

VARIABILIDAD EN LA DISTRIBUCIÓN DE SEMILLAS DE MAÍZ: UNA REVISIÓN

D.W. AGNES^{1*}; M.C. TOURN¹ y E.L. SOZA¹

Recibido: 04/08/10

Aceptado: 13/08/10

RESUMEN

La implementación de la agricultura de precisión ha planteado el interrogante sobre como las máquinas agrícolas aplican dosis variables de insumo, en respuesta al sitio específico. En la siembra de maíz se evalúa el desempeño de las sembradoras calificando la distribución de semillas o plantas en la línea de siembra. A estos fines se arriba por diferentes metodologías como fallos, duplicaciones y distanciamientos aceptables, referidos a una distancia entre semillas prefijada, para la cual se reguló la sembradora. La evaluación se fundamenta en la supuesta relación positiva entre uniformidad de distribución y rendimiento. Esta revisión muestra que dicha relación no es constante, dado que la influencia de la uniformidad se diluye a lo largo del ciclo del cultivo, por los numerosos factores de la máquina, semilla y ambiente involucrados. Las metodologías para evaluar la precisión de siembra no procesan de igual forma la información, por lo que al calcular los mismos parámetros su interpretación es diferente. Se concluye que: la distribución uniforme de semillas en la línea de siembra es una valoración puntual del trabajo de siembra; se debe contar con una metodología común en la evaluación de la uniformidad de distribución; caracterizar al equipo de siembra, el ambiente y la semilla; la ubicación uniforme de la semilla se debe lograr en cada cuerpo sembrador de la máquina; la uniformidad de profundidad de siembra se presenta como una característica más deseable, sin omitir el tratamiento que los conjuntos dosificadores otorgan a la semilla.

Palabras clave. Distanciamiento entre semillas; distanciamiento entre plantas; precisión; siembra; ubicación de la semilla.

DISTRIBUTION OF MAIZE SEEDS VARIABILITY: A REVIEW

SUMMARY

Precision agriculture has raised the question about how the agricultural machinery applies doses input variables. In the maize sowing, the planter machines performances are evaluated using the distance between seeds or plants within-row plant, as the method used. The most common methods used are: index as: miss index, quality of feed index, multiples index, and precision. The evaluation supposed the existence of a positive relation between yield and within-row plant spacing uniformity. This review show it is not constant, because the effect of within-row plant spacing uniformity is diluted by numerous factors of the machine, seed and environment involved. In addition, these indexes are not calculated in the same way by different methods, and their interpretation may be different. We concluded that: the within-row seed spacing uniformity is a characteristic of the performance sowing performance; is necessary to have one common method which can be used in all cases of sowing, and to describe the equipment (tractor and planter), seed and environment; the regular location of seed is important in each unit of planter machine; the uniform depth sowing is more necessary than the within-row seed spacing. We give emphasis to the treatment that seed metering devices grant to the seed.

Key words. Distance between seeds; distance between plants; precision; sowing; location of the seeds.

¹Cátedra de Maquinaria Agrícola. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4457 – C1417DSE – Buenos Aires. Argentina.

*ce: agnes@agro.uba.ar | *tel: +54 (011) 4524 8095

INTRODUCCIÓN

La incorporación de la agricultura de precisión de la cual hay varias interpretaciones, puede definirse como el conjunto de tecnologías que permiten gestionar la aplicación de dosis diferenciales de insumos dentro de un mismo lote dividido en unidades homogéneas de potencial productivo. Dicha tecnología se introdujo en la Argentina, al igual que en Estados Unidos, por medio de herramientas como el monitoreo de rendimiento y los banderilleros satelitales, dado que presentan beneficios que son rápidamente demostrables (Bragachini *et al.*, 2002a). Demarcar ambientes homogéneos es una realidad compleja, dado que los sistemas agropecuarios, al estar compuestos por un conjunto de numerosos elementos interrelacionados entre sí, presentan una alta variación espacial, la cual se incrementa cuando se pretende determinar sitios específicos con mayor grado de homogeneidad. La causa de esta variación son las interacciones de tres posibles fuentes: (1) naturales, como el suelo y la topografía; (2) aleatoria, como el clima, y (3) el manejo, como la decisión para aplicar una determinada dosis de fertilizante o densidad de siembra (Hatfield, 2000). Por su parte, Zhang *et al.* (2002) clasifican las fuentes de variabilidad en seis grupos: (1) del rendimiento, (2) del suelo; (3) del terreno; (4) del cultivo; (5) factores anómalos y (6) del manejo.

La caracterización y delimitación de los distintos ambientes, se puede realizar sobre la base de como en el rendimiento del cultivo los factores ambientales inciden. Una segunda forma es tomar indicadores de calidad ambiental, como es el propio rendimiento. Con ambas formas se busca determinar ambientes homogéneos dentro del lote, y los valores mínimos de variabilidad ambiental que generen variación en los rendimientos, de manera de poder implementar pautas de manejo específicas para cada situación.

Caracterizados los ambientes homogéneos, se presenta un segundo problema: las herramientas que se utilizan deben poseer un grado de precisión acorde al requerido, para lo cual cada componente del equipo agrícola responda con una exactitud aceptable y uniforme ante las variaciones que se van presentando durante una labor. Pero en este punto cabe aclarar, todas las experiencias en siembra y fertilización, dentro de la agricultura de precisión, tratan de mostrar la adap-

tabilidad de los equipos a las variaciones a lo largo de la línea de avance, pero no se ha incurrido en experiencias que impliquen el análisis de la variabilidad del suelo en forma transversal al avance de las máquinas.

Un tercer problema en la aplicación variable, es mencionado por Maleki *et al.* (2008), el cual se refiere al período transcurrido entre que un sensor releva un dato y se produce la respuesta de la máquina. Las dosis de insumos pueden ser modificadas con un tiempo considerable de retraso, debido a que se requiere de un tiempo finito para que una información sea recopilada, procesada e informada a quien realice la modificación en los mecanismos involucrados en la variación de la dosis del insumo. Y aún después, se debe tener en cuenta la reacción de la máquina y la velocidad del flujo del insumo. Estos mismos autores citan que este lapso entre la adquisición del dato y la aplicación de insumo está influenciado por la posición del sensor y la velocidad de operación.

A lo antedicho, se debe adicionar la inestabilidad en la respuesta de cada uno de los mecanismos involucrados en la distribución de semillas, dado las múltiples interacciones entre los diversos factores que intervienen. Los efectos particulares de estas interacciones son en la gran mayoría de los casos desconocida, y cuando se tiene un valor estimativo de ella, es posible que no se conozca su precisión. Lo enunciado impide jerarquizar problemas o déficit tecnológicos que permitan implementar las medidas correctivas pertinentes.

Un cuarto problema es que para implementar con éxito la agricultura de precisión, se requiere manejar la mayor información posible (Tschiedel y Ferreira, 2002), y deber ser accesible y estar al alcance cognitivo de quien la emplee. Con todo esto se trata de tener el mayor control posible para lograr la calidad de siembra deseada, y al mismo tiempo hacer que el manejo diferencial por ambientes sea justificado económicamente. En nuestro país, la agricultura de precisión está tecnológica y económicamente unida a la siembra directa, donde la variabilidad ambiental se presenta con mayor fuerza. Por lo tanto, es esperable que se potencien las dificultades planteadas anteriormente, y se deban pensar, desarrollar y aplicar formas de uso que logren una eficiente amalgama entre

ambas herramientas tecnológicas. Estas formas de uso pueden agruparse en lo que se ha dado en llamar «siembra de precisión».

En forma independiente al nivel tecnológico que se emplee, hay siempre presente un objetivo que se logra una siembra de calidad, la cual consiste en lograr que la diferencia entre la cantidad de plantas posibles de obtener y las emergidas sea mínima, que la distancia entre ellas sea uniforme, y que el tiempo transcurrido para emerger sea el mínimo para el conjunto de la población (Maroni *et al.*, 2001).

Conocer y caracterizar la variabilidad en la distribución de semillas de maíz por una sembradora de dosificación mecánica, en condiciones de siembra directa, permitirá conciliar la capacidad de repuesta de las sembradoras a la aplicación de la información utilizada en la agricultura de precisión. El buen ajuste entre los componentes tecnológicos será posible si se tienen contestadas para cada situación las siguientes preguntas: *¿Qué se va a sembrar? ¿Dónde se va a sembrar? ¿Con qué se va a sembrar? ¿Cómo será el trabajo de siembra? ¿Cómo y cuándo se va a evaluar el trabajo de siembra?* El grado de certidumbre que tengan en conjunto las respuestas será, en definitiva, la precisión de siembra.

Características de la máquina sembradora que afectan la precisión de siembra

El logro de un determinado espaciamiento entre plantas, depende tanto de la eficiencia de implantación como del trabajo de la sembradora, y el logro de una uniformidad en el distanciamiento entre semillas está generalmente relacionado con la forma en que éstas llegan al surco de siembra, y también con la velocidad de avance del equipo (Fornstrom y Millar, 1989). Más específicamente, la precisión de una sembradora depende de la uniformidad de los granos, de la forma del fondo de la tolva, de la velocidad de la placa, de la estructura y tamaño de los alvéolos y de la cantidad de grano existente en la tolva (Smith, 1967). Karayel y Özmerzi (2007) agregan a lo anterior: el tubo conductor, el tipo de surcador y las características del suelo, parámetros que afectan a la viabilidad y a la distribución de las semillas, tanto en lo que hace a su ubicación en la línea de siembra, como a su profundidad.

También debe tenerse en cuenta el patinamiento de la rueda motriz y, en particular en siembra directa, el efecto del alistamiento y regulación de los restantes accesorios y conjuntos que conforman el tren de distribución. Ésta regulación está influida por la facilidad de acceso y operación de los elementos mecánicos, la sensibilidad de éstos, y la capacitación del personal involucrado. Lograda una regulación en un ensayo a campo, la cual muchas veces es una aproximación de la deseada, se aspira a que ésta se mantenga a lo largo de toda la operación, o que varíe en función de los distintos ambientes por los que transita la sembradora, característica apreciada en la agricultura de precisión.

Dosificación

Previo a la siembra es necesario conocer el tratamiento que el dosificador otorga a la semilla, dado que existe un daño mecánico visible, la rotura de semilla, y otro no visible (Tourn, 2005). El daño provocado por los dosificadores de expulsión forzada, presentan magnitudes variables, y están relacionados con la especie, el cultivar, el diseño del dosificador, el material de construcción y la regulación, operación y mantenimiento del mismo (Tourn *et al.*, 2006).

En la Argentina las sembradoras de grano grueso que poseen dosificadores mecánicos de placa alveolada presentan la mayor difusión, de éstas existen dos posibles alternativas: placa horizontal y placa oblicua. Independientemente del tipo de dosificador a utilizar, éstos deben presentar características que impidan variación en la dosificación monograno, ya sea por duplicaciones, fallos o alteraciones en la viabilidad de la semilla.

El primer problema a resolver, es la elección de la placa dosificadora correspondiente a la semilla a sembrar. En maíz se halla que la uniformidad de distribución es afectada negativamente cuando se reduce el espacio libre entre semilla y alvéolo, sin que esto incurra en daño mecánico a la semilla (Dos Santos *et al.*, 2003). En este sentido, Kepner *et al.* (1982) señalan que la experiencia indica que el diámetro del alvéolo debe ser un 10% mayor a la semilla más grande, y la profundidad del alvéolo debe ser aproximadamente igual al espesor promedio de la semilla. Altos valores de giro de la placa también puede ser responsable que

los granos no caigan correctamente dentro de las celdas (Breece, *et al.*, 1992), o generar riesgos de incurrir daño en la semilla, de manera que se ve afectada su viabilidad.

Barmington (1948) encuentra, para dosificadores monograno del tipo horizontal y vertical, una correlación negativa entre su velocidad de giro y el coeficiente de llenado de los alvéolos con semillas de remolacha azucarera, por lo que concluye que esta velocidad y por ende la velocidad de avance, deberá ser la que permita acercarse al 100% del coeficiente de llenado. Kepner *et al.* (1982) observaron similar tendencia con semillas de maíz y placa horizontal, pero agregan que a bajas velocidades hay más posibilidades de ocurrencia de duplicaciones en la dosificación, y que el coeficiente de llenado de los alvéolos con semillas grandes, no es fuertemente afectado por velocidades menores a la que produce el 100% de llenado, por lo que recomiendan mantener baja la velocidad tangencial de la placa.

A los efectos de reducir la velocidad tangencial de una placa alveolada, para una determinada velocidad de operación de la sembradora y espaciamiento entre semillas en la línea de siembra, Kepner *et al.* (1982) propone aumentar el número de alvéolos. Esto es así, dado que para una misma determinada cantidad de semillas por metro de surco, una placa con mayor número de celdas admite una mayor velocidad de siembra que una placa con uno menor, porque la primera no tiene que girar tan rápido para sembrar la misma cantidad de semillas en una distancia dada.

Klenin, *et al.* (1986a) analizan el proceso de llenado de los alvéolos, al cual lo describen en tres pasos: (1) acercamiento del alvéolo a la semilla; (2) entrada de la semilla y (3) acomodamiento de la semilla en el alvéolo. En la etapa (2), estos autores, muestran que es posible la entrada de la semilla al alvéolo cuando la velocidad tangencial de la placa es menor o igual a la velocidad de ingreso. Ésta última disminuye al seleccionarse semilla de mayor longitud y/o espesor, menor el largo del alvéolo, o al reducirse la velocidad de la semilla que está en contacto con la parte superior de la placa. Como ejemplo muestran que para una velocidad de trabajo de 9 km h⁻¹, en la siembra de maíz y remolacha azucarera, la velocidad tangencial de la placa debe ser de 0,73 m seg⁻¹ y 0,43 m seg⁻¹, respectivamente. Finalmente,

que el acomodamiento de la semilla está fuertemente afectada por las dimensiones del alvéolo y el espesor de la semilla.

La restante forma en que un dosificador puede afectar la distribución de semillas es mediante la alteración de la viabilidad. Tourn, *et al.* (1996) al comparar el tratamiento otorgado a la semilla de maíz por un dosificador de placa horizontal y otro de placa vertical, hallan que ambos sistemas de dosificación provocan una disminución del poder germinativo y un incremento del porcentaje de rotura visible, respecto a un testigo sin dosificar, si bien el efecto del primer cuantificador prevaleció sobre el segundo.

Conducción

El órgano conductor debe captar la semilla del dosificador y entregarla en el fondo del surco manteniendo la densidad de siembra (Breece, *et al.*, 1992). El sistema de conducción más utilizado es por gravedad, donde la semilla que sale del dosificador fluye en caída libre a lo largo del tubo conductor hasta alcanzar el fondo del surco de siembra.

Conducir la semilla desde el dosificador hasta el punto de descarga en el tren de siembra, puede ser considerado una operación intrascendente, pero en una dosificación monograno, esta conducción debe mantenerse continuamente precisa, lo cual constituye una característica deseable de la máquina sembradora (Baker *et al.*, 2002a), dado que puede afectar a la uniformidad de distribución a lo largo de la línea de siembra.

La caída de la semilla dentro del tubo conductor es gobernada por las leyes de la caída libre de un cuerpo, éste movimiento es afectado por las propiedades aerodinámicas de la semilla, la fricción entre semillas, el impacto con las paredes internas del tubo (rebotes), y el diseño y dimensiones de éste (Klenin *et al.*, 1986b). Kepner *et al.* (1982) señalan como características deseables para dicho tubo, ser: de corta longitud, paredes interiores lisas, diámetro pequeño y con la descarga cercana al fondo del surco de siembra. Bernacki *et al.* (1972) adicionan que el diseño debe contemplar que el 60 - 80% de las semillas conducidas caigan libremente sin contacto con sus paredes.

La altura incide en la caída libre de las semillas, dado que afecta el tiempo y la velocidad de caída. Bernacki *et al.* (1972) comenta que una mayor dis-

persión de semillas en el suelo se corresponde con una mayor longitud del tubo de conducción. El tiempo de caída aumenta cuando se producen rebotes dentro del tubo, efecto que es variable para cada una de las semillas dosificadas (Breece, *et al.*, 1992). Klein *et al.* (1986b), citan incrementos entre 1,05 y 1,15 en el tiempo de caída debido a los factores enunciados en el párrafo anterior, y entre 1,3 a 1,45 por la apertura, conformación y cubrimiento del surco. Si bien no está explícitamente enunciado en su trabajo, se puede deducir que estos incrementos en el tiempo de caída son para la siembra sobre un suelo previamente laboreado. Por otra parte, grandes longitudes del tubo conductor genera altas velocidades de caída, lo que tiende a incrementar el rebote y el desplazamiento de la semilla en la línea de siembra (Kepner *et al.*, 1982). Pero según Bernacki *et al.* (1972), en algunos casos los rebotes pueden mejorar la distribución, fenómeno que citan como factible de ocurrencia en tubos conductores de diseño helicoidal.

La inclinación del tubo, las curvas que puede presentar y su diámetro pueden reducir la velocidad de caída o bloquear el flujo de semillas (Endrerud, 1999), y con ello contribuir a mayores tiempos de caída que producen la aparición de fallos y/o duplicaciones en la siembra monograno. En estas alteraciones al distanciamiento entre semillas en la línea de siembra, la velocidad de avance del equipo también juega un papel importante, dado que la semilla no cae desde un punto estacionario (Breece, *et al.*, 1992). Bernacki *et al.* (1972) citan que el ángulo de desviación del tubo conductor respecto a la vertical no debería superar los 15°. Contrariamente, Wanjura y Hudspeth (1968) al estudiar cómo es afectada la distribución de semillas de remolacha azucarera, cuando es conducida a través de tubos conductores con diferente longitud (492,96 mm y 246,48 mm), diámetro (19,05 mm y 5,135 mm) e inclinación (0°; 30° hacia adelante y 30° hacia atrás respecto a la dirección de avance), concluyen que el tubo de 19,05 mm de diámetro y con inclinación de 30° hacia atrás generó la menor variación en el espaciamiento entre semillas independientemente de la longitud.

Surcado, apretado y tapado - compactado

La transitabilidad de la sembradora es una condición excluyente para lograr el stand de plantas deseadas. El distanciamiento entre cuerpos, y dentro de

ellos, el alistamiento de los órganos activos y accesorios del tren de distribución, debe ser pensado según la condición media del lote, pero éste alistamiento debe poseer la suficiente versatilidad para mantener una uniforme distribución de semillas ante cada cambio de sitio específico del lote.

En la siembra convencional del cultivo de maíz, utilizando una sembradora alistada con un surcador del tipo fijo (*shoe*), la profundidad de siembra produce un aumento en el día medio a emergencia, y una disminución en la tasa de emergencia del cultivo, pero no afecta la uniformidad de la distribución horizontal (Özmerzi *et al.*, 2002).

En la Argentina están difundidos los órganos surcadores con movimiento giratorio, siendo el más representativo el llamado «doble disco». Se ha encontrado que la labor de éste tipo de surcador no es satisfactorio en condiciones de siembra directa, dado que tiene tendencia a ingresar tierra con menor contenido de humedad en el surco, y a presentar una alta variación en la profundidad de siembra, lo que resulta en una menor emergencia del cultivo (Chaudhuri, 2001). En esto último, concuerdan Sanavi Shiri y Raoufat (2006), quienes le adjudican a los órganos abresurcos fijos un mejor desempeño en el logro de la profundidad de siembra ante altos volúmenes de rastrojo frente al surcador doble disco.

Por otra parte, los surcadores de doble disco, pueden generar paredes laterales compactas en el surco de siembra, lo cual puede dificultar el crecimiento de las raíces germinales. Rosolem *et al.* (1999) midieron el crecimiento de las raíces geminales de maíz en suelos con distinto contenido de arcillas y potenciales agua entre -0,03 y -0,64 MPa, y encontraron que un valor de resistencia a la penetración de 1,3 Mpa reduce a la mitad el crecimiento de las raíces geminales adventicias, pero destaca que la raíz germinal primaria es más sensible a este parámetro del suelo.

La compactación superficial por el tránsito de la maquinaria genera condiciones de suelo inadecuadas para la emergencia de los cultivos (Botta *et al.*, 2006). La presión que ejercen las ruedas cubridoras-compactadoras también puede incidir en el establecimiento del cultivo de maíz. Prado *et al.* (2001) encuentran, en un suelo labrado, que ésta variable se correlaciona directamente con cargas crecientes entre 0 y 15 kgf de las ruedas cubridoras-compactadoras.

Características de la semilla a sembrar que afectan la ubicación final de las semillas viables

Una máquina sembradora debe tratar a la semilla de forma tal de no alterar negativamente su viabilidad, y al mismo tiempo, debe colocar la semilla en un volumen de suelo con características tales que no se vea impedida su germinación y emergencia (Srivastava *et al.*, 1993). La viabilidad de la semilla puede verse afectada, en distinto grado, en los conjuntos de dosificación, de conducción, y en los de distribución. En los dos primeros hay un contacto directo entre los elementos que conforman esos conjuntos y la semilla, mientras que en el último la viabilidad puede verse afectada por el trabajo deficiente de los órganos activos y accesorios del tren de distribución.

El logro de la densidad de siembra objetivo, también se halla fuertemente influenciado por una variabilidad intrínseca de la semilla en cuanto a su capacidad para generar una plántula, la cual es cuantificable mediante la determinación de su valor cultural. Los tratamientos fitosanitarios de semillas también pueden aumentar los casos de fallos y descargas múltiples. Jasper *et al.* (2006a) logran con el agregado de 3,37 kg de grafito por kilogramo de semilla de maíz, contrarrestar la desuniformidad de la distribución en la línea de siembra, sin que se vea afectada la germinación.

La geometría de la semilla también ha sido motivo de investigación. Jasper *et al.* (2006b) estudiaron si existe una selección de semillas de maíz por tamaño cuando se utiliza un dosificador mecánico de placa alveolada horizontal, generaría una alteración en la calidad de la distribución longitudinal y aumento en los daños mecánicos de la semilla. Sus resultados no permiten aceptar su hipótesis de trabajo, pero muestran que el uso de semillas con geometría más «redondeada» resulta en menores valores de fallos o duplicaciones frente a semillas de forma «achata».

Buften *et al.* (1974) al observar en laboratorio el desplazamiento de semillas de remolacha azucarera, nabo, lechuga y zanahoria después del impacto de éstas contra el suelo. Estos autores concluyen que la magnitud del desplazamiento es mínimo cuando: el ángulo de impacto estuvo comprendido entre los 75° y 85° (desplazamientos entre 3,1 y 7,2 mm); la velocidad de impacto es baja, particularmente cuando el

ángulo de impacto es menor a 75°; las semillas sean pequeñas y de forma irregular y la superficie del suelo sea irregular.

Uniformidad en la ubicación de la semilla y respuesta del cultivo de maíz

Como es conocido, la mayoría de los cultivos extensivos sembrados en la Región Pampeana son trigo, soja, maíz y girasol; presentando la siembra de estas especies características diferentes. Para trigo la dosificación de semillas es continua, denominándose a este tipo de máquina «sembradora a chorrillo» o «de grano finos». Mientras que en la implantación de los cultivos de maíz y girasol se realiza un tipo de siembra que suele denominarse como «siembra de precisión», lo cual significa que las semillas son dosificadas individualmente, siendo la entrega de éstas discontinuas. A la máquina que realiza este tipo de siembra se la denomina «sembradora de grano grueso» o «monogran».

En la actualidad la siembra de soja se puede realizar, con alguna de las dos sembradoras mencionadas como «de grano fino», dado que los valores en las recomendaciones de densidades de siembra, han ido incrementándose de forma sustancial, hasta indicarse densidades superiores a las 30 semillas de soja por metro. A partir de este valor se debe considerar a la dosificación como a chorrillo, con independencia del dosificador utilizado (Maroni y Medera, 1990).

El hecho que una semilla depositada en el surco, a un distanciamiento de sus vecinas y profundidad preestablecidas, es el resultado de una sucesión de eventos, de los que participan los distintos conjuntos de la sembradora. Esta distinción no es sólo orgánica, si no que es también desde el punto de vista del tratamiento que éstos otorgan a la semilla. Por lo tanto, el último criterio para la evaluación de una máquina sembradora es valorar la población de plantas establecidas, que está influenciado por el trabajo de cada uno de los elementos que conforman la sembradora (Maleki, *et al.*, 2006).

La elección de sembrar sobre un suelo preparado con labranza o en un suelo bajo siembra directa, puede tener implicancias en el logro de la uniformidad espacial de plantas en un cultivo determinado. En siembra directa, el espacio entre semillas contiguas en la línea

de siembra es a menudo más variable, y por ende menos preciso, que el logrado en siembra convencional (Baker, *et al.*, 2002).

La distribución de las plantas de un cultivo sobre una superficie, el arreglo espacial, está dada por el distanciamiento de éstas en la hilera de siembra y por la distancia entre hileras. Para los cultivos de grano la primera distancia suele ser mayor que la segunda. El arreglo espacial de un cultivar puede ser descrito mediante la rectangularidad, que surge de realizar el cociente entre distancia entre hileras y entre plantas en la hilera. La respuesta del rendimiento a una mayor rectangularidad no es del todo convincente, dado la existencia de casos contradictorios para diferentes genotipos y ambientes (Satorre, *et al.*, 2004). Un arreglo espacial uniforme sugiere que a cada planta del cultivo se le asigna un volumen de suelo semejante al de sus vecinas. Este volumen está determinado: por la profundidad de exploración de las raíces, que es función de la especie y de la fertilidad física y química del suelo, y por una superficie dada por el distanciamiento entre hileras y el distanciamiento entre plantas dentro de la misma línea de siembra.

Los objetivos de los diferentes arreglos espaciales son, en primer lugar, minimizar la competencia intraespecífica e interespecífica por agua, luz solar y los nutrientes del suelo, lo cual es condición necesaria para no afectar el crecimiento y desarrollo de las plantas, lo que puede generar individuos dominados.

La eficiencia de implantación es una medida de resultado que complementa al valor de densidad de plantas logradas, dado que caracteriza el buen uso del insumo semilla. Como tal, solo hace referencia al número de plantas por unidad de superficie, y no aporta a la valoración de la distribución espacial interna del *stand* de plantas, ni a su uniformidad temporal. Esta última puede caracterizarse al cuantificar los días requeridos para la completa emergencia del cultivo, entendiéndose a ésta al momento en donde no se observan nuevas plantas emergidas. El día medio a emergencia constituye una metodología para la puesta en evidencia de esta característica. Un cultivo donde se logre el número final de plantas en el menor tiempo presentará crecimiento más uniforme, por lo que no se generarán individuos dominados, y no se presentarán diferencias en el desarrollo fenológico.

Eficiencia de implantación y día medio a emergencia, son dos resultados que deben leerse uno

como complemento del otro. Ambos, son valores promedios para un determinado sitio, por lo que su uso en la agricultura de precisión requiere el cálculo de ambos para cada sitio específico. Utilizando estos índices, Karayel (2009) concluye que la ubicación de la semilla en el suelo afecta al día medio a emergencia y la emergencia de plantas. Además, cita que los mejores resultados en porcentaje de emergencia de plantas y menor día a emergencia para el cultivo de maíz, ocurre cuando la siembra directa se realiza a bajas velocidades (3,6 km h⁻¹ y 5,4 km h⁻¹), y se utiliza un surcador del tipo de doble disco.

Distanciamiento entre hileras de siembra

La decisión de optar por un determinado distanciamiento entre líneas obedeció tradicionalmente a factores de manejo, como pudo haber sido el pasaje de alguna herramienta para el control mecánico de malezas, o de equipos pulverizadores para la protección de los cultivos.

En la actualidad, el distanciamiento entre hileras de siembra responde principalmente a factores genéticos y ambientales, que desde el punto de vista de la sembradora, es manejada con la posibilidad de modificar la separación entre cuerpos. En este sentido, Fey y Fey (2001) evaluaron la influencia en el rendimiento de maíz utilizando tres espaciamientos entre hileras (0,47; 0,70 y 0,90 m) con tres poblaciones de plantas (50.000, 60.000 y 70.000 plantas ha⁻¹), estos autores concluyen que la reducción en el espaciamiento entre hileras a 0,47 m reduce significativamente el rendimiento, mientras que entre las tres poblaciones de plantas no hubo diferencias significativas en el rendimiento.

La uniformidad en la distribución de semillas en la línea de siembra también puede verse afectada. Bozdogan (2008) al evaluar la precisión en la distribución de semillas de maíz por tres sembradoras con dosificación neumática, alistada con tres distanciamientos entre cuerpos (14, 18 y 21 cm) y operando a cuatro velocidades (1,8; 3,6; 5,4 y 7,2 km h⁻¹) concluye que las mejores combinaciones, en cuanto a mayor índice de calidad y menor índice de fallos, son el alistamiento a 18 cm de separación entre cuerpos operando a 1,8 y 3,6 km h⁻¹.

Uniformidad en la hilera

La uniformidad en el espaciamiento real entre semillas es, por lo general, diferente con respecto al

suministrado por el manual del fabricante de la máquina sembradora de precisión, lo cual puede ser debido a varios factores: velocidad de la sembradora, presión de inflado de los neumáticos, deslizamiento de la rueda motriz de la sembradora, condiciones del mecanismo dosificador y tamaño del alveolo de la placa de semilla (Breece *et al.*, 1992).

De todas formas, existen antecedentes dispares sobre el efecto de la uniformidad del *stand* de plantas sobre el rendimiento del cultivo de maíz. Entre los autores que resaltan la importancia de la uniformidad se hallan: Delafosse (1986) quien señala que para los cultivos que se siembran en hilera, el rendimiento es afectado por la distribución del espaciamiento dentro y entre la hilera y por la población de plantas por hectárea. Nielsen (1993) quien en un ensayo a campo a lo largo de los estados de Indiana y Ohio (Estados Unidos), entre los años 1987-1993, interpreta sus resultados concluyendo que se pierden 168 kg ha⁻¹ en el rendimiento de maíz por cada 2,54 cm de aumento en la desviación estándar del espaciamiento entre plantas.

Lauer y Rankin (2004) analizando la respuesta en el rendimiento de maíz a la variación en el espaciamiento en la línea, para dos densidades (37.000 y 74.000 pl ha⁻¹) proponen un modelo el cual atribuye una disminución del 1,06% por cada centímetro de aumento en el desvío estándar, cuando éste es mayor a 12 cm. Es de destacar que estos autores plantean su modelo solo para la densidad mayor, dado que solo en este caso encontraron una correlación significativa ($R^2 = 0,57$) entre el rendimiento y la variación en el distanciamiento en la línea de siembra. Por el contrario, Liu *et al.* (2004a), trabajando en un cultivo de maíz cuya densidad fue de 67.000 pl ha⁻¹, concluyen que una moderada variabilidad en el espaciamiento entre plantas (desvío estándar entre 2,5 a 17,5 cm) no es causa de una severa competencia entre éstas, tal que afecte el crecimiento y rendimiento del cultivo, incluso si hay retrasos en la emergencia. Es a la variabilidad en éste último factor, al que le atribuyen la responsabilidad sobre la generación del rendimiento.

Liu *et al.* (2004b) en un ensayo de dos años en siembra convencional de maíz, realizado en dos localidades de Ontario, Canadá, concluyen que la relación entre el rendimiento y la variabilidad en el espaciamiento entre semillas en la línea de siembra, medida a

través del desvío estándar, fallos y multiplicaciones es insignificante, por lo que un perfecto espaciamiento no genera un beneficio en cultivos comerciales.

Estas respuestas contrastantes en el rendimiento, a la variabilidad en el espaciamiento entre plantas en la línea de siembra, pueden ser consecuencia de la intervención de factores genéticos (Andrade y Abbate, 2005) Al respecto, Maddonni *et al.* (2001), informan sobre la capacidad de algunos híbridos de maíz en la reorientación de las hojas hacia los espacios libres en el surco y en el entresurco.

Uniformidad en la profundidad de siembra

La uniformidad de distribución no sólo implica el distanciamiento superficial entre semillas descargadas por la máquina, sino que también debe tenerse en cuenta la variación en la profundidad de siembra.

Las diferentes ubicaciones de las semillas en profundidad generan que éstas se encuentren con diferentes ambientes edáficos, los cuales al ser disímiles entre sí, y/o al óptimo para la germinación y emergencia, puede llevar a la desuniformidad en la emergencia tanto espacial como temporal. Bateman (1972), en siembra convencional de maíz, concluye que una inapropiada y desuniforme profundidad de siembra explica la variación en el número de plantas emergidas, y el retraso en el logro de la máxima emergencia del cultivo. Ese retraso puede generar que esas plantas no generen una espiga, afectando así al rendimiento. Heege (1993) en 42 ensayos con diferentes regímenes de labranza y formas de siembra, obtiene una correlación negativa entre el desvío estándar de la profundidad de siembra (con valores medios entre 25 mm y 45 mm), y el porcentaje de emergencia a campo en cultivos de cereales. La regresión que obtiene el autor para desvíos estándar entre 6 mm y 20 mm es: $y = 95,9 - 2,3s$ ($p=0,05$), donde “y” es el porcentaje de emergencia a campo, y “s” es el desvío estándar de la profundidad de siembra en milímetros.

Según Bragachini, *et al.* (2002b) la semilla de maíz debe colocarse a una profundidad de entre 2,5 cm a 5 cm. Si la profundidad es excesiva no recibe oxígeno para germinar, o bien si germina pueden agotar las reservas antes de emerger. Si en cambio se coloca demasiado superficial existe el riesgo de que el suelo se seque antes de germinar, o bien no se

establezcan las raíces y la plántula se seque o tenga un pobre arranque. Sin embargo, Tesouro *et al.* (2009) al evaluar las características de la siembra de maíz en la zona de Pergamino, concluye que la desuniformidad de la profundidad y del crecimiento de la parte aérea fueron de magnitud reducida por lo cual, en las condiciones en la que se realizó este estudio, puede considerarse que no resultaron factores críticos para el establecimiento del cultivo.

La posición de los órganos para regular la profundidad de siembra no es un detalle menor en el diseño de los trenes de siembra de las sembradoras. Morrison y Gerik (1985) muestran que la ubicación de los órganos limitadores de profundidad afecta la profundidad de siembra, su desvío estándar y el número de plantas logradas en la siembra directa de un cultivo de maíz. En su ensayo, regulada la sembradora para una profundidad de 38 mm, la ubicación de las ruedas limitadoras por detrás de un surcador doble disco logra la mayor profundidad y el mayor desvío estándar ($43,3 \text{ mm} \pm 11,3 \text{ mm}$) respecto a las demás ubicaciones de las ruedas limitadoras: por delante del surcador ($37,3 \text{ mm} \pm 9,3 \text{ mm}$); por delante y por atrás vinculadas por un brazo ($35,7 \text{ mm} \pm 7,5 \text{ mm}$) y a los costados del doble disco ($34,1 \text{ mm} \pm 7,9 \text{ mm}$). Todas las profundidades medias difirieron significativamente; para el caso de los desvíos, las últimas tres ubicaciones no presentaron diferencias significativas entre ellas, pero sí lo hicieron respecto a la primera ubicación. Respecto a la población final de plantas de maíz, la ubicación más desfavorable es a los costados del órgano surcador doble disco. Las ubicaciones óptimas, según estos autores, serían atrás del surcador, o adelante y atrás del surcador vinculadas por un brazo. La ubicación de las ruedas limitadoras por delante del doble disco presenta resultados intermedios. Es de destacar, que cuando se ensayan estas ubicaciones en la siembra de sorgo no se encuentran diferencias significativas.

El tipo de surcador también presenta efectos sobre el logro de una determinada precisión de siembra. Karayel (2009) al comparar entre sí un surcador fijo tipo bota “hoe”, y un surcador de doble disco, en siembra directa de maíz y soja con dosificación neumática, encuentra que incrementos en la velocidad de trabajo dentro de un rango de 1 a 2 m seg^{-1} , genera una

disminución en la profundidad de siembra con un aumento en el coeficiente de variación, presentándose los menores valores para el primer tipo de surcador en las velocidades analizadas.

Cuando se analiza la función de los órganos cubridores-compactadores, Chen *et al.* (2004) en un ensayo de siembra directa de maíz sobre un rastrojo de alpiste, no hallan diferencias significativas en la media ni en el desvío estándar de la profundidad de siembra, al utilizar un tren de siembra sin ruedas limitadora y compactadora y otro sin este último accesorio.

Un mismo alistamiento del tren de siembra, transitando sobre una misma superficie, puede comportarse de forma distinta, según sea la regulación de la profundidad. Al respecto, Özmerzi *et al.* (2002), en la siembra de maíz en suelos labrados con una secuencia de arado de cincel y rastra de doble acción, aportan resultados que muestran para una profundidad regulada de siembra de 40 mm una mayor variabilidad, medida ésta en términos del coeficiente de variación, respecto a las logradas a 60 y 80 mm. De todas formas, los valores medios conseguidos fueron muy cercanos a los predeterminados para cada tratamiento.

Según Lauer y Rankin (2004), citado en el apartado anterior, concluyen que más importante que el logro de una uniforme distribución de plantas, es el logro de una profundidad uniforme, dado que a densidades de siembra adecuadas para un ambiente, el maíz presenta la capacidad de compensar variaciones en el distanciamiento entre plantas.

Características del ambiente y forma de trabajo que afectan la ubicación final de las semillas viables

Cobertura de rastrojo

En los sistemas de producción conservacionistas, la presencia de cobertura vegetal puede generar un pobre establecimiento del cultivo de maíz y verse afectado el rendimiento del cultivo (Fallahi y Raoufat, 2008). En el caso de siembra directa, las causas de lo anterior pueden especificarse a que el rastrojo provo-

ca que el órgano abresurco de la sembradora, no logre cortar el suelo, impidiendo depositar la semilla en una posición correcta, esto es a un distanciamiento y profundidad regulada, y además, la profundidad lograda presenta una alta variabilidad (Erbach *et al.*, 1986; Raoufat y Mahmoodieh, 2005). Esto plantea la problemática del manejo del rastrojo, de manera de lograr una disminución de su volumen en la línea de siembra, para generar condiciones que repercutan en mayores rendimientos, o que estos no se vean negativamente afectados en forma ostensible.

Bahrani *et al.* (2007), al evaluar el rendimiento de maíz, implantado sobre un rastrojo de trigo, encuentran los mejores rendimientos cuando se incorporó entre un 25 a 50% del rastrojo, y se alista al tren de siembra con accesorios barredores de rastrojo. Estos autores también informan que el rastrojo no sólo afecta el distanciamiento entre dos semillas consecutivas, si no que también afecta a la ubicación en profundidad, lo que puede resultar en una menor emergencia.

Para Fallahi y Raoufat (2008), el alistamiento del tren de siembra con barredor de rastrojo, en condiciones de cobertura del suelo con residuos de trigo entre 1.850 y 3.830 kg ha⁻¹, permite mejorar, en general, la emergencia del cultivo de maíz, obteniendo los mejores resultados con las mayores cantidades de cobertura. Estos autores también evalúan la profundidad de siembra y su variación, caracterizada esta última con el desvío estándar, la cual tiene sus menores valores con la incorporación del barredor de rastrojo. Este tipo de accesorio puede presentar interacción con la temperatura del aire de manera de afectar la emergencia en el cultivo de maíz. Vetsch y Randall (2000) en un ensayo en el Hemisferio Norte, hallaron que cuando la temperatura del aire fue inferior en 3,2°C a la temperatura óptima para la emergencia del cultivo de maíz, la utilización de barredores de rastrojo mejoró en 4 días la emergencia del 50% de las plantas del cultivo, cuando el rastrojo era de maíz, y en 2 días cuando el rastrojo fue de soja. Con temperaturas del aire superiores a la óptima éstos autores no encontraron efecto en la utilización de barredores.

La ubicación en el tren de siembra de los accesorios barredores de rastrojo incide en la emergencia del maíz. Tourn, *et al.* (2003) hallan que el alista-

miento del barredor rastrojo delante de la cuchilla labrasurco tuvo un mejor efecto, en términos de la emergencia del cultivo, cuando se lo comparó con un tren de siembra alistado con el barredor ubicado por detrás de la cuchilla labrasurco.

El diámetro de las cuchillas labrasurco es otro elemento a tener en cuenta cuando se evalúa la transitabilidad de la máquina sembradora por sobre una cobertura de rastrojos. Kushwaha *et al.* (1986) hallaron que cuchillas labrasurco de 360 y 600 mm de diámetro, que avanzan a 6,4 km h⁻¹ sobre un rastrojo de trigo dispuesto transversalmente al filo y con una humedad de 8 a 11%, son las más adecuadas cuando se siembra con niveles bajos o medios de cobertura vegetal (1.000 a 2.000 kg ha⁻¹), mientras que para altos niveles de rastrojos (iguales o mayores a 5.000 kg ha⁻¹) el diámetro de cuchilla labrasurco más efectivo fue de 460 mm. Estos autores también alegan que diámetros grandes provocan el empuje del rastrojo hacia delante y hacia el suelo. Tice y Hendrick (1992) sugieren que un aumento en la velocidad de avance de una cuchilla lisa puede contribuir a un mejor corte de los residuos vegetales.

En la siembra de maíz con remoción previa del suelo, también se encuentran antecedentes que analizan la distribución de las semillas. Karayel y Özmerzi (2002), implantaron maíz con una sembradora con dosificación neumática, a 6 km h⁻¹ de velocidad de avance y con una regulación de profundidad de siembra de 4 cm, sobre una cama de siembra preparada mediante la combinación de arado de reja y vertedera o arado de cincel, como máquinas de labranza primaria, y de rastra de casquetes esféricos y rolo (dos pasadas de ambas), o arado rotativo y rolo (dos pasadas de este último), como máquinas de labranza secundaria. Estos autores obtienen así cuatro tratamientos, de los cuales la secuencia arado de reja y vertedera más rastra de discos y rolo, es la que arroja los mayores valores de porcentaje de emergencia, mejor uniformidad en la profundidad de siembra, y mejor precisión en la distribución de semillas en el surco.

Mangas *et al.* (2009), en un ensayo donde evalúan la uniformidad en el establecimiento del cultivo de maíz, con tres regímenes de labranza, concluyen que la uniformidad de distribución de la semilla en la hilera es independiente del sistema de labranza utilizado, y que en éstos la siembra del cultivo de maíz presenta dificultades para alcanzar niveles de unifor-

midad que permitan calificar la misma como de precisión, con el uso de distribuidores de plato horizontal y semilla poco calibrada. Los sistemas de labranza conservacionistas permiten lograr similares niveles de emergencia a los de labranza convencional, cuando se logra conformar un tren de siembra adecuado a las condiciones del terreno y residuo presente al momento de siembra del cultivo.

Sanavi Shiri y Raoufat (2006), concluyen que el logro de la profundidad de siembra está más influenciada por el tipo de abresurco que por la cantidad de rastrojo presente. Estos autores sostienen que un apropiado manejo de la cobertura, permite obtener valores aceptables en los índices que caracterizan la precisión de siembra, cuando se utilizan surcadores del tipo fijo precedidos por accesorios barredores de rastrojo.

Velocidad de trabajo

El incremento de la capacidad de trabajo de la sembradora, por intervención exclusiva de su velocidad, posee como condicionante a la calidad del trabajo realizado. Esto está dado por los problemas de tener una excesiva velocidad de giro de la placa alveolada que genera los problemas de rotura y de bajo llenado de los alvéolos comentados en el apartado correspondiente a *Dosificación*.

Desde un punto de vista económico el lucro cesante debido a la disminución de la capacidad operativa al optar por la siembra a baja velocidad, puede ser compensado e incluso excedido por el incremento de la producción del cultivo, producto de la distribución espacial uniforme de éste (Bragachini *et al.*, 2009). Por otra parte, en siembra directa de maíz, la profundidad de siembra, la emergencia y el distanciamiento entre plantas no son independientes de la velocidad de trabajo en el rango de 7 a 9 km h⁻¹ (Amado *et al.*, 2005), mientras que Tesouro *et al.* (2009) concluyen que la velocidad de avance tuvo un marcado efecto negativo sobre las semillas aceptablemente sembradas cuando sobrepasó los 7 km h⁻¹, incrementando las fallas y la desuniformidad en la línea de siembra.

Liu *et al.* (2004c), estudiaron el distanciamiento entre semillas logrado con tres sembradoras, dos con surcador doble disco, teniendo una dosificador neumático y la otra dosificador mecánico de dedos, y una

tercer máquina de conducción neumática con surcador mono disco, en siembra convencional y en siembra directa, y a dos velocidades de trabajo. Encuentran un incremento del distanciamiento medio entre semillas y de su desvío estándar, con el aumento de la velocidad de la labor; para el desvío estándar citan un valor de 0,4 cm por cada 1 km h⁻¹ de aumento de la velocidad. En este mismo ensayo se observó que los tratamientos realizados con la sembradora alistada con el surcador monodisco, se produjo un incremento en los días a emergencia del 50%, hecho atribuible al pobre control de la profundidad de siembra de este tipo de surcador, y al deficiente cubrimiento de la única rueda tapadora con que se alistó a la sembradora.

El aumento de la velocidad del trabajo de siembra de 3 a 9 km h⁻¹ provoca un incremento en la desuniformidad en la distribución de semillas de maíz, esto es, hay un aumento en número de fallos y duplicaciones (García *et al.*, 2006), por lo que trabajar con bajas velocidades de avance del equipo de siembra y con bajas densidades de siembra generan mejores resultados en la uniformidad del espaciamiento entre semillas (Valentinuz *et al.*, 2007).

El alistamiento en la distribución con un accesorio fijo para afirmar la semilla en el fondo del surco, logra compensar el aumento del desvío estándar del distanciamiento entre semillas cuando la velocidad se incrementa en aproximadamente 1,6 km h⁻¹; de todas formas esta mejora no se ve reflejada en el rendimiento del cultivo (Staggenborg *et al.*, 2004).

Mello *et al.* (2007), analizando la productividad de dos híbridos de maíz, uno simple y el otro doble, que fueron sembrados a tres velocidades de avance distintas del equipo de siembra (5,4; 6,8 y 9,8 km h⁻¹), hallan un menor porcentaje de espaciamientos normales en ambos cultivares, y una menor productividad de granos para el híbrido simple. Éste último, sólo cuando fue sembrado con una velocidad apenas inferior a los 5,4 km h⁻¹ presentó una mayor productividad de granos respecto al híbrido doble.

De Simone y Godoy (2008) al evaluar la calidad de implantación en maíz, utilizando una sembradora con dosificador de placa alveolada horizontal, a tres velocidades de avance (6,4; 7,8 y 9,2 km h⁻¹), con dos alistamientos del tren de siembra (con y sin rueda apretadora); observan que al incrementar la veloci-

dad se logra depositar un menor número de semillas y aumenta la desuniformidad (mayores desvíos estándar); la presencia de la rueda apretadora disminuye este valor, pero no afectó al número de semillas descargadas. Pero al incrementar la velocidad, encuentran una tendencia a lograr menos plantas al aumentar la densidad de siembra, sin hallar diferencias entre tratamientos; también obtienen menores profundidades con mayores desvíos, lo cual atribuyen a la pérdida de penetración de la cuchilla labrasurco utilizada (*bubble*). Con respecto a los rendimientos, éstos fueron menores en los tratamientos con la mayor velocidad.

Karayel (2009) en siembra directa de maíz sobre rastrojo de trigo, utilizando una sembradora con dosificación neumática, y combinando tres velocidades de avance (3,6; 5,4 y 7,2 km h⁻¹) con dos tipos de abre-surco (doble disco y surcador fijo tipo bota, “hoe”), comunica una menor precisión en la distribución de semillas en la línea de siembra cuando se incrementa la velocidad, independientemente del tipo de abre-surco utilizado.

En la siembra de girasol, Celik *et al.* (2007) analizaron el distanciamiento y profundidad logrados con distintos tipos de sembradoras y dos condiciones de suelo: i. dosificación neumática con surcador fijo “shoe”, en suelo labrado; ii. dosificación mecánica mediante rodillo acanalado, con surcador monodisco, en suelo labrado; iii. dosificación mecánica mediante rodillo acanalado, con surcador fijo tipo “hoe”, en suelo con cobertura vegetal. Las velocidades de trabajo fueron: 3,4; 5,6 y 7,2 km h⁻¹. Los resultados muestran una mejor uniformidad en la distanciamiento con la sembradora de siembra directa, pero la mejor uniformidad en la profundidad la obtienen con una sembradora neumática. Para todos los tratamientos observan una correlación negativa entre velocidad y el tiempo medio a emergencia.

Vibración de la máquina sembradora

Breece *et al.* (1992) caracterizaron la vibración en dos sembradoras, para lo cual tomaron como variables el tipo de suelo (franco arcilloso); su preparación previa; velocidad de avance del equipo (3, 6 y 9 km h⁻¹) y dos posiciones de la unidad de siembra: una intermedia a la trocha del tractor, donde la sem-

bradora trabajó en suelo suelto, y la otra posición siguiendo la línea de pisada de la rueda del tractor. Los resultados que obtuvieron, muestran niveles de vibración muy similares entre las parcelas con diferente preparación del suelo, sin embargo, presentan diferencias significativas entre las dos posiciones de la sembradora con respecto al tractor. Los autores concluyen que la sembradora se ve más afectada cuando trabaja sobre suelos compactados. Además, la preparación de la cama de siembra es fundamental para reducir los niveles de vibración transmitidos a la sembradora y por último, que velocidades de avance del tractor por encima de los 6 km h⁻¹ deberán ser considerados en función de la calidad de la preparación de la superficie del suelo.

Boydas y Turgut (2007), encontraron que la uniformidad en la distribución de cebada se ve considerablemente afectada por las vibraciones producidas por la rugosidad del suelo y la tracción del tractor, y al mismo tiempo hallan que un aumento en la densidad de siembra mejora significativamente la uniformidad de distribución.

DISCUSIÓN

La revisión bibliográfica demuestra que el logro de la precisión en la siembra de un cultivo, implica conocer y controlar numerosas variables que hacen a la mecánica y conformación de la máquina sembradora, su alistamiento, a la forma y condiciones de operación en la labor de siembra, a variables ambientales del sitio de siembra, y a características de la semilla. Todas ellas interaccionan constantemente dando resultados dispares en la evaluación de la implantación y su efecto sobre el rendimiento del cultivo.

Descripción de la máquina sembradora, la forma de operación, las condiciones ambientales y de la semilla a sembrar

En todos los trabajos utilizados en esta revisión no se halla una detallada descripción de la conformación, regulación de las máquinas sembradoras y de las condiciones de operación, ni de las características de la semilla, tanto en su viabilidad como en sus dimensiones (calibre).

Es común la lectura de publicaciones, con ensayos a campo, orientadas al análisis de la biología en

la distribución de semillas en el suelo, con información incompleta sobre la conformación de las máquinas sembradoras. Esta falencia puede llevar a diagnósticos erróneos o al planteo de hipótesis alejadas a la realidad. Cabe para la realización de estos ensayos tener presente lo expresado por Marques da Silva y Soares (2000), que al trabajar con máquinas de labranza, alertan sobre el problema de la incompleta descripción de las herramientas y de las condiciones de los ensayos, lo cual impide la comparación de experiencias realizadas en diferentes lugares y épocas, y su replicación. La caracterización de los componentes mecánicos debe ser complementada con la forma y condiciones de operación dado que cada componente de la sembradora presenta una variabilidad propia en su funcionamiento para cada situación de trabajo.

La interacción entre la semilla y la máquina debe ser analizada no en forma general, si no para cada uno de los componentes mecánicos. En especial donde la semilla puede ser alterada en su viabilidad y/o en donde las dimensiones de la semillas juegan un papel importante en la dinámica que hacen a la distribución en la línea de siembra. Al mismo tiempo, la uniformidad en el calibre de las semillas permite un mejor alistamiento y regulación de los conjuntos dosificadores, de forma de lograr una siembra uniforme y una importante disminución en el posible daño mecánico a la semilla. No hay en la Argentina una norma legal que tipifique semillas por tamaño, por lo que esto queda supeditado a la voluntad y criterio de las empresas que comercializan este insumo.

Es suficientemente claro que la velocidad de operación es una variable que incide con fuerza en la distribución de semillas viables, tal como lo expresan Liu *et al.* (2004c), Amado *et al.* (2005), Bragachini *et al.* (2009) y Tesouro *et al.* (2009). Es esta variable la que presenta una mayor inconsistencia durante la labor, y es al mismo tiempo una variable de fácil acceso a la hora de modificar la capacidad de trabajo del equipo de siembra, en especial por parte del propietario del equipo, el cual puede tener intereses contrapuestos con el propietario del cultivo.

Una tendencia en el diseño de sembradoras es su gran ancho de labor, con un gran número de cuerpos sembradores. Esta característica provoca un incremento significativo en la capacidad de trabajo, pero

a la vez aumenta la demanda energética requerida para traccionar y el peso del equipo, genera el interrogante sobre el comportamiento individual de cada unidad de siembra, y su posible diferenciación con respecto al trabajo de los restantes cuerpos, dado que cada uno de ellos se puede encontrar con ambientes diferentes. La probabilidad del tránsito por ambientes diferentes, para cada unidad de siembra es mayor, claro está, en lotes con alta heterogeneidad, como lo son los trabajados en siembra directa.

Un interrogante que surge de lo anterior es lo referente sobre el efecto de los rodados del equipo de siembra sobre el logro de plantas. Se debería estudiar la incidencia simple y combinada de los efectos del tipo de neumático, su presión de inflado, si transita en forma previa a la disposición de la semilla o lo hace en forma posterior, la cantidad de pisadas sobre una misma superficie. Todo ello ante diferente ocurrencia de factores ambientales.

El principal componente de un equipo de siembra es quien lo piensa y/u opera según su capacidad cognitiva. El pensar se refiere al alistamiento y regulación del equipo. Estos dos eventos en la preparación para el trabajo deberían dar la mayor libertad de acción posible para enfrentar las disímiles condiciones de siembra. Aquí cabe preguntarse si las máquinas sembradoras en la Argentina permiten la realización de cambios sustanciales en su conformación, y si dichos cambios pueden realizarse en forma segura y sencilla.

El mantenimiento de los mecanismos incidentes en la distribución de semillas es de vital importancia, por lo cual el operario de la sembradora debe realizar las reparaciones y ajustes adecuados para obtener las densidades de plantas buscadas. Bateman (1972) analiza el desgaste de las placas alveoladas, la contraplaca y el enrasador, y los relaciona con dos tipos de grano de maíz (chato y redondo), y el régimen de placa. Éste autor encuentra que con el desgaste de los componentes del conjunto dosificador aumenta el volumen del espacio disponible para que los granos de maíz se alojen.

Ubicación espacial de la semilla viable

Tradicionalmente se habla de la ubicación de las semillas viables en la línea de siembra. Pero una máquina sembradora trabaja varias líneas de siembra a

la vez, y esta característica está en aumento dada la tendencia actual a incrementar el ancho de labor. Esto hace que una única sembradora, regulada para responder a los cambios ambientales en la dirección de avance, tenga que trabajar ante posibles ambientes que pueden diferir sustancialmente en forma perpendicular a la dirección de avance. Lo último, en la gran generalidad de los casos, no es tenido en cuenta.

La ubicación de las semillas viables no solo debe contemplar la uniformidad en el distanciamiento entre semillas sucesivas en cada una de las líneas de siembra que trabaja una máquina sembradora, sino que con la misma importancia se debe verificar la uniformidad de la profundidad de siembra. Por lo tanto, se debe contemplar una uniforme ubicación de la semilla viable en forma longitudinal y en profundidad en la línea de siembra, lo que aunado a una ubicación transversal a la línea de avance, lleva a plantear el concepto de «volumen de siembra» en vez de «línea de siembra», dado que es en ese volumen de suelo donde una semilla se ubica espacialmente. Las características de este volumen de suelo deben ser tales que le permitan a una semilla poder germinar, emerger y desarrollar su sistema radicular primario. Ésta características de suelo son, en definitiva, idénticas a las buscadas con las diversas máquinas y secuencias de labranza. Es una buena cama de siembra la que generará una emergencia uniforme en lo temporal, lo cual de acuerdo a lo expresado por Lauer y Rankin (2004) y Baterman (1972), repercute positivamente en la generación del rendimiento.

Sobre el tema, Nafziger *et al.* (1991), muestran resultados para el maíz, donde una diferencia de dos semanas entre la emergencia de las primeras plantas y las últimas genera una pérdida en el rendimiento, la cual es probable que no justifique una resiembra. Pero, si ese retardo es de tres semanas y afecta al 25% de la población, entonces deberá plantearse la posibilidad de efectuar una resiembra del cultivo, lo cual generará un incremento del 10% en el rendimiento. Como citan estos autores, se deberá analizar si ese incremento justifica el costo de la resiembra.

Una metodología para la caracterización y evaluación de la precisión de siembra

Tomada la decisión empresarial, de llevar adelante una explotación agropecuaria utilizando las

herramientas de la agricultura de precisión, surge como próximo paso, la necesidad de encontrar herramientas aplicables y confiables que permitan evaluar el desempeño de la agricultura de precisión. Al conocer y caracterizar la variabilidad en la distribución de semillas de maíz por una sembradora de dosificación mecánica, en condiciones de trabajo típicas de siembra sin laboreo previo del suelo, se conciliará la capacidad de repuesta de las sembradoras en la aplicación de la información que insume la agricultura de precisión, y de ésta manera, se logrará su justificación económica.

En un trabajo de Kühnberg (1968) (citado por Bufton *et al.*, 1974), se enuncian los eventos durante los cuales ocurren alteraciones en el espaciamiento entre semillas:

- a. Dosificación, donde hay daño a la semilla.
- b. Conducción, donde se genera una modificación en la entrega de semillas, y un aumento al daño de ésta.
- c. Proyección, según sean las características de las semillas éstas pueden seguir diferentes trayectorias.
- d. Impacto sobre la superficie del suelo, que genera desplazamiento por rebote y rodado de las semillas.
- e. Cubrimiento y asentamiento de la semilla, donde el desplazamiento puede ocurrir por el movimiento del suelo.
- f. Germinación y emergencia, que generan una pérdida aleatoria de las semillas.

En los trabajos donde está involucrada la precisión en la distribución de semillas, de grano grueso, en la línea de siembra se hace referencia a dos metodologías para su evaluación: Norma ISO 7256/1-1984(E) y la metodología propuesta por Kachman y Smith (1995). El Cuadro 1 muestra una comparación entre ambas metodologías en sus aspectos más relevantes.

CUADRO 1. Comparativo entre las metodologías ISO y de Kachman y Smith.

	Norma ISO 7256/1 – 1984 (E)	Kachman y Smith (1995)
Parámetro de medición	Distancia entre semillas descargadas.	Distancia entre plantas emergidas.
Procesamiento de los datos	$n'_1 = \sum n_i (d_s/x_{ref} \in \{0 ; 0,5\})$ $n'_2 = \sum n_i (d_s/x_{ref} \in \{0,5 ; 1,5\})$ $n'_3 = \sum n_i (d_s/x_{ref} \in \{1,5 ; 2,5\})$ $n'_4 = \sum n_i (d_s/x_{ref} \in \{2,5 ; 3,5\})$ $n'_5 = \sum n_i (d_s/x_{ref} \in \{3,5 ; \infty\})$ d _s : distanciamiento entre semillas descargadas x _{ref} : distanciamiento teórico	$n_1 = \sum d_{pi} / d_{pi} \in \{0 ; 0,5x_{ref}\}$ $n_2 = \sum d_{pi} / d_{pi} \in \{0,5x_{ref} ; 1,5x_{ref}\}$ $n_3 = \sum d_{pi} / d_{pi} \in \{1,5x_{ref} ; 2,5x_{ref}\}$ $n_4 = \sum d_{pi} / d_{pi} \in \{2,5x_{ref} ; 3,5x_{ref}\}$ $n_5 = \sum d_{pi} / d_{pi} \in \{3,5x_{ref} ; \infty\}$ d _{pi} : distanciamiento entre plantas x _{ref} : distanciamiento teórico
	Número total de distanciamientos relevados (N) $N = n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5$	
	Número de distanciamientos (N') $N' = n'_2 + 2n'_3 + 3n'_4 + 4n'_5$	
Duplicaciones (multiple index)	$D = \frac{n'_1}{N'} \times 100$	$D = \frac{n_1}{N}$
Fallos (miss index)	$M = \frac{n'_3 + 2n'_4 + 3n'_5}{N'} \times 100$	$M = \frac{n_3 + n_4 + n_5}{N}$
Calidad (quality of feed index)	$A = \frac{N - 2n'_1}{N'} \times 100$	$A = \frac{n_2}{N}$
Precisión	$A = 100 \times \sqrt{\frac{\sum n_i - X_i^2}{n'_2} - \bar{X}^2}$ donde $\bar{X} = \frac{\sum_i n_i - X_i}{n'_2} \quad \forall X_i \in \{>0,5; <1,5\}$	$C = \frac{S_2}{X_{ref}}$

No es objetivo de este trabajo hacer un análisis exhaustivo de las metodologías presentadas, pero si dejar aclarado las diferencias existentes entre ambas. La primera de ellas es lo que se está midiendo. En el caso de la norma ISO se miden distanciamientos entre semillas, mientras que si se utiliza la propuesta de Kachman y Smith (1995) se deben medir distanciamientos

entre plantas. Esto es condicionante del posterior tratamiento de los datos por parte de ambos métodos.

La norma ISO calcula los índices de distribución (duplicaciones, fallos y calidad) referidos al número de distanciamientos, siendo éstos el número de distanciamientos que habría debido encontrarse si por

cada alveolo se descargaba una única semilla. Kachman y Smith (1995) refieren el cálculo de los índices al número total de distanciamientos relevados, por lo que ésta última metodología no contempla la ocurrencia de fallos múltiples. La razón es que no es posible determinar si un fallo mayor a $1,5x_{ref}$ se debe a la no descarga de una semilla, a la no germinación, o a la desaparición de la planta por acción de un agente. Por lo expuesto, si hay ocurrencia de fallos múltiples el denominador de la norma ISO será menor que el de Kachman y Smith (1995). Esta misma diferencia en la contabilización de fallos puede verse en el numerador del índice respectivo.

El índice de calidad también tiene un cálculo diferente. Además de lo señalado en el párrafo anterior, la metodología ISO contempla como distanciamientos normales al número total de distanciamientos relevados, menos el doble de los distanciamientos menores a $0,5x_{ref}$. Para Kachman y Smith (1995) los distanciamientos normales son aquellos comprendidos entre $0,5x_{ref}$ y $1,5x_{ref}$. Nuevamente la presencia de fallos genera un menor valor para el índice de calidad de la norma ISO.

A la luz de estas diferencias se hace evidente que el método ISO muestra en mejor medida el comportamiento de la máquina, en especial a lo que hace al conjunto dosificador. La metodología de Kachman y Smith (1995) genera cierto nivel de incertidumbre ante la ocurrencia de factores extra máquina, pero incorpora un factor de la máquina que no es contemplado dentro del cálculo de los índices de distribu-

ción por la norma ISO, este factor es el posible efecto de la uniformidad en la profundidad de siembra en la emergencia del cultivo.

Precisión de siembra y rendimiento

El rendimiento de un cultivo depende de numerosos factores inconstantes que ocurren durante su ciclo; entre ellos se encuentra la implantación, incidencia que se diluye con el transcurso del tiempo. El logro de aceptables valores en la eficiencia de implantación asegura un estado de partida, donde su fuerza reside en permitir tolerar las adversidades que ocurran durante su desarrollo. Solamente valores muy bajos en la eficiencia de implantación pueden extrapolarse en el tiempo como bajos rendimientos, lo cual puede ser un elemento de juicio para decidir la resiembra del cultivo.

Concordando con lo expresado por Lauer y Rankin (2004) y por Liu *et al.*, (2004b), se puede proponer un nuevo enfoque para calificar la precisión de una máquina sembradora, el cual se basa en determinar que disminución en el rendimiento potencial de un híbrido de maíz, para un determinado ambiente, es económicamente factible de admitir sin tener que recurrir al gasto de nuevas tecnologías, o de severos alistamientos y/o ajustes en los mecanismos que conforman una sembradora.

El desarrollo de la idea anterior se ejemplifica en la Figura 1, donde para un ambiente y genotipo se puede conocer la función que relaciona el rendimiento y las distintas densidades poblacionales de un híbrido.

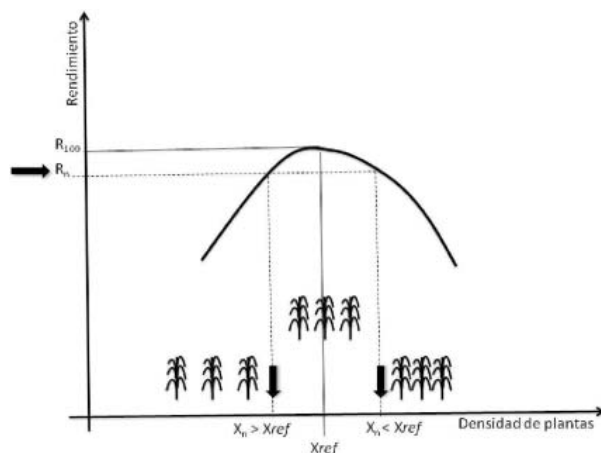


FIGURA 1. Relación entre el rendimiento del cultivo de maíz y la densidad de plantas, expresada como el distanciamiento entre individuos en la hilera. (A una determinada separación entre hileras).

do de maíz. Si se expresan las densidades como los distanciamientos entre plantas en la línea de siembra, según un valor fijo de distanciamiento entre hileras, se logra observar que para el distanciamiento óptimo (correspondiente a la densidad óptima), X_{ref} , se logra el máximo rendimiento (R_{100}). Ahora bien, de un análisis económico de la empresa se puede establecer un rendimiento límite (R_n) por debajo del cual se entrará en una pérdida. Si se hace cortar a la función rendimiento en R_n , y se extrapola al eje de densidades, se puede referir los valores de distanciamientos para considerar duplicaciones y fallos. Es dentro de ese rango donde se deberá hallar la mayor proporción de distanciamientos entre semillas. Lo anterior implica hallar un valor límite de tolerancia. Dicho valor deberá surgir de futuros trabajos, pero es de prever que tendrá una fuerte componente económica. Mientras es factible de utilizar una tolerancia expresada por Maroni (2001) el cual fija un límite del 75% de los distanciamientos comprendidos entre los límites de fallas y duplicaciones.

CONCLUSIONES

La realización de esta revisión bibliográfica permitió concluir que:

1. Es necesario exponer claramente en los trabajos futuros de precisión de siembra la caracterización del sitio del ensayo y la forma de operación de la sembradora; la descripción de sus alistamientos y mencionar las regulaciones de la máquina sembradora; la caracterización de la semilla a sembrar, principalmente en su viabilidad y calibre; el conocimiento del método a aplicar para la evaluación en la distribución de semillas en la línea de siembra. Con respecto al último punto se concluye en la necesidad de establecer un método común para la evaluación de las máquinas sembradoras en la distribución de semillas, tanto para grano grueso como para grano fino.

2. En lotes de producción comercial no hay una fuerte relación entre la uniformidad en el distanciamiento entre semillas, lograda por la máquina sembradora, y el rendimiento del cultivo cuando es sembrado en densidades adecuadas al ambiente. Vale decir, que el efecto de dicha uniformidad entre semillas se va diluyendo con los sucesivos eventos que ocurren a lo

largo del ciclo del cultivo. Solo desuniformidades muy groseras, es decir, aquellas que el cultivo no puede compensar, generan pérdidas sensibles en el rendimiento.

3. Avanzar en la implementación de un único método de evaluación de sembradoras, a fines de poder hacer análisis comparativos. Si esto no es factible, y se debe contar con una serie de metodologías, cada una de ellas deberá ser lo suficientemente explícita en sus variables de entrada, sus resultados, y condiciones de ensayo a fines de evitar los errores y equivocaciones en comparaciones.

4. El logro de una uniforme profundidad de siembra es el punto clave a estudiar. Con las condiciones de suelo adecuadas en las cercanías de las semillas sembradas, una profundidad uniforme de siembra genera una emergencia uniforme, disminuyendo de esta forma la generación de individuos dominados y dominantes en la población del cultivo, a la vez que se genera un mejor control de malezas mediante la competencia intraespecífica. El desarrollo de nuevos mecanismos, o de mejoras en los actuales, para el mantenimiento de la profundidad de siembra debe llevar como premisa la facilidad en la realización de los ajustes pertinentes a campo, y en su accesibilidad.

5. Se debe investigar sobre las variaciones entre los cuerpos que conforman una máquina sembradora, esto es de importancia dado la tendencia a aumentar el ancho de labor de los equipos de siembra, los cuales trabajan en ambientes heterogéneos, aún cuando se implementa la siembra por ambientes.

6. Los dos factores claves para lograr una uniforme distribución de semillas en el suelo son: el ajuste y mantenimiento adecuado de los mecanismos dosificadores mecánicos, a los efectos de disminuir el daño a la semilla, y la siembra con bajas velocidades de trabajo. La inversión en tecnologías de avanzada para buscar una mejor precisión en la siembra, sin la toma de conciencia en la importancia de éstos factores, llevará a incurrir en gastos que difícilmente puedan ser retribuidos con una mejora en la producción.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó en el marco del Proyecto UBACyT G438.

BIBLIOGRAFÍA

- AMADO, M.; M.C. TOURN y H. ROSATTO. 2005. Efecto de la velocidad de avance sobre la uniformidad de distribución y emergencia de maíz. *Avances en ingeniería agrícola 2003 – 2005*. VIII Congreso Argentino de Ingeniería Rural. Villa de Merlo, San Luís. 77-81 ISBN 987-05-0140-0
- ANDRADE, F. and E. ABBATE. 2005. Response of maize and soybean to variability in stand uniformity. *Agronomy Journal* 97: 1263-1269.
- BAHRANI, M.J.; M.H. RAUFAT and H. GHADIRI. 2007. Influence of wheat residue management on irrigated corn grain production in a reduced tillage system. *Soil & Tillage Research* 94: 305-309.
- BAKER, C.J.; K.E. SAXTON and W.R. RITCHE. 2002. Chapter 7, Seed metering and placement. *In: No-Tillage Seeding, Science and Practice*. CAB International. Wallingford, United Kingdom. ISBN: 0 85199 103 3. p 98-99.
- BARMINGTON, R.D. 1948. The relation of seed, cell size, and speed to beet planter performance. *Agr. Eng.* 29: 530-532.
- BATEMAN, H.P. 1972. Planter metering, soil and plant factors affecting corn ear populations. *Trans. of the ASAE* 15(6): 1013-1020.
- BERNACKI, H.; J. HAMAN and CZ. KANAFOJSKI. 1972. Drill seed tubes. *In: Agricultural machines, theory and construction*. Vol. 1. Warsaw, Poland. 654- 656.
- BILBRO, J.D. and D.F. WANJURA. 1982. Soil crusts and cotton emergence relationships. *Trans. of the ASAE* 25(6): 1484-1487.
- BOTTA, G.; D. JORAJURIA; H. ROSATTO and C. FERRERO. 2006. Light tractor traffic frequency on soil compaction in the Rolling Pampa region of Argentina. *Soil & Tillage Research* 86: 9-14.
- BOYDAS, M.G. and N. TURGUT. 2007. Effect of vibration, roller design, and seed rates on the seed flow evenness of a studded feed roller. *Applied Engineering in Agriculture* 23(4): 413-418.
- BOZDOGAN, A.M. 2008. Seeding uniformity for vacuum precision seeders. *Sci. Agric.* 65(3): 318-322.
- BRAGACHINI, M.; A. VON MARTINI; A. MÉNDEZ y R. BONGIOVANNI. 2002a. Avances en la agricultura de precisión en Argentina. Tercer taller internacional de agricultura de precisión del cono sur de América. Carlos Paz, Córdoba. 7 pp.
- BRAGACHINI, M.; A. VON MARTINI; A. MÉNDEZ; F. PACIONI y M. ALFARO. 2002b. Siembra de maíz, eficiencia de implantación y su efecto sobre la producción de grano. Tercer Taller Internacional de Agricultura de Precisión del Cono Sur de América, 17-19 diciembre 2002, Carlos Paz, Córdoba, Argentina. 9 pp.
- BRAGACHINI, M.; A. MÉNDEZ; F. SCARAMUZZA; J.P. VÉLEZ y D. VILLARROEL. 2009. Impacto económico de la siembra de maíz a alta velocidad. *En: Actas del X Congreso de Ingeniería Rural y II del MERCOSUR*. 1ra ed. UNR Editora. p 64-68 (en CD-ROM) ISBN 978-950-673-748-1.
- BREECE H.E.; H.V. HANSEN y T.A. HOEMER. 1992. Sembradoras en hileras. *En: Fundamentos de funcionamiento de maquinaria: Siembra*. Deere & Co, Moline, Illinois. EE.UU. pp 18-91.
- BUFTON, L.P.; P. RICHARDSON and M.J. O'DOHERTY. 1974. Seed displacement after impact on a soil surface. *Journal of Agricultural Engineering Research* 19: 327-338.
- CELIK, A.; I. OZTURK and T.R. WAY. 2007. Effects of various planters on emergence and seed distribution uniformity of sunflower. *Applied Engineering in Agriculture* 23(1): 57-61.
- CHAUDHURI, D. 2001. Performance Evaluation of Various Types of Furrow Openers on Seed Drills. A Review. *Journal Agriculture Engineer Research* 79(2): 125-137.
- CHEN Y.; S. TESSIER and B. IRVINE. 2004. Drill and crop performances as affected by different drill configurations for no-till seeding. *Soil and Tillage Research* 77: 147-155.
- DE SIMONE, M.E y A. GODOY. 2008. Calidad de implantación de maíz y poroto en relación al diseño y regulación de la sembradora. Ensayo presentado por INTA – PRECOP. [En línea] [Consulta: 11 de abril de 2009] <<http://www.cosechaypostcosecha.org/data/ensayos/2008/CalidadImplementacionMaizyPorotoenRelacionASembradora.pdf>>
- DELAFOSSER. 1986. Máquinas sembradoras de grano grueso. Santiago, Chile; Oficina Regional de la FAO Para América Latina y el Caribe Santiago, Chile. 48 pp.
- DOS SANTOS S.R.; J.O. PEREIRA; P. WEIRICH NETO e E. FEY. 2003. Espaço livre entre orifícios de discos dosadores e sementes de milho na eficiência de semeadura. *Eng. Agríc.* 23(2): 300-308.
- ENDRERUD, H.C. 1999. Influence of tube configuration on seed delivery to a coulter. *Journal Agriculture Engineer Research* 74: 177-184.

- ERBACH, D.C.; R.M. CRUSE; T.M. CROSBIE; D.R. TIMMONS; T.C. KASPAR and K.N. POTTER. 1986. Maize response to tillage-induced soil conditions. *Trans. ASAE* 29: 690-695.
- FALLAHI, S. and M.H. RAOUFAT. 2008. Row-crop planter attachments in a conservation tillage system: A comparative study. *Soil & Tillage Research* 98: 27-34.
- FEY K. e E. FEY. 2001. Efeito do espasamento entre linhas e da populacao de plantas no rendimento de milho (*Zea mays* L). XXX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (CONBEA 2001). Faz do Iguagu. Paraná. Brasil
- FORNSTROM, K. and S.D. MILLER. 1989. Comparison of sugar beet planters and planting depth with two sugar beet varieties. *Journal of America of Sugar Beet Technologist* 26(3-4): 10-16.
- GARCIA, L.C.; R. JASPER; M. JASPER; A.J. FORNARI; e J. BLUM. 2006. Influência da velocidade de deslocamento na sementeira do milho. *Eng. Agríc.* 26(2): 520-527.
- HATFIELD, J. 2000. Precision agriculture an environmental quality: Challenges for research and education. National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service, USDA, Ames. Iowa. Disponible en: <http://www.arborday.org/programs/Papers/PrecisAg.PDF>
- HEEGE, H.J. 1993. Seeding methods performance for cereals, rape, and beans. *Trans. ASAE* 36(3): 653-661
- ISO. 1984 Sowing Equipment. Test methods. Part I: Single seed drills (Precision Drills), 7265/1. International Organization for Standardizations. Geneva, Switzerland.
- ISTA. 2006. International Rules of Seed Testing. Zürich, Switzerland. 153 pp.
- JASPER, R.; U. JANSZEN; M. JASPER e L.C. GARCIA. 2006a. Distribuição longitudinal e germinação de sementes de milho com emprego de tratamento fitossanitário e grafite. *Eng. Agríc.* 26(1): 292-299.
- JASPER, R.; M. JASPER e L.C. GARCIA. 2006b. Seleção de sementes de milho durante a simulação da sementeira com disco perfurado horizontal. *Eng. Agríc.* 26(2): 434-441.
- KACHMAN, S.D. and J.A. SMITH. 1995. Alternative measures of accuracy in plant spacing for planters using single seed metering. *Trans. ASAE* 38(2): 379-387.
- KARAYEL, D. 2009. Performance of a modified precision vacuum seeder for no-till sowing of maize and soybean. *Soil and Tillage Research* 104(1): 121-125.
- KARAYEL, D. and A. ÖZMERZI. 2007. Comparison of vertical and lateral seed distribution of furrow openers using a new criterion. *Soil and Tillage Research* 95: 69-75.
- KARAYEL, D. and A. ÖZMERZI. 2002. Effect of tillage methods on sowing uniformity of maize. *Canadian Biosystems Engineering* 44: 23-26.
- KEPNER, R.A.; R. BAINER and E.L. BARGER. 1982. Crop planting. In: Principles of farm machinery. 3rd Edition. AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut. USA. p 209-236.
- KLENIN, N.I.; I.F. POPOV and V.A. SAKUM. 1986a. Filling of disk feeder cells. Chapter 11: Sowing and planting operations. In: Agricultural Machines: Theory of operations, computation of controlling parameters and the conditions of operation. (ed.) A.A. Balkema/Rotterdam. p 136-139.
- KLENIN, N.I.; I.F. POPOV and V.A. SAKUM. 1986b. Seed drill tubes and their influence on sowing. Chapter 11: Sowing and planting operations. In: Agricultural Machines: Theory of operations, computation of controlling parameters and the conditions of operation. Ed. A.A. Balkema/Rotterdam. p 147-149.
- KUSHWAHA R.L.; V.S. VAISHNAV and C.C. ZOERB. 1986. Soil bin evaluation of disc coulters under no till crop residue conditions. Transactions of the ASAE 29(1): 40-44.
- LAUER, J.G. and M. RANKIN. 2004. Corn response to within row plant spacing variation. *Agron. J.* 96: 1464-1468
- LIU, W.; M. TOLLENAAR; G. STEWART and W. DEEN. 2004a. Response of corn grain yield to spatial and temporal variability in emergence. *Crop. Sci.* 44: 847-854.
- LIU, W.; M. TOLLENAAR; G. STEWART and W. DEEN. 2004b. Within-row plant spacing variability does not affect corn yield. *Agron. J.* 96: 275-280.
- LIU, W.; M. TOLLENAAR; G. STEWART and W. DEEN. 2004c. Impact of planter type, planting speed, and tillage on stand uniformity and yield of corn. *Agronomy Journal* 96: 1668-1672.
- MADDONNI, G.A.; M.E. OTEGUI and A.G. CIRILO. 2001. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize architecture and light attenuation. *Field Crops Res.* 71: 183-193.

- MALEKI, M.R.; H. RAMONA; J. DE BAERDEMAEKER and A.M. MOUAZENC. 2008. A study on the time response of a soil sensor-based variable rate granular fertiliser applicator. *Biosystems engineering* 100: 160-166.
- MALEKI, M.R.; J.F. JARAFI; M.H. RAUFAT; A.M. MOUAZEN and J. DE BAERDEMAEKER. 2006. Evaluation of seed distribution uniformity of a multi-flight auger as a grain drill metering device. *Biosystems Engineering* 94(4): 535-543.
- MANGAS, P.; J.M. RESSIA; G. MENDIVIL y R.H. BALBUENA. 2009. Uniformidad en el establecimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en distintos sistemas de labranza. *En: Actas del X Congreso de Ingeniería Rural y II del MERCOSUR. Ira (ed.) UNR Editora. p 664-671 (en CD-ROM) ISBN 978-950-673-748-1.*
- MARONI J. y R. MEDERA. 1990. Siembra de precisión en soja. Resúmenes del I Congreso Argentino de Ingeniería Rural. UADE. Buenos Aires. 8 pp.
- MARONI, J.; A. GARGICEVICH Y C. GONZÁLES. 2001. Comportamiento de las sembradoras para maíz de la región maicera argentina. VII Congreso Nacional de Maíz. Pergamino, Buenos Aires, Argentina.
- MARQUES DA SILVA, J.T. and J.M.C.N. SOARES. 2000. Description standards of primary tillage implements. *Soil and Tillage Research* 57: 173-176.
- MELLO, A.J.R.; C.E.A. FURLANI; R.P. SILVA; A. LOPES e E.A. BORSATTO. 2007. Produtividade de híbridos de milho em função da velocidade de semeadura. *Engenharia Agrícola* 27(2): 479-486. ISSN 0100-6916.
- MORRISON, J.E. and T.J. GERIK. 1985. Planter depth control: II. Empirical testing and planter responses. *Trans. of the ASAE* 28(6): 1744-1748.
- NAFZIGER, E.D.; P.R. CARTER and E.E. GRAHAM. 1991. Response of corn to uneven emergence. *Crop. Sci.* 31: 811-815.
- NIELSEN R.L. 1993. Stand establishment variability in corn. AGRY-91-01 Agronomy Department. Purdue University, Indiana, USA. 7 pp.
- ÖZMERZI, A.; D. KARAYEL and M. TOPAKI. 2002. Effect of sowing depth on precision seeder uniformity. *Biosystems Engineering* 82(2): 227-230.
- PRADO, R.M.; J.M. TORRES; G.M. ROQUE e O. COAN. 2001. Semente de milho sob compressão do solo e profundidade de semeadura: Influência no índice de velocidade de emergência. *Scientia Agrária* 2(1): 45-49.
- RAOUFAT M.H. and R.A. MAHMOODIEH. 2005. Stand establishment responses of maize to seedbed residue, seed drill coulters and primary tillage systems. *Biosystems Engineering* 90(3): 261-269.
- ROSOLEM; C.A.; E.M. FERNADEZ; M. ANDEREOTTI e C.A. COSTA CRUCIOL. 1999. Crecimiento radicular de plántulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. *Pesq. Agropec. Bras.* 34(5): 821-828.
- SANAVI SHIRI, N. and M.H. RAOUFAT. 2006. Comparative performance of four planter forrow opener and row cleaner arrangements in a conservation tillage corn production system. *Iran Agricultural Research* 24(2): 53-66.
- SATORRE, E.H.; R.L. BENECH ARNOLD; G.A. SLAFER; E.B. DE LA FUENTE; D.J. MIRALLES; M.E. OTEGUI y R. SAVÍN. 2004. Distancia entre hileras y arreglo espacial. *En: Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. (ed.) Facultad de Agronomía UBA. Buenos Aires. p. 305-309.*
- SMITH, H.P. 1967. Máquinas sembradoras. *En: Maquinaria y equipo agrícola. Ed. Omega. Barcelona, España. p 207.*
- SRIVASTAVA, A.; G.E. GOERING and R.P. ROTIRBAD. 1993. Engineering principles of agricultural machines. (ed.) American Society of Agricultural Engineers. 601 pp.
- STAGGENBORG, S.A.; R.K. TAYLOR and L.D. MADDUX. 2004. Effect of planter speed and seed firmers on corn stand establishment. *Applied Engineering in Agriculture* 20(5): 573-580.
- TESOURO, M.O.; A. ROMITO; L.B. DONATO; N. GONZÁLEZ; J. ELISEI; D. PAREDES y M. ROBA. 2009. Evaluación de las características de la siembra de maíz en el área de influencia de la EEA Pergamino (Buenos Aires). *En: Actas del X Congreso de Ingeniería Rural y II del MERCOSUR. Ira Ed. UNR Editora. p 263-271 (en CD-ROM) ISBN 978-950-673-748-1.*
- TICE, E.M. and J.G. HENDRICK. 1992. Disc coulters operating characteristics. *Transactions of the ASAE* 35(1):3-10
- TOURN, M. 2005. La dosificación por expulsión forzada y el daño a la semilla de trigo y soja: un análisis de las causas que lo originan. Tesis para optar al grado de *Magister Scientiae* en Ingeniería Rural con mención en el área de Mecanización Agraria. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata. 92 pp.
- TOURN, M; G. BOTTA y E. SOZA. 2006. La dosificación por expulsión forzada y el daño a la semilla: una revisión. *Revista de la Facultad de Agronomía UBA.* 26(3): 251-261.
- TOURN, M.; L. LARROSA; E. SOZA y J. SMITH. 1996. Cuantificación de la eficiencia de implantación en la siembra directa de maíz (*Zea mays* L.). Memorias del IV Congreso Argentino y II Internacional de Ingeniería Rural. Neuquén, Argentina. 165-168.

- TOURN, M.; E. SOZA; G. BOTTA and A. METE. 2003. Direct corn seeding. Effect of residue clearance on implant efficiency. *Span. J. Agricult. Res.* 1
- TSCHIEDEL, M. e M.F. FERREIRA. 2002. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. *Ciência Rural* 32(1): 159-163. ISSN 0103-8478.
- VALENTINUZ, O.; C.L. DI ORIO y S. CEBADA. 2007. Velocidad de siembra y desuniformidad espacial en dos híbridos de maíz. INTA EEA Paraná. Serie extensión N° 44.
- VETSCH, J.A. and G.W. RANDALL. 2000. Enhancing no-tillage systems for corn with starter fertilizers, row cleaners, and nitrogen placement methods. *Agron. J.* 92: 309-315.
- WANJURA, D.F. and E.B. HUDSPETH. 1968. Metering and seed-pattern characteristics of a horizontal edge-drop plate planter. *Transactions of the ASAE* 11(4): 468-469.
- ZHANG, N.; M. WANG and N. WANG. 2002. Precision agriculture: a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture* 36: 113-132.