ($ha\ h^{-1}$); y c) la evaluación energética, mediante el consumo de combustible ($L\ ha^{-1}$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de un Prototipo de Dosificador de Semillas Neumático

Para condiciones sin impacto, la velocidad de operación del plato dosificador debe ser de 700 a 1100 celdas por minuto y operar con una F de 250 a 350 mm de agua para garantizar $100 \pm 5\%$ de llenado de celdas; con velocidades superiores a 1100 $celdas\ min^{-1}$, el porcentaje de llenado decae exponencialmente (Figura 2).

La Figura 3 muestra que, para condiciones con impacto, el límite superior de velocidad de siembra se mantiene a 1100 $celdas\ min^{-1}$, pero la fuerza de succión se reduce a 300-350 mm de agua.

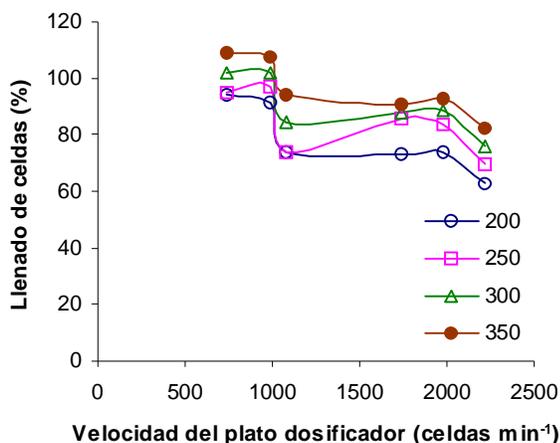


Figura 2. Porcentaje de llenado de celdas de maíz para diferentes velocidades de celdas y presiones de succión sin impacto.

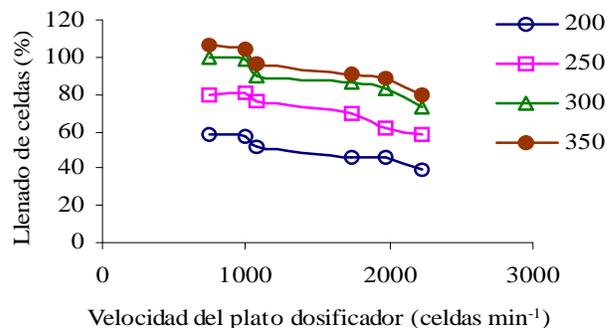


Figura 3. Porcentaje de llenado de celdas de maíz para diferentes velocidades de celdas y presiones de succión con impacto.

El análisis de varianza de los datos indica que existe significancia para los tres factores evaluados: I, Vs y F, y para las interacciones: I x F y Vs x F. El Cuadro 1 muestra la comparación de medias de la interacción Vs x F, donde, en condiciones de impacto, el intervalo

Cuadro 1. Efecto de la interacción Vs x F en el porcentaje de llenado de celdas semilleras (MCS).

Tratamientos	MCS [†] %
Vs(1) x F(4)	108.9 a
Vs(2) x F(4)	106.9 ab
Vs(1) x F(3)	101.5 b
Vs(2) x F(3)	101.5 b
Vs(3) x F(4)	93.9 c
Vs(5) x F(4)	92.5 c
Vs(4) x F(4)	90.4 cd
Vs(2) x F(2)	88.8 cde
Vs(5) x F(3)	88.2 cde
Vs(4) x F(3)	87.7 cde
Vs(1) x F(2)	87.3 cde
Vs(3) x F(3)	84.2 def
Vs(6) x F(4)	82 efg
Vs(4) x F(2)	78.9 fgh
Vs(5) x F(2)	77 gh
Vs(1) x F(1)	76.2 gh
Vs(6) x F(3)	75.3 gh
Vs(2) x F(1)	74.5 hi
Vs(3) x F(2)	68 ij
Vs(6) x F(2)	63.9 jk
Vs(3) x F(1)	60.2 k
Vs(5) x F(1)	59.8 k
Vs(4) x F(1)	59.3 k
Vs(6) x F(1)	50.9 l

[†] Tukey (P= 0.05). Vs = velocidad tangencial del plato semillero; F = fuerza de succión.

seguro de F para garantizar $100 \pm 5\%$ de llenado de celdas, sería de 300 a 350 mm de agua, a velocidades de 700 a 1100 celdas min^{-1} .

Del análisis anterior puede derivarse que, debido a impactos, para obtener 100% de llenado de celdas para velocidades de 700 a 1100 SEM, se requiere incrementar de 20 a 50% la F y que el efecto más significativo para densidades altas de semilla, mayores de 1300 SEM, lo representa la velocidad de las celdas del plato dosificador.

Sistema de Monitoreo de Caída de Semilla (SMCs)

El diagrama de flujo del sistema de monitoreo de dosificación de semillas por metro se muestra en la Figura 4.

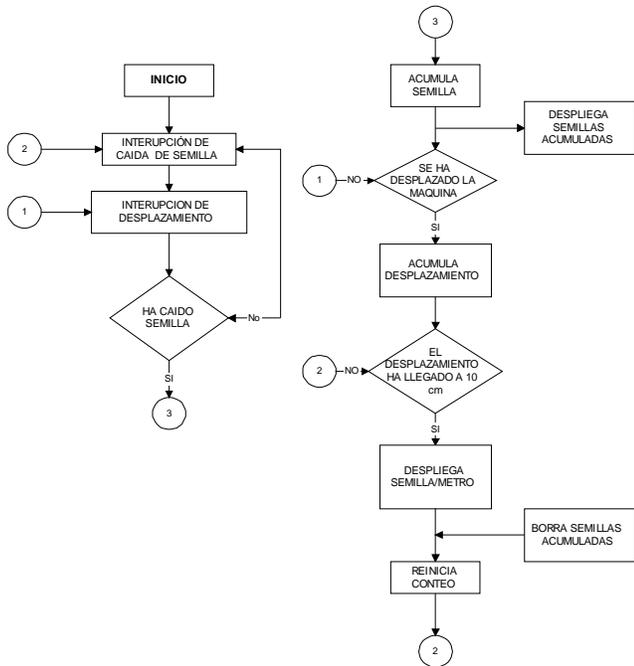


Figura 4. Diagrama de flujo del sistema de monitoreo de dosificación de semillas por metro.

Fue necesario construir el sensor de desplazamiento (Figura 5). Para el registro de eventos, se construyó un módulo de dos unidades dosificadoras, integradas por un microcontrolador COP8SA, un monitor y sistemas visuales de alarma de caída de semilla y desplazamiento. El software que opera todo el sistema se diseñó en lenguaje de códigos fuente.

El Cuadro 2 muestra los resultados de eficiencia de conteo del sistema para diferentes tipos de semilla y eventos de desplazamiento.

Es importante mencionar que, dada la sensibilidad de los instrumentos digitales, es necesario que la semilla lleve un mínimo de impurezas y semillas quebradas,

Cuadro 2. Porcentaje de eficiencia de registro de eventos de tres tamaños de semilla y disco de eventos de desplazamiento.

Tipo de semilla	Eventos de semillas		Eventos de desplazamiento	
	Total	%	Total	%
Maíz	300	98	1000	100
Sorgo	300	95	1000	100
Soya	300	100	1000	100



Figura 6. Sistema de simulación de fuerzas empleado en la evaluación de discos cortadores de residuo.



Figura 5. Elementos que integran el sistema de monitoreo de caída de semilla.

ya que éstas son detectadas y registradas en el módulo de eventos.

Evaluación de Geometrías de Discos Cortadores

La Figura 6 muestra el sistema de simulación de fuerzas (SSF) empleado para la evaluación de los discos cortadores de residuo. Campos-Magaña *et al.* (2003) describieron los elementos de este sistema.

En la Figura 7 puede apreciarse que 100% de efectividad de corte se logra a una profundidad de trabajo en el suelo de 120 mm para todos los discos, excepto para el DL1. Para la profundidad de 90 mm, la efectividad de corte de 100% se mantiene para el disco Dm; sin embargo, ésta comienza a decaer exponencialmente para el resto de los discos. A 60 mm de profundidad de trabajo, todos los discos proporcionan un corte deficiente; resultados similares obtuvieron Kushwaha *et al.* (1986).

El Cuadro 3 muestra los requerimientos de peso (F_y) para lograr 100% de corte de residuos para cuatro de los cinco discos evaluados, así como la magnitud de la fuerza de tiro (F_x) y la proporción (R) que ésta representa de F_y .

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas en las fuerzas aplicadas a los discos, necesarias para cortar el residuo a 100%, y se requiere un menor peso para el disco de muescas. Sin embargo, el radio (R) entre la F_x F_y^{-1} fue estadísticamente igual para todos los discos. El análisis de fuerzas y la eficiencia de corte indica que los dos factores que intervienen para lograr 100% de corte de residuo, son la fuerza de resistencia que opone el suelo a ser penetrado (para

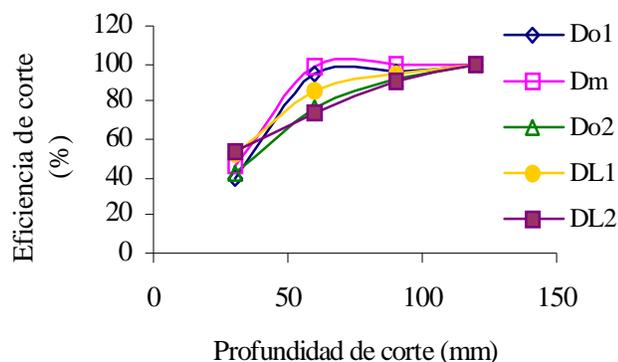


Figura 7. Efectividad de corte de residuos de cinco discos a diferentes profundidades de trabajo. Do1 = ondulado D[†] 408 mm; Dm = muescas D 408 mm; Do2 = ondulado D 430 mm; DL1 = liso D 300 mm; DL2 = liso D 408 mm. † D = diámetro.

Cuadro 3. Requerimiento de peso, magnitud de la fuerza de tiro y ángulo de corte para los discos evaluados.

Tipo de disco cortador [†]	F_y [‡]	F_x [§]	$\beta = \text{Arc sin } [1 - (r d^{-1})]^*$
	- - - newtons - - -		
Do1	1050 a	412 a	24 a
Do2	910 a	385 a	24 a
DL2	900 a	352 a	24 a
Dm	730 b	278 b	34 b

* diferencia significativa a 0.05.

[†] Do1 = ondulado D[#] 408 mm; Do2 = ondulado D 430 mm; DL2 = liso D 408 mm; Dm = muescas D 408 mm.

[‡] F_y = requerimiento de peso; [§] F_x = magnitud de fuerza de tiro. [#] D = diámetro.

residuo de maíz es del orden de 1000 newtons en los primeros 120 mm para todos los discos) y el ángulo de corte (β) formado en la interacción disco-suelo que, para los discos lisos, debe de ser de 25° y, para el disco de muescas, de 34°.

Evaluación de Sistema Integral de Siembra

En la Figura 8 se muestra un esquema de los elementos que conforman el sistema de siembra neumático desarrollado.

El Cuadro 4 muestra los resultados de las evaluaciones en campo en dos texturas, media y arenosa, en 40 parcelas en un total de 140 ha, para una sembradora de dos unidades durante el ciclo de temporal primavera-verano 2001.

En el Cuadro 4 se observa que la calidad de trabajo, en función de las eficiencias de dosificación de semilla, corte de residuos, tapado de semillas e índice de emergencia, es del orden de 89.5%.

Cuadro 4. Resultados de las evaluaciones en campo en dos texturas de tres tipos de pruebas realizadas al sistema de siembra.

Prueba de evaluación	Textura arenosa	Textura media
Potencia (kW)	20	21.5
Velocidad de siembra (km h ⁻¹)	6	6.2
Eficiencia de dosificación (%)	92	93
Eficiencia de corte de residuos (%)	100	100
Eficiencia de tapado de semilla (%)	95	92
Índice de emergencia (%)	83	87
Consumo de combustible (L ha ⁻¹)	12	12.8
Índice de desgaste de discos (mm ha ⁻¹)	0.5	0.42
Capacidad (ha h ⁻¹)	0.33	0.35
Eficiencia de campo (%)	72.8	75.6

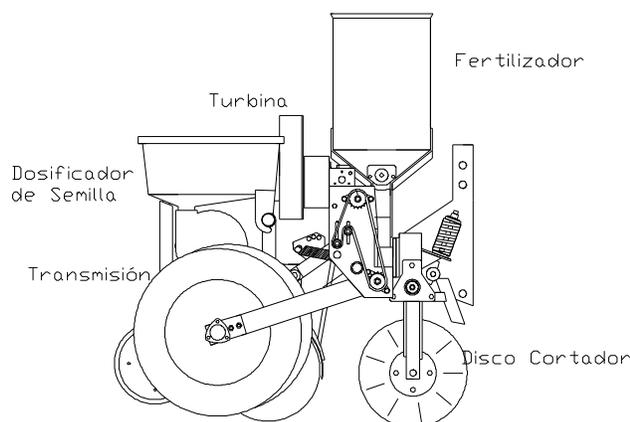


Figura 8. Elementos que integran el prototipo de un sistema de siembra neumática, desarrollado para la evaluación en condiciones de campo.

CONCLUSIONES

- El sistema de monitoreo de semillas, integrado por los sensores y el módulo de registro, tiene una sensibilidad de 100 y 95% para los registros de desplazamiento y semilla, respectivamente.
- La evaluación del sistema de dosificación muestra que el componente impacto representa de 20 a 50% de la F necesaria para mantener la semilla adherida al plato a velocidades menores de 1100 SEM para lograr $100 \pm 5\%$ de llenado de celdas.
- La geometría de los discos en su relación diámetro del disco/profundidad de corte tiene un efecto significativo en el porcentaje de corte de residuos. Para mantener 100% de corte de residuos, los discos sin muescas deben cambiarse cuando disminuyan su diámetro en 50 mm. El peso sobre los discos para el corte de residuos de maíz, al igual que la resistencia a la penetración del suelo en los primeros 120 mm, debe de ser del orden de 1000 N.
- La evaluación del sistema integral tiene una calidad de trabajo de 89.5%, con una capacidad de 0.34 ha h^{-1} y una eficiencia de campo de 74%, con una demanda de potencia para dos unidades de 26 caballos de fuerza (cf) (20.75 kW). Esto indica que hay una potencia adicional disponible de 40 cf en los tractores de potencia media.
- Para elevar la calidad de funcionamiento del sistema se requiere mejorar el llenado de celdas del sistema de dosificación mediante el rediseño de la forma de la celda para cada tipo y tamaño de semilla, así como de la forma y calidad de los sellos de vacío, e incrementar el número de celdas del plato dosificador. También debe mejorarse la calidad de la microlabranza, en término de tamaño de

agregados, que realizan los discos cortadores de residuos en la línea de siembra.

LITERATURA CITADA

- Campos-Magaña, S. G. 1995. Force measurement-recording and data analysis systems for tillage tools. *Agric. Mechanization in Asia, Africa and Latin America* 26(4): 13-16.
- Campos-Magaña, S. G., M. Cadena-Zapata, S. Jácome-Maldonado, A. Reynolds-Chávez y S. Uribe-Gómez. 2004. Sistema integral de simulación de fuerzas aplicado al desarrollo de herramientas de labranza de conservación. *Terra* 22: 161-168.
- Cook, N. H. 1963. *Physical measurements and analysis*. Addison-Wesley. Bristol, MA, USA.
- Erbach, D. C. 1983. Equipment modification and innovation for conservation tillage. *J. Soil Water Conserv.* 38: 182-185.
- Gebresenbet, G. J. 1992. Performance of seed drill coulter in relation to speed, depth and rake angles. *J. Agric. Eng. Res.* 52: 121-145.
- Kepner, R. A., R. Bainer y E. C. Barger. 1980. *Principles of farm machinery*. 3rd edition. AVI Publishing Company. Westport, CT, USA.
- Kushwaha, R. L., A. S. Vaishnav y S. G. Zoerb. 1986. Soil bin evaluation of disc coulters under no-till crop residue conditions. *Trans. ASAE* 29: 40-44.
- Morrison, J. E. y T. J. Gerik. 1985. Planter depth control: I. Predictions and projected effects on crop emergence. *Trans. ASAE* 28: 1415-1418.
- Nieuwenburg, P. IJ. J., L. Speelman y H. E. Wensik. 1992. An evaluation of some disc coulter designs. *J. Agric. Eng. Res.* 51: 67-80.
- Prior, S. A., D. C. Reicosky, D. W. Reeves, G. B. Runion y R. L. Raper. 2000. Residue and tillage effects on planting implement induced short-term CO_2 and water loss from a loamy sand soil in Alabama. *Soil Tillage Res.* 54: 197-199.
- Tola, E. M. y K. Koeller. 2005. Special distribution of the no-till opener induce seed row incorporated crop residue and soil loosening. *Agric. Mechanization in Asia, Africa and Latin America* 36: 66-70.