

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES



TRABAJO FINAL DE CARRERA

“Uniformidad de siembra en maíz. Incidencia de la velocidad de siembra en diferentes sistemas dosificadores”

Alumno: Rotundo, Juan Ignacio

DNI: 34790893

Legajo: 26217/7

Correo electrónico: juanignaciorotundo@gmail.com

Tel: 02344-15476879

Director: Ing. Agr. Mur, Matilde

Co-director: Ing. Agr. Balbuena, Roberto

Lugar de trabajo: Mecanización Agraria

Fecha de presentación: 03/11/2016

RESUMEN	2
INTRODUCCIÓN.....	3
ANTECEDENTES	7
HIPÓTESIS	11
OBJETIVOS	12
Generales	12
Específicos	12
Operacionales.....	12
MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
Características del sitio.....	13
Características del procedimiento experimental	13
Equipos de siembra	15
Índices evaluados	19
Características del diseño estadístico.....	20
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
Índice de semillas aceptablemente sembradas	21
Índice de Entregas múltiples o Duplicaciones	24
Índice de Fallas totales (%)	27
Desvío estándar	32
Coeficiente de variación o índice de precisión.....	34
Profundidad	35
CONCLUSIONES.....	38
BIBLIOGRAFÍA.....	39

RESUMEN

El maíz (*Zea Mays* L.), es un cereal de gran importancia a nivel económico y alimenticio mundial. Los mayores rendimientos se consiguen a través de la utilización de nuevas prácticas de manejo, acompañadas por el aumento en el uso de agroquímicos e híbridos modificados genéticamente. La operación de siembra representa uno de los puntos críticos en la producción, ya que resulta de un cultivo poco prolífico, que no posee mecanismos de compensación efectivos ante disminuciones en el stand de plantas, por lo tanto el rango de densidad óptimo es muy estrecho, no tolerando fallas durante su desarrollo. La falta de entrega y la entrega múltiple afectan el stand de plantas logradas. Estos dos factores son asociados a problemas de carga de alveolos. La dispersión de la distancia entre semillas no afecta al stand de plantas, pero si esta afecta a la homogeneidad con la que el cultivo enfrenta su desarrollo y la utilización de los recursos. Con el objetivo de determinar las variables que afectan el stand de plantas, se condujo un ensayo en el que se evaluaron dos sistemas dosificadores, mecánicos y neumáticos y dentro de cada uno de ellos dos sistemas diferentes. Para los neumáticos se utilizó uno por succión y otro por soplado y en los mecánicos uno inclinado y otro horizontal. Ambos sistemas afectados a dos velocidades, 6 km/h y 9 km/h, con el objetivo de determinar la incidencia de esta en el grado de precisión de la siembra. Las prestaciones de un dosificador en términos de uniformidad se evaluaron siguiendo la metodología que establece la Norma ISO 7256.

El porcentaje de semillas aceptablemente sembradas disminuyó, en los cuatro ensayos, conforme aumentó la velocidad. Esto asociado a un aumento en el número de fallas. En términos de uniformidad de entrega de semillas se utilizó el desvío estándar como medida de evaluación, encontrando una relación directa con la velocidad, ya que la dispersión aumentó cuando esta se vio aumentada. Para ambas variables los resultados fueron independientes del sistema de dosificación.

Con relación a la profundidad se encontraron resultados diferentes, para el dosificador mecánico de placa horizontal existió una relación directa entre la desuniformidad y la velocidad, no así para el dosificador neumático por succión.

INTRODUCCIÓN

La producción de cultivos de grano tiene un papel preponderante en la actividad agrícola mundial. Los cultivos de cereales y oleaginosos ocupan la mayor parte de la superficie sembrada en las áreas más productivas del mundo. Entre los cereales, se destaca el cultivo de maíz (*Zea mays L.*) como uno de los más importantes a nivel mundial, con una producción de 1038.280.000 de toneladas (FAOSTAT Date, CET 2016), teniendo distintos usos como alimentos para ganado vacuno, ganado lechero, pollos, cerdos, molienda húmeda, molienda seca, etanol, biogás y biomateriales entre otros (Satorre et al., 2003).

El consumo de maíz viene incrementándose aceleradamente. El rápido crecimiento de la industria de etanol en Estados Unidos, la evolución de los países asiáticos, la recuperación de la industria aviar, los nuevos mercados y el aumento de la población son algunas de las razones que han llevado a que el consumo mundial de maíz crezca más de un 35% durante la última década (Portal FyO, 2013).

En la República Argentina, el cultivo alcanzó las 39.733.624 tn en la campaña 2015/16, realizándose el 72% bajo el sistema de siembra directa. Esta producción se correspondió con una superficie cosechada de 5.333.678 ha y, por lo tanto, un rendimiento promedio de 7.450 kg ha⁻¹(MAGyP, 2016).

El incremento de los rendimientos logrados por la agricultura moderna es producto de la evolución conjunta de las prácticas de manejo, del uso de agroquímicos y de la genética utilizada. En este contexto, la operación de siembra tiene un papel trascendental, que no solo implica la optimización de la semilla como insumo, sino que conlleva al logro de un stand de plantas planificado y distribuido uniformemente y con un estado de desarrollo homogéneo que tendrá influencia decisiva en la expresión del potencial de rendimiento y en la minimización de los problemas al realizar otro tipo de labores (D'Amico et al., 2007). En este contexto, la máquina sembradora cobra una gran importancia, dados los requerimientos de uniformidad en la distribución de las semillas, del cultivo de maíz.

En este sentido, Baumer (1999) define las sembradoras utilizadas en la siembra de maíz como sembradoras de precisión, también denominadas mono-grano, en relación con el tratamiento individual que realiza el mecanismo dosificador sobre los granos.

El mercado argentino de máquinas sembradoras alcanzó una cifra record en el año 2003 de 4903 unidades, con una inversión de aproximadamente 125 millones de dólares. A partir de

allí, con oscilaciones, las ventas variaron entre 2700 y 4300 máquinas anuales, llegando al año 2012 con un total de 3215 máquinas vendidas (CAFMA, 2012), estimándose la inversión en el orden de \$207.000.000, cuando se suma el sector agropartista, producto del crecimiento del valor por unidad debido al aumento en el ancho de labor (Bragachini et. al, 2012).

Los factores que afectan esta tendencia en la venta de sembradoras son varios, pudiendo mencionarse en orden de importancia el cambio de sistema de labranza, el aumento del área sembrada, la necesidad de fertilización y el avance del doble cultivo.

En nuestro país, predomina la venta de sembradoras mono-grano con distribuidor mecánico de placa horizontal, teniendo muy buena aceptación también el de placa inclinada por su buen tratamiento de las semillas. El análisis de las tendencias mundiales y nacionales indica que, en un futuro cercano, el mercado tenderá hacia una mayor incorporación de sistemas de asistencia neumática, tanto para el transporte como para la dosificación de la semilla (Bragachini et. al, 2012).

Los distribuidores neumáticos presentan en general una mejor distribución de semillas irregulares o poco calibradas, con lo que cobra mayor importancia frente a los mecánicos para el cultivo de maíz. El hecho de poder sembrar todos los calibres con una sola placa facilita la puesta a punto de la máquina sembradora. A su vez, toleran una mayor velocidad de siembra que los mecánicos, sin provocar fallas por falta de carga de alvéolos de la placa (Bragachini et. al, 2003).

Una adecuada labor de siembra se define como aquella donde la diferencia entre la cantidad de plantas posibles de obtener y las emergidas es mínima, la separación entre ellas es uniforme y el tiempo transcurrido para emerger es el mínimo para el conjunto de la población (Maroni & Gargicevich, 1998). Maroni et al, (2004) aseguran que el logro de una adecuada población, bien distribuida, está asociado a la capacidad del dosificador de la máquina sembradora para entregar las semillas una por una.

En teoría, Karayel & Özmerzi (2002), aseguran que las sembradoras de precisión ubican las semillas en los lugares requeridos otorgando a cada semilla una adecuada superficie. Sin embargo, las prestaciones de este tipo de sembradoras, en términos de calidad de distribución, son afectadas por diversos factores entre los cuales D'Amico et al., (2011) citan la velocidad de siembra, el mantenimiento y operación de la máquina, el régimen de giro de la placa de siembra, el nivel de vacío en sembradoras neumáticas, el tamaño y forma de los

alvéolos, la agresividad del enrasado, la altura de descarga de la semilla respecto del fondo del surco, la geometría del tubo de bajada, los tratamientos sobre la superficie de la semilla, la uniformidad de la semilla, y el tipo de abre surco.

Dentro de los aspectos de mecanización que afectan la variabilidad en la ubicación de la semilla se pueden citar la falta de entrega y la entrega múltiple, ambos asociados a problemas de carga de alveolos, mientras que la dispersión de las distancias entre semillas, dentro del rango de 0,5 a 1,5 veces la distancia de referencia, indican el grado de precisión en la distribución de la semilla (Norma ISO 7256).

Las fallas en los estadios de emergencia e implantación del cultivo afectan en forma importante el rendimiento potencial de los cultivos, dentro de los cuales el maíz, junto al girasol, es el que presenta mayor sensibilidad. Esta sensibilidad se debe a que la eficiencia en la utilización de los recursos está inversamente relacionada con la variabilidad de tamaño entre plantas o la variación de la tasa de crecimiento por planta, ya que la ganancia de los individuos dominantes no compensa las pérdidas de los dominados (Hoekstra et al., 1985). En la actualidad, los híbridos modernos (poco prolíficos), no poseen mecanismos de compensación efectivos ante disminuciones en el stand de plantas por lo que el rango de densidad óptimo es muy estrecho, no tolerando fallas en estos estadios.

La uniformidad de distribución no solo implica el distanciamiento superficial entre semillas obtenidas mediante el proceso de siembra, sino que también debe tenerse en cuenta la variación en la profundidad de la 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 para la germinación y emergencia, puede llevar a la desuniformidad en la emergencia tanto espacial como temporal.

De acuerdo a Bragachini et al., (2002), para lograr una buena implantación del cultivo, la profundidad de siembra no debería ser menor a 2,5 cm ni superar los 5 cm, de esta forma el coleoptile se encuentra por debajo de la superficie, preservando el punto de crecimiento de las heladas tardías y permitiendo el desarrollo adecuado de las raíces nodales, evitando el riesgo de que la semilla no tenga suficiente energía para la emergencia exitosa.

Kachman & Smith (1995) aseguran que la uniformidad de distribución de plantas será diferente de la uniformidad de distribución de semillas debido a que no todas las semillas se convierten en plantas y muchos de los factores que condicionan esta diferencia no son

explicados por las prestaciones de la sembradora en términos de distribución . Dentro de estos, Lauer & Rankin (2004) incluyen la calidad de la semilla, el efecto de enfermedades y plagas y la calidad del ambiente para favorecer una rápida emergencia y establecimiento del cultivo.

ANTECEDENTES

Numerosos estudios desarrollados indican la existencia de relación entre el rendimiento del cultivo y la variabilidad en el distanciamiento entre semillas. No obstante ello, las causas de los efectos sobre el rendimiento no están suficientemente claras. Varios estudios han demostrado una reducción en el rendimiento del maíz asociada a la variabilidad espacial entre plantas (Krall et al., 1977; Vanderlip et al., 1988; Nielsen, 2001). Sin embargo, otros estudios indican que la variabilidad comúnmente encontrada en los campos productivos comerciales no afecta el rendimiento del maíz, si la población es la adecuada (Erbach et al., 1972; Liu et al., 2004).

En contraste, una emergencia desuniforme, habitualmente causa mermas en el rendimiento, según Carter & Nafziger (1989). La desuniformidad en la emergencia es un problema que puede atribuirse en parte a la desuniformidad en la profundidad de labor, aspecto que puede verse incrementado en nuestro país por la predominancia del sistema de siembra directa, por las irregularidades generadas por los residuos a nivel superficial.

De acuerdo con Katchman & Smith (1995), hay seis parámetros para cuantificar las diferencias entre operaciones de siembra; estas son la media, la desviación estándar, el índice de entregas múltiples, el índice de fallas, el índice de calidad de alimentación y el índice de precisión. La media y el desvío estándar son indicadores combinados del desempeño de la siembra y el suelo, los restantes cuatro han sido definidos por la Organización Internacional de Normalización como parámetros evaluadores del desempeño de la maquina sembradora. El coeficiente de variación se obtiene del cociente entre el desvío estándar de los distanciamientos correctos y el distanciamiento medio de referencia. Estos autores reportan como límite teórico superior valores de hasta 50%, considerando aquellos superiores a 29% como sospechosos de una incorrecta dosificación.

Nielsen (2001), mediante la utilización del desvío estándar como medida de dispersión de la uniformidad de distribución en plantas de maíz, luego de 9 años de estudios, concluyó para el Estado de Indiana-EE.UU. que por cada cm de desvío estándar por encima de 5, se pierden 62 kg ha⁻¹ del rendimiento potencial del maíz.

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.

De Simone & Godoy (2008), realizaron ensayos comparando diferentes velocidades de siembra con una máquina de dosificación neumática y cuantificaron los efectos sobre el rendimiento del cultivo de maíz. Encontraron que al pasar de $1,94 \text{ ms}^{-1}$ a $2,5 \text{ ms}^{-1}$ (7 km h^{-1} a 9 km h^{-1}) se producía una disminución en el rendimiento del 2,3 % lo cual se correlacionó con un desvío estándar de la distribución de plantas sobre la línea de 0,0837 m. Los autores atribuyeron los mismos a la carga de los alvéolos del dosificador y a la dispersión de las semillas en el surco, producto de los rebotes en el fondo del surco.

Del mismo modo, Bragachini et al., (2002) muestran resultados que marcan similares tendencias de caída del rendimiento potencial frente a desuniformidad de implantación del maíz.

Liu et al., (2004) evaluaron los efectos de diferentes sistemas de siembra, dosificadores y velocidades de trabajo sobre la emergencia, el grado de precisión en la siembra y el rendimiento del cultivo de maíz. Como variable respuesta del grado de precisión tomaron la desviación estándar de la totalidad de las plantas emergidas, sin distinción de los factores que inciden sobre el mismo (fallas y duplicaciones). Trabajaron con una densidad poblacional de referencia de 71500 plha^{-1} y un distanciamiento entre líneas de 0,76 m, lo que determina una separación entre plantas de 0,184 m. Los autores reportaron con una desviación estándar de hasta 0,239 m, que representa un coeficiente de variación (CV) de 129,89%, se produce una pérdida de 174 Kg ha^{-1} por cada 0,01m que se incrementa el desvío por encima de un umbral de 0,165 m. En un análisis general, la desviación estándar se incrementó en promedio 0,5 cm por cada kilómetro de incremento en la velocidad de siembra, lo cual resulta similar a lo informado por Nielsen (1995). En relación a los sistemas dosificadores utilizados, los menores valores de desvíos se registraron para los dosificadores neumáticos, mientras que los peores fueron para aquellos mecanismos que no realizan un tratamiento individual de la semilla. Los resultados, además, sugieren que mayor atención debe prestarse a los mecanismos dosificadores cuando se trabaja en siembra directa de cultivos o con altas velocidades de desplazamiento.

D'ámico et al., (2007) trabajaron con tres velocidades de avance sobre un simulador funcional estático de siembra. Establecieron que el porcentaje de semillas aceptablemente sembradas disminuyó con el aumento de la velocidad, lo cual estuvo asociado con el incremento de las fallas.

Bragachini et al., (2002) en un ensayo realizado con una sembradora neumática bajo condiciones normales de producción y evaluando la respuesta del rendimiento a dos velocidades de siembra, determinaron que el desvío estándar (DE) fue de 0,077 m y de 0,124 m al pasar de $1,67 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (6 a 9 km/h), provocando una disminución del rendimiento de $660 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Estos mismos autores determinaron que el enrasador excesivamente agresivo provoca fallas, y un enrasador poco agresivo provoca duplicaciones, o sea dos causas que provocan aumento de la desuniformidad.

En el mismo ensayo se determinó que a medida que aumentamos la velocidad de siembra, disminuye la capacidad de la sembradora para distribuir uniformemente las semillas.

Bragachini et al., (2009) realizaron ensayos durante dos años consecutivos sembrando maíz a tres velocidades diferentes y utilizaron al Desvío Estándar como índice de variabilidad. La máxima variabilidad se obtuvo con la siembra a mayor velocidad como así también el menor rendimiento. El aumento del Desvío Estándar en promedio de los dos años fue de 0,06 m. por cada kilómetro incrementado en la velocidad de siembra. La pérdida de rendimiento fue de $0,119 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ por cada 0,01 m en el incremento del desvío estándar.

La forma geométrica de la semilla también ha sido motivo de investigación, Jasper et al., (2006) estudiaron si existe una relación de semillas de maíz por tamaño cuando se utiliza un dosificador mecánico de placa alveolada horizontal, lo cual generaría una alteración en la calidad de la distribución longitudinal. 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 al uso de semillas de forma “achatada”.

Para Valentinuz et al., (2007) 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.

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., (1972) proponen aumentar el número de alvéolos. Esto es así, dado que para una misma cantidad de semillas por metro de surco, una placa con mayor número de celdas permite una siembra más veloz que una placa con menos alvéolos, ya que la primera no debe dar tantas vueltas para sembrar la misma cantidad de semillas en una distancia dada.

Nafziger et al., (1991) mencionan también que las plantas emergidas antes son incapaces de compensar los rendimientos de las que lo hicieron más tarde. Los rendimientos se reducen un 5% cuando la mitad de la población de plantas sufre un atraso de 7 días en la emergencia y un 12% con el retraso es dos semanas (OMAFRA, 2002).

Entre otros factores que retrasan la emergencia del cultivo, Bateman (1972) concluye que por motivos de inapropiadas profundidades de siembra se podría ocasionar plantas que no generen una espiga, afectando así el rendimiento.

HIPÓTESIS

1. Existe una relación directa entre la velocidad de siembra y la desuniformidad espacial de las semillas.
2. Existe una relación directa entre la velocidad de siembra y la desuniformidad en la profundidad de siembra.
3. El aumento de la velocidad de siembra incrementa el número de fallas por falta de carga de los alvéolos independientemente del sistema de dosificación.

OBJETIVOS

Generales

- Propender a una mayor eficiencia y precisión en la siembra del cultivo de maíz

Específicos

- Valorar los efectos de la velocidad en diferentes sistemas dosificadores sobre la uniformidad espacial de las semillas de maíz.
- Valorar los efectos de la velocidad sobre la ubicación en profundidad de las semillas de maíz.
- Determinar la incidencia de la velocidad de siembra sobre la carga de alvéolos de los mecanismos dosificadores.

Operacionales

- Adquirir habilidades en la búsqueda e interpretación de bibliografía científica
- Manejar programas estadísticos de análisis de datos
- Obtener destreza en la elaboración de informes

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del sitio

El ensayo se realizó en 2 establecimientos agropecuarios ubicados en los partidos de Pila y de Saladillo, Provincia de Buenos Aires. Uno de los lotes presentaba un suelo *Argiudol Abruptico*, profundo, de aptitud agrícola, ubicado en un paisaje de lomas planas, en posición de media loma baja de la Sub Región Pampa Deprimida, algo pobremente drenado (INTA, Cartas de suelo, Serie Pila). En el establecimiento partido de Saladillo el suelo se caracterizó muy oscuro, profundo, de aptitud agrícola que se encuentra en un paisaje ondulado a suavemente ondulado de la Subregión Pampa Arenosa, ocupando la media loma baja, moderadamente bien drenado con pendiente de 0,5-1 % (INTA, Carta de suelo, Serie Saladillo).

Si bien las características de ambos suelos difieren en su pedogénesis, hay factores de manejo e historia de los lotes que acentúan estas diferencias. Entre los mismos podemos mencionar sistemas de laboreo, rotación de cultivos, cultivo antecesor y fertilidad, entre otros. Al momento del ensayo, el lote ubicado en el partido de Pila presentaba como cultivo antecesor soja, mientras que el lote de Saladillo venía de una rotación trigo/soja de segunda.

Características del procedimiento experimental

Se evaluaron dos sistemas de dosificación de semillas, mecánicos y neumáticos, como se detallan en la figura 1. Se realizaron dos tratamientos con cada una de las máquinas disponibles a partir de la selección de dos velocidades diferentes, cercanas a $1,67 \text{ m s}^{-1}$ y $2,5 \text{ m s}^{-1}$ (6 km h^{-1} a 9 km h^{-1}) en acuerdo con las características de escalonamiento de marchas de los tractores disponibles.

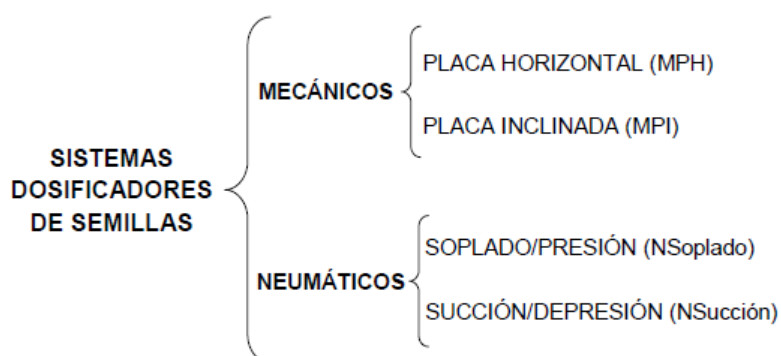


Figura 1. Sistemas dosificadores de semillas evaluados durante el ensayo y sus respectivas referencias.

De acuerdo a los calibres de semillas utilizados en cada sistema dosificador, se procedió a la elección de la placa sembradora, teniendo en cuenta que la semilla logre pasar libremente a través de los alveolos, sin quedar retenida en estos y que no se produzca una doble carga de los mismos, para los dosificadores mecánicos, y en el caso de los neumáticos asegurando la carga de una semilla por alveolo.

Las velocidades se determinaron a partir de la utilización de jalones y la marcación de una distancia de 30 metros, en la cual se tomó el tiempo insumido en su recorrido, al régimen nominal del motor. Con los datos obtenidos se realizaron los cálculos correspondientes, según la ecuación.

$$Velocidad = \frac{Distancia\ recorrida}{Tiempo}$$

Cada tratamiento conto con un total de 6 repeticiones, distribuidas al azar, donde se realizó la labor de siembra (Tabla 1).

Tabla 1. Tratamientos de velocidad de avance

<i>Tratamiento</i>	<i>Velocidad de avance</i>
1	6 km h ⁻¹ (1,67 m s ⁻¹)
2	9 km h ⁻¹ (2,5 m s ⁻¹)

El relevamiento de datos fue realizado sobre un cuerpo de la sembradora, sobre un surco de 10 metros de longitud, como muestran las figuras 2 y 3.

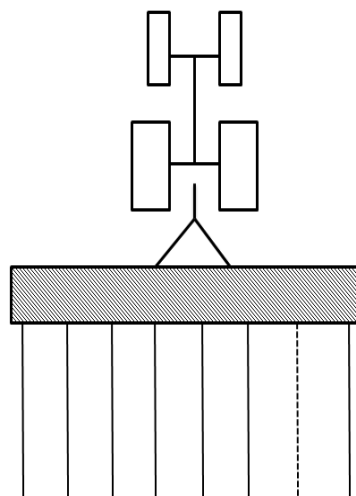


Figura 2. Esquema de muestreo del ensayo. La línea punteada indica el dosificador sobre el cual se relevaron los datos.

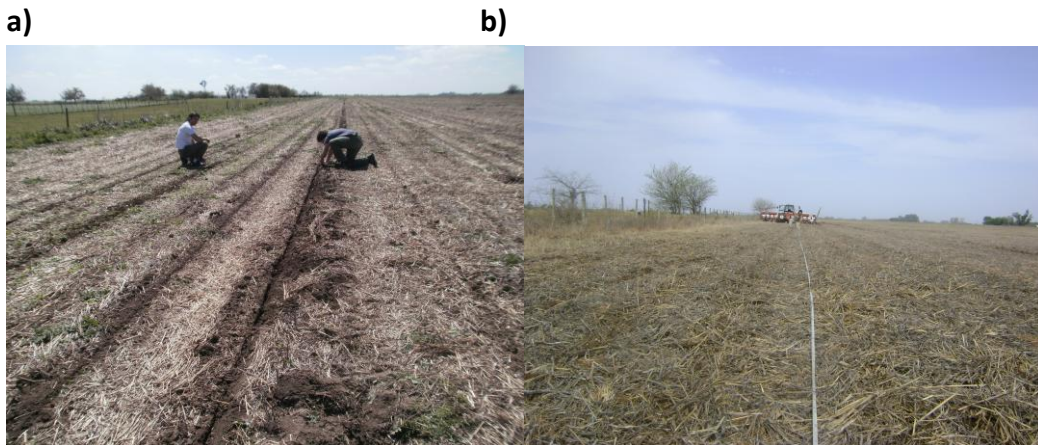


Figura3. Estado de los lotes al momento de la realización del ensayo. a) Establecimiento de Pila, evaluación de dosificador MPH a 6 km/h. b) Establecimiento de Saladillo, evaluación de dosificador MHI a 6 km/h.

Equipos de siembra

Para evaluar los distintos sistemas de dosificación se realizó el ensayo con la utilización de cuatro sembradoras, dos ellas con dosificadores neumáticos y dos con dosificadores mecánicos, a continuación las respectivas descripciones.

1) Sembradora Massey Ferguson modelo 614 y tractor Massey Ferguson modelo 650DT.

Características de la sembradora:

- Máquina sembradora de 10 líneas de siembras distanciadas a 0,70 m. Tolvas individuales para semilla de 80 litros cada una y dos módulos de tolvas para fertilizante de 1380 litros
- Sistema dosificador neumático por succión, de plano vertical, placa maicera de 245 mm. de diámetro y con una sola hilera de 32 alveolos de 4,5 mm de diámetro cada uno.
- Auto-trailer.

Características del tren de siembra:

- Cuchilla de corte de residuos y remoción turbo de 0,43 m (17") de diámetro
- Abresurcos de doble disco encontrado de 0,38 m (15") de diámetro.
- Tubo de descarga de semilla curvo, en sentido contrario al avance de la máquina.

- Doble rueda semineumática en balancín adosada al abresurcos para control de profundidad.
- Ruedas contactadoras de semillas.
- Tapasurco de doble rueda oblicua y lateral a la línea de siembra, acompañada de discos dentados.

Características del tractor:

- Diseño tractivo doble tracción o tracción asistida (FWA).
- Potencia del motor a régimen nominal de 150 HP.
- Rodado delantero 14.9-26".
- Rodado trasero 23.1-30".
- Peso máximo con lastre de 7736 kg.

Características de la semilla: Híbrido AX 882 HCL, Nidera. Calibre chato 2 medio

La sembradora cuenta con una caja de 58 cambios, seleccionándose el cambio número 10, que realiza una entrega de 4 semillas por metro lineal de surco, resultando así una densidad de referencia de 76923 semillash⁻¹ con la placa de 32 alveolos.

2) *Sembradora Gherardi modelo G-300 y tractor Zanello, modelo 230CC.*

Características de la sembradora:

- Sistema dosificador mecánico, de placa horizontal de 40 alveolos, con tubo de descarga Lateral.
- Autotrailer.
- Monotolva para semilla y fertilizante.
- 12 líneas a 0,525 m.

Características del tren de siembra:

- Cuchilla turbo
- Discos dobles abresurcos planos de 381mm de diámetro. Azadón interior.

- Doble rueda semineumática adosada a los abresurcos para control de profundidad.
- Ruedas contactadoras de semillas.
- Tapasurco de ruedas angulares con discos cóncavos dentados.

Características del tractor:

- Diseño tractivo convencional(2WD).
- Potencia del motor a régimen nominal de 130 HP.
- Rodado 18.4-34”.

Características de la semilla: Híbrido 8319 MGRR2, Advanta. Calibre redondo 2.

El cambio seleccionado ofrece una dosificación de 3,9 semillas por metro lineal, resultando en una densidad de referencia de 74286 semillash⁻¹. El cambio que otorga esta densidad es el número 6, con una placa de 40 alveolos, con un diámetro de 5,5 mm cada uno.

3) *Sembradora Apache modelo SMA-6100 y tractor Agco Allis modelo Ax 6.150.*

Características de la sembradora:

- Sistema dosificador mecánico de placa inclinada de 60 celdas con descarga lateral.
- Autotrailer.
- Tolvas individuales para semillas y monotolva para fertilizantes.

Características del tren de siembra:

- Discos dobles abresurcos.
- Doble rueda en balancín adosadas a discos abridores para control de profundidad.
- Ruedas contactadoras de semillas.
- Tapasurco de discos cóncavos dentados.

Características del tractor:

- Diseño tractivo doble tracción o tracción asistida (FWA).
- Potencia del motor a régimen nominal de 156 HP.
- Rodado delantero 16.9-28”.

- Rodado trasero 24.5-32”.

Características de la semilla: Híbrido DK747VT3, Dekalb. Calibre chato 2.

La elección de la densidad se logra a partir de la selección de engranajes, en este caso se escogió un engranaje de 50 dientes en el eje delantero y de 20 en el trasero (conducido y conductor respectivamente), otorgando así una cantidad de 4 semillas por metro lineal, resultando una densidad de 76923 semillasha⁻¹.

3) *Sembradora Bertini modelo 32000 y tractor Zanella 650.*

Características de la sembradora:

- Sistema dosificador neumático por soplado, con placa de policarbonato de 30 celdas, para tipo de semilla mediana.
- Monotolva para semillas y fertilizante.
- Autotrailer.

Características del tren de siembra:

- Cuchilla turbo
- Discos dobles abresurcos.
- Colas de castor compactadoras de semillas.
- Regulación de profundidad con ruedas laterales.
- Tapasurco de discos cóncavos dentados.

Características del tractor:

- Diseño tractivoarticulado, doble tracción (4WD).
- Potencia del motor a régimen nominal de 220 HP.
- Rodado 23.1-30”.

Características de la semilla: Híbrido SRM 56.20 MGRR2 Sursem. Calibre redondo.

Para la operación de siembra se escogió la marcha 2, que combina dos engranajes, uno conductor de 5 dientes y el conducido de 21 dientes, otorgando una dosificación de 4 semillas por metro lineal de surco, que nos da como resultado una densidad de referencia de 76923,08 semillas ha⁻¹.

Las prestaciones de los mecanismos dosificadores en términos de uniformidad de entrega y distribución, fueron evaluadas a través de la Norma ISO 7256, la cual establece la cuantificación del distanciamiento entre semillas vecinas de la misma línea de siembra. Las mediciones de la distancia entre semillas sucesivas se realizaron con una cinta métrica. Los datos relevados fueron cargados en una planilla de campo para su posterior procesamiento en acuerdo con lo establecido por la norma ISO 7256/1 tanto para la evaluación de la eficiencia de la carga de los dosificadores como de la uniformidad de distribución.

Índices evaluados

Los valores de los índices evaluados se obtienen siempre a partir de los datos recolectados sobre los 10 m de surco, es decir sobre la totalidad de semillas encontradas en la línea de siembra en esa longitud

- *Índice de semillas aceptablemente sembradas*: esta medida de uniformidad en la distribución de semillas es el porcentaje de semillas ubicadas en el surco a una distancia comprendida entre $0,5 X_{ref}$ y $1,5 X_{ref}$, en relación a la totalidad de semillas encontradas, siendo la distancia de referencia (X_{ref}) la separación teórica entre semillas.
- *Índice de Entregas múltiples o Duplicaciones*: es el porcentaje de semillas ubicadas en el surco a distancias menores a $0,5 X_{ref}$.
- *Índice de Fallas Totales*: es la suma en porcentaje de fallas simples y fallas dobles
 - *Índice de Fallas simples*: corresponde al porcentaje de semillas ubicadas a distancias superiores a $1,5 X_{ref}$.
 - *Índice de Fallas dobles*: corresponde al porcentaje de semillas ubicadas a distancias superiores a la $2,5 X_{ref}$.
- *Desvío estándar*: es la raíz cuadrada de la suma de todas las diferencias de cada uno de los valores de la variable respecto de la media, elevada al cuadrado, dividida la cantidad de valores. Es una medida de la dispersión de los valores medios.
- *Coeficiente de variación o índice de precisión*: se obtiene del cociente entre el desvío estándar de los distanciamientos correctos y el distanciamiento referencia.
- *Profundidad de siembra*: es la profundidad media a la cual se ubican las semillas. Tomando como límite superior la superficie del suelo, son los centímetros por debajo

de esta a los que se deposita la semilla. Si bien la profundidad no es un índice incluido en la norma, ya que no depende del sistema de dosificación, nos permite calificar la calidad de la labor realizada.

Características del diseño estadístico

Las condiciones en las que se evaluaron los sistemas dosificadores fueron diferentes, en lo que respecta a semillas, tractores, influyendo estos en variaciones entre las velocidades de labor y condiciones de campo, debido a esto la evaluación de los resultados se realizó por sistema de dosificación, no pudiendo realizar una comparación entre ellos.

Todos los resultados fueron analizados estadísticamente con el software estadístico InfoStat. Se realizaron Análisis de la varianza (ANVA), y test de comparación de medias Tukey (con nivel de significancia $P=0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Índice de semillas aceptablemente sembradas

En un análisis general de la variable semillas aceptablemente sembradas (figura 4), el dosificador Nsucción presentó para los dos tratamientos los menores valores, en tanto que, Nsoplado los mayores porcentajes y los distribuidores mecánicos comportamientos intermedios.

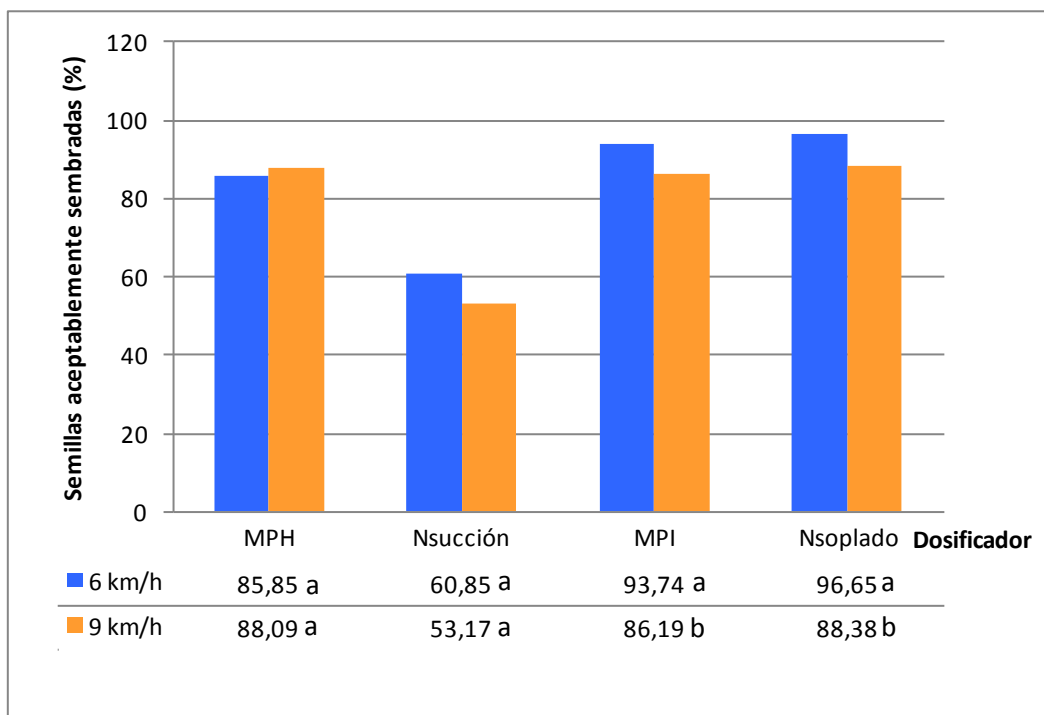


Figura 4. Índice de semillas aceptablemente sembradas (%) para cada dosificador a dos velocidades de siembra. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) según el test de Tukey entre tratamientos para cada dosificador.

Estos resultados se podrían atribuir a las ventajas que presenta el dosificador NSoplado, respecto de los demás distribuidores. El mismo, utiliza el principio de abastecimiento, mediante una turbina, de aire a presión sobre las semillas (aire en forma positiva) de modo que se adhieran a las canaletas de la placa, estos alveolos presentan ranuras que permiten la salida del aire y de este modo, la semilla queda en medio de una corriente de aire y sostenida en la celda. Los alvéolos se llenan por la propia gravedad de la semilla y la baja presión que hay dentro del distribuidor. Un cepillo enrasador peina y expulsa la semilla excedente que pudiera venir en algún alvéolo. Luego un cierre de flujo de aire acompaña a la

semilla que mecánicamente se desplaza hasta el punto de salida. Este sistema requiere, en general, de un menor flujo de aire que los de succión, ya que la semilla es sostenida dentro de una canaleta, permitiendo que semillas de igual forma y tamaño, aunque de distinto peso, sean mantenidas por la placa eficientemente. En la figura 5, se visualiza el distanciamiento aceptable entre dos semillas consecutivas para este dosificador. Contrariamente, en los sistemas neumáticos por succión el funcionamiento se basa en la depresión de aire que mantiene a la semilla pegada a los orificios. Este sistema es sensible al tamaño, peso y forma de la semilla, por lo que requiere de una buena depresión para evitar la caída de las mismas. Estas características, junto a las malas condiciones de mantenimiento que presentaba la máquina al momento del ensayo, permiten justificar el bajo porcentaje de semillas aceptablemente sembradas obtenido por el dosificador Nsucción respecto al de Nsoplado. El dosificador MPI se comportó de manera similar al dosificador Nsoplado, el mayor tamaño de los alveolos respecto a una placa horizontal, permite una mayor oportunidad de carga de la semilla en el alveolo, reduciendo los problemas de fallas. Asimismo, la posición inclinada de la placa actúa como enrasador del sistema reduciendo las posibilidades de producir duplicaciones, haciendo caer aquel grano que esté de más en el alveolo, siempre que la elección de la placa haya sido la correcta. No obstante esto, si bien el dosificador MPH presentó en promedio porcentajes menores que Nsoplado y MPI, los valores para este índice fueron aceptables, contribuyendo en estos resultados una adecuada selección placa para el calibre de semilla utilizado y un correcto funcionamiento de los sistemas enrasador y expulsor.

Independientemente del tratamiento, los porcentajes de semillas aceptablemente sembradas para los distribuidores MPH, MPI y Nsoplado superaron el 85%, mientras que el dosificador Nsucción, en el mejor de los casos, apenas alcanzó el 60%. Este último resultado indicaría que a 6 km/h, velocidad recomendada para una adecuada labor de siembra, el 40 % de las semillas entregadas se alejarían en +/- 50% del distanciamiento de referencia, pudiendo de esta manera verse afectado el rendimiento del cultivo, en acuerdo con lo citado por Krall et al. (1977), Vanderlip et al. (1988) y Nielsen (2001). Contrariamente, los dosificadores Nsoplado y MPI presentaron porcentajes superiores al 90% para la menor velocidad de avance y cercanos a este con la mayor velocidad, lo que sugiere una buena calidad de siembra, independientemente de la velocidad.

Analizando el comportamiento de los dosificadores para las dos velocidades de siembra, se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en los distribuidores MPI y NSoplado, en tanto que, MPH y Nsucción no presentaron diferencias significativas entre velocidades. El menor porcentaje de semillas aceptablemente sembradas conforme aumenta la velocidad para los dosificadores MPI y NSoplado fue el esperado, y podría deberse a un aumento en la velocidad de giro de las placas, provocando que la carga de los alveolos se realice en un menor tiempo y que la agresividad de los mecanismos enrasadores aumente, como así también los rebotes en los tubos de descarga. Estos factores, junto a las características intrínsecas de cada dosificador, provocarían dificultades en la correcta entrega de semillas. Mismos resultados obtuvieron Bragachini et al. (2002), donde aumentos en la velocidad imposibilitaron la entrega correcta de semillas. Del mismo modo, D'amico et al., (2007) asociaron el aumento de la velocidad de siembra con disminuciones en los valores de este índice.

Las disminuciones en los porcentajes de semillas aceptablemente sembradas conforme aumenta la velocidad de avance, estuvieron en el rango del 7,5 % al 8,3 % aproximadamente. Es decir que incrementos de la velocidad de siembra de 3 km/h generaron disminuciones en este índice del 8.3% para el dosificador Nsoplado y del 7,7% para Nsucción, en tanto que, el dosificador mecánico de placa inclinada la disminución fue del 7,5%. Sin embargo, no ocurrió lo mismo con el dosificador MPH donde la uniformidad mejoró un 2,25% con el incremento de la velocidad, sin ser la diferencia entre ambos tratamientos significativa. Esto nos permitiría inferir, independientemente de los valores obtenidos, que los dosificadores neumáticos son los más afectados ante incrementos en la velocidad de avance.



Figura 5. Evaluación de la uniformidad de distribución con el dosificador neumático por soplado a 9 km/h.

Índice de Entregas múltiples o Duplicaciones

En la figura 6 se visualizan los resultados del Índice de entregas múltiples para cada dosificador en función de las velocidades de avance. En un análisis general de esta variable, el dosificador Nsucción presentó los mayores porcentajes, siendo 1 de cada 4 semillas sembradas una duplicación, independientemente de la velocidad de siembra. En tanto que, los dosificadores MPI, MPH y Nsoplado, presentaron porcentajes significativamente inferiores, sin superar el 2,5 % en el tratamiento de 6 km/h y el 6% en 9 km/h. Estos resultados se podrían asociar, en parte, con los encontrados en la variable anterior, donde los bajos porcentajes de semillas aceptablemente sembradas del dosificador Nsucción se corresponderían con los altos porcentajes de duplicaciones encontrados. El comportamiento de dicho dosificador podría deberse a la ausencia o mal funcionamiento del gatillo enrasador y a la desuniformidad en el calibre de semillas utilizadas, lo que produce que dos granos de pequeño diámetro se adhieran al alveolo y el enrasador, al no estar debidamente regulado, no pueda sacar la semilla sobrante.

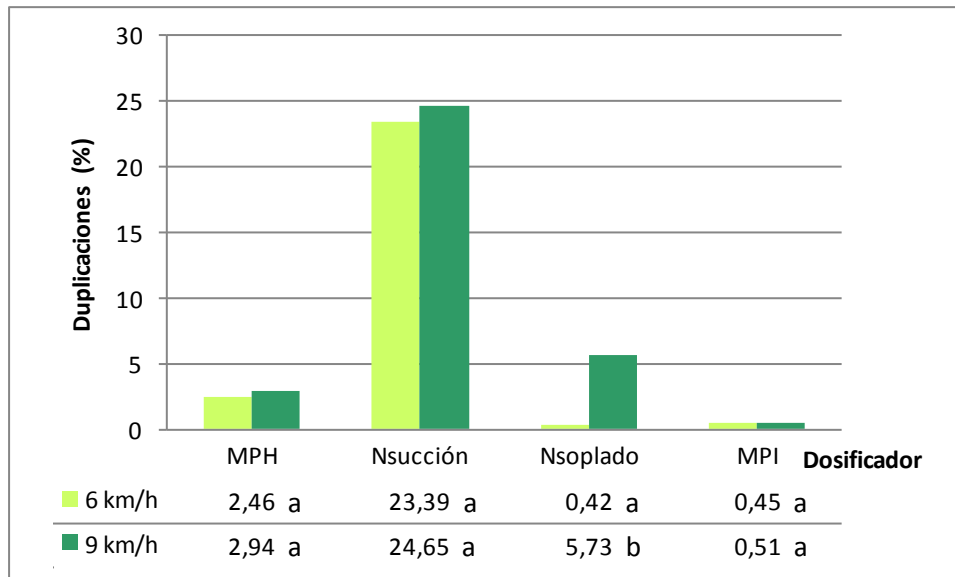
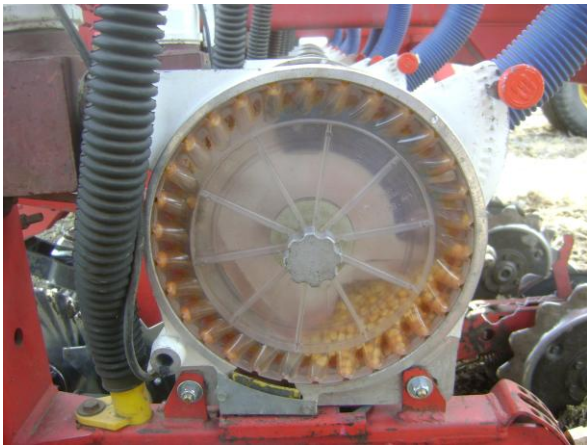


Figura 6. Índice de entregas múltiples (%) de cada dosificador, para 6 km/h y 9 km/h. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) según el test de Tukey entre tratamientos para cada dosificador.

Observando el comportamiento de los distribuidores, el sistema neumático por soplado fue el único que presentó diferencias significativas entre tratamientos (figura 7). No obstante esto, independientemente del tipo de dosificador, las sembradoras presentaron un patrón que no es el de esperar, con un mayor porcentaje de duplicaciones ante un incremento de la velocidad de avance, si bien en los dosificadores Nsucción, MPH y MPI las diferencias no fueron significativas. Según Bragachini et al., (2002), como fue mencionado anteriormente, sería esperable que las duplicaciones disminuyeran conforme aumenta la velocidad, ya que la carga de los alveolos se ve afectada por el aumento en el régimen de giro de la placa semillera y, de esta manera, la agresividad del enrasador. Los mayores incrementos en este índice se observaron en los dosificadores neumáticos, lo que demuestra que ante aumentos del 50% de la velocidad de avance, los distribuidores mecánicos presentarían mejor comportamiento que los neumáticos.

a)



b)



Figura 7. Carga con semillas de las celdas de los dosificadores neumáticos. a) Dosificador Nsoplado. b) Dosificador Nsucción

Como se mencionó anteriormente, los bajos porcentajes de semillas aceptablemente sembradas que presentó el dosificador Nsucción, se debieron en parte a los altos porcentajes de entregas múltiples que se encontraron para ambos tratamientos (figura 8). Estas duplicaciones, además de asociarlas a las dificultades que atraviesa la semilla desde su dosificación hasta el contacto con el suelo, debido a su elevado porcentaje, se asocia, por un lado a una incorrecta elección de placa que produce que se adhieran dos semillas a cada alveolo en vez de una e incluso a una inadecuada regulación de los mecanismos enrasadores. Del mismo modo, podríamos asociar la disminución en el número de semillas aceptablemente sembradas del dosificador Nsoplado con los aumentos de duplicaciones ante el incremento en la velocidad de avance debido principalmente a que los cepillos no alcanzan a meterse en los alveolos la sacar la semilla sobrante. Sin embargo, no podemos decir lo mismo con el dosificador MPH, donde los porcentajes de semillas aceptablemente sembradas fueron muy poco afectados por las duplicaciones, estando relacionados estos resultados con el calibre de semilla tipo redondo utilizado con este sistema dosificador. En este sentido, Jasper et al., (2006), determinaron que el uso de semillas con geometría “redondeada” en dosificadores mecánicos de placa alveolada horizontal resulta en menores valores de fallas o duplicaciones frente al uso de semillas de forma “achatada”. El dosificador MPI fue el que menor porcentaje de duplicaciones presentó, siendo insignificante el número de ellas. Esto nos permite inferir que si bien el porcentaje de semillas aceptablemente sembradas para este dosificador fue alto, las entregas múltiples no parecen ser el factor principal que afectó la disminución en el número de semillas aceptablemente sembradas

cuando la velocidad aumentó. Esto último permite confirmar que los incrementos de velocidad en dosificadores mecánicos de placa horizontal u oblicua no aumentan el índice de duplicaciones, lo cual resulta lógico, ya que la semilla presenta un tiempo menor para su alojamiento en los alveolos.



Figura 8.Entregas múltiples en la evaluación de la uniformidad de distribución de semillas con el dosificador neumático por succión a 6 km/h.

Índice de Fallas totales (%)

En la figura 9 se visualizan los resultados de la variable Índice de fallas totales para cada dosificador en función de las velocidades de siembra. Independientemente del tratamiento, el dosificador Nsucción presentó los mayores porcentajes, superiores al 15% en ambos tratamientos, lo que significa que independientemente de la velocidad de avance, por cada vuelta que da la placa se producen al menos 5 fallas. Por otra parte, el dosificador Nsoplado presentó los menores porcentajes en ambas velocidades de avance, en tanto que los dosificadores mecánicos tuvieron comportamientos intermedios, lo que no nos permite hacer una conclusión general de los sistemas de dosificación.

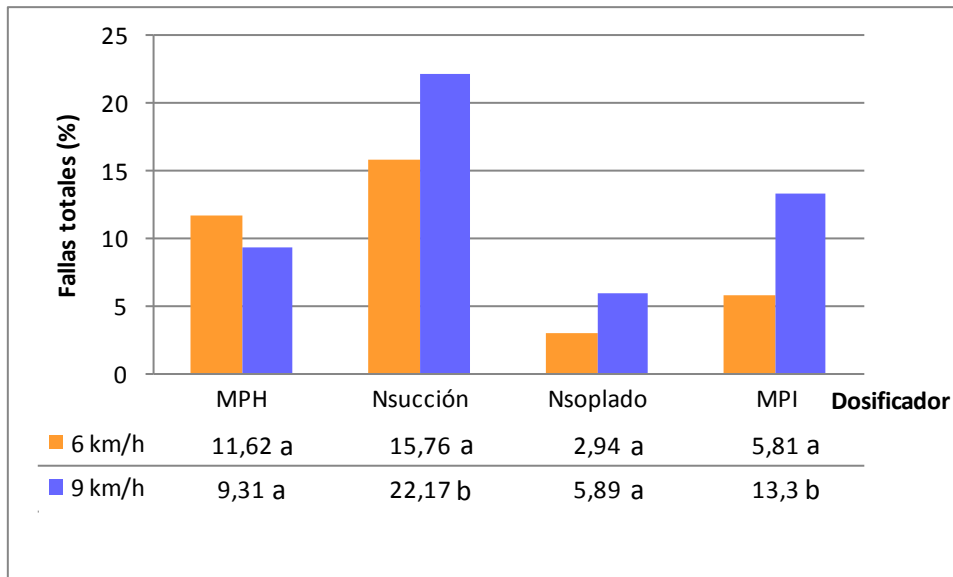


Figura9.Índice de fallas totales (%) para cada dosificador a dos velocidades de siembra. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) según el test de Tukey entre tratamientos para cada dosificador.

Los dosificadores Nsucción y MPI presentaron diferencias significativas entre tratamientos, en tanto que Nsoplado y MPH tuvieron similar comportamiento a 6 y 9 km/h, sin ser la diferencia significativa. No obstante esto, los dosificadores neumáticos y MPI tuvieron un comportamiento esperable, es decir que el número de fallas se incrementó conforme aumenta la velocidad. Similares resultados encontraron D'amico et al., (2007) quienes asocian el aumento de fallas con el incremento en la velocidad de avance, viéndose también reflejado en la disminución del porcentaje de semillas aceptablemente sembradas. Esto se debe a que la mayor velocidad de avance genera un incremento en el régimen de giro de la placa semillera y, de esta manera, una mayor agresividad del enrasador, coincidiendo con Bragachini et al., (2002) quienes determinan que un enrasador excesivamente agresivo provoca fallas por caída de las semillas y, por consecuencia, una mayor desuniformidad en la siembra. Los bajos porcentajes y la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos en el dosificador Nsoplado, se podrían asociar a lo citado por Bragachini et al., 2003, quienes aseguran que los distribuidores neumáticos toleran una mayor velocidad de siembra que los mecánicos, sin provocar fallas por falta de carga de alveolos de la placa, dada por la existencia de un alveolo que aloja y ayuda al transporte de la semilla junto al soplado de la misma, asistiendo en mejor medida que el resto de los distribuidores a la carga de las celdas. Sin embargo, el dosificador MPH tuvo un comportamiento que no fue el deseado, si bien no hubo diferencias significativas entre tratamientos, las fallas tuvieron una pequeña

disminución conforme aumentó la velocidad. Este menor porcentaje de fallas a 9 km/h respecto de 6 km/h, sería el responsable del incremento en el porcentaje de semillas aceptablemente sembradas conforme aumenta la velocidad, ya que las duplicaciones, como se observó, aumentaron con esta variable.

Analizando estos resultados con los obtenidos en los índices anteriores, el bajo porcentaje de semillas aceptablemente sembradas que presentó el dosificador Nsucción se pudo deber a una combinación de duplicaciones y fallas ya que si bien hubo mayor número de entregas múltiples que fallas, las dos variables fueron significativas. Estos resultados nos permitirían inferir en parte, que el problema principal estuvo dado por las dificultades que atraviesa la semilla desde su dosificación hasta su contacto con el suelo, dado por un mayor rebote dentro del tubo de descarga y en el surco. Estos rebotes resultarían en fallas seguidas de duplicaciones, dando una importante desuniformidad en la siembra. Si bien este pudo haber sido el factor principal, la inadecuada regulación del gatillo enrasador también pudo haber incidido, junto a niveles de depresión bajos, en los resultados obtenidos. En el dosificador MPH el problema principal estuvo dado por las fallas y no tanto por las duplicaciones, ya que las mismas son tres veces mayores que las entregas múltiples para cualquiera de los dos tratamientos. Estos resultados podrían deberse a una conjunción de factores, por un lado la incorrecta selección de la placa semillera siendo los alveolos demasiados pequeños para el calibre de semilla utilizado, y por otro lado la variabilidad de tamaños dentro del calibre "tipo redondo". En cuanto al dosificador MPI, el mismo tuvo un comportamiento intermedio, sin embargo, fue el que más incrementó las fallas cuando la velocidad de avance pasó de 6 km/h a 9 km/h. Esto pudo deberse principalmente al escaso espesor de la placa semillera, lo cual ante un incremento de la velocidad de avance y por consiguiente un aumento de las vibraciones del terreno, produjo que las semillas se caigan de los alveolos dejándolos vacíos, con la consiguiente falla. Por último, el dosificador Nsoplado, como se mencionó anteriormente, presentó lo menores porcentajes para esta variable, coincidiendo con Bragachini et al., (2003) quienes indican una mejor distribución de semillas irregulares o poco calibradas por parte de los distribuidores neumáticos en comparación a los mecánicos para el cultivo de maíz.

Comparando los porcentajes de fallas totales con los de duplicaciones, observamos que a excepción del dosificador Nsucción, las fallas superaron ampliamente las entregas múltiples, lo que ocasionaría, de acuerdo a lo citado por Hoekstra et al., (1985), una disminución del

rendimiento significativa. Estos autores aseguran que las fallas en los estadios de emergencia e implantación del cultivo afectan de forma importante el rendimiento potencial de los cultivos, dentro de los cuales el maíz es el que presenta mayor sensibilidad. Si bien las entregas múltiples producen competencia entre plantas contiguas, generando plantas dominadas y dominantes, el resultado es una merma en el rendimiento producto de un menor número de granos por espiga y menor peso de los mismos. En tanto que las fallas, como su nombre lo indica, hacen referencia a una separación entre semillas mayor a 1,5 del distanciamiento de referencia, generando plantas más grandes y dominantes pero que no compensan el menor rendimiento de las plantas más chicas y dominadas.

Diferenciando el problema de variabilidad espacial de fallas totales en fallas simples y fallas dobles para cada dosificador en función de los tratamientos (figura 10), encontramos que todos los distribuidores para las dos velocidades de siembra generaron fallas simples, sin embargo, no todos presentaron fallas dobles. El dosificador neumático por soplado, caracterizado por ser un sistema muy eficiente que permite distribuir semillas con poco calibre, fue el único que no presentó fallas dobles; en tanto que, los dosificadores neumáticos por succión y mecánico de placa inclinada presentaron fallas dobles en ambas velocidades, siendo la diferencia entre tratamientos significativa para Nsucción pero no así para MPI. No obstante esto, las fallas a 9 km fueron mayores que a 6 km. MPH tuvo un comportamiento intermedio, si bien no tuvo fallas dobles a 6 km, si se presentaron a 9 km, sin ser relevante el porcentaje.

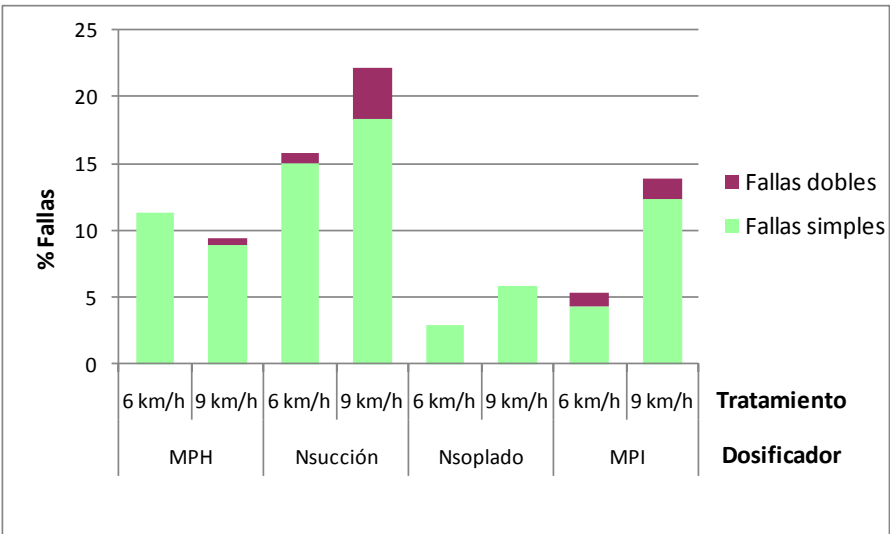


Figura 10. Índice de fallas simples y fallas dobles (%) para cada dosificador a dos velocidades de siembra.

Analizando el comportamiento de las fallas simples, las mismas siguen el mismo patrón que las fallas totales, es decir, se incrementaron conforme aumenta la velocidad, a excepción del dosificador MPH que a 9 km/h presentó menores fallas simples que a 6 km/h. El dosificador Nsucción presentó los mayores porcentajes, independientemente de la velocidad de siembra. En este caso, la mayor cantidad de fallas estuvieron asociadas a duplicaciones, como se mencionó anteriormente, esto es debido a las dificultades que atraviesa la semilla desde su dosificación hasta el contacto con el suelo, sumado a bajos niveles de depresión, con el agravante de una mala regulación del enrasador, ocasionando que no se cargue semilla o que cuando carga no enrase. Sin embargo, la gran variabilidad de los datos dificulta la correcta determinación de las causas.

La norma ISO 7256/1 define las fallas simples y las fallas dobles, pero no permite identificar si las mismas pueden deberse a problemas en la carga de alveolos o a un corrimiento de la semilla en la línea producto de los rebotes en el tubo de descarga o un desplazamiento producto de la rueda contactadora.

El incremento en la velocidad de avance, afectó de manera diferente los dosificadores. En el dosificador Nsucción, las fallas simples se incrementaron un 23% mientras que las dobles un 382%; en el dosificador neumático por soplado, el de mejor comportamiento, las fallas simples se incrementaron un 100% mientras que no existieron fallas dobles; el dosificador MPI tuvo un 187% más de fallas simples y un 57% más de fallas dobles a 9 km/h; y por último, el dosificador MPH donde las fallas simples disminuyeron y las fallas dobles solo existieron a 9 km/h.

De manera general, si bien se podría decir que hay una tendencia a que las fallas se incrementen conforme aumenta la velocidad, la gran variabilidad en los resultados no nos permite concluir respecto a la diferenciación del problema en fallas simples y dobles y su relación con los incrementos en la velocidad de avance.

En función de los resultados encontrados hasta aquí, estamos en condiciones de rechazar la tercera hipótesis de trabajo donde se manifiesta que el aumento de la velocidad de siembra incrementa el número de fallas por falta de carga de los alveolos, independientemente del sistema de dosificación. Si bien los dosificadores neumáticos y MPI presentaron mayor porcentaje de fallas conforme aumentó la velocidad de avance, no ocurrió lo mismo con MPH, donde las fallas disminuyeron.

Desvío estándar

La media y el desvío estándar son indicadores combinados del desempeño de la sembradora y de su interacción con el suelo a través del tren de siembra. En la figura 11 se muestran los desvíos estándar para cada dosificador en función de los tratamientos. Como era esperable, independientemente del tipo de dosificador, los valores de desvío se incrementaron conforme aumentó la velocidad de siembra. El dosificador Nsoplado fue el único que presentó diferencias significativas entre tratamientos, siendo el comportamiento de los demás dosificadores similar para ambas velocidades de siembra. El distribuidor Nsucción tuvo los mayores valores, independientemente del tratamiento, no coincidiendo con lo citado por Liu et al., (2004), quienes en la evaluación de distintos sistemas dosificadores encontraron en los neumáticos los menores valores de desvío. En tanto que, Nsoplado y MPH tuvieron los menores desvíos a 6 km/h y 9 km/h respectivamente. Tomando como valor de referencia 5 cm, mencionado por Nielsen (2001) como límite por encima del cual el rendimiento disminuye 62 kg/ha por cada cm de desvío estándar que se incrementa, se observa que a excepción de Nsoplado a 6 km/h, todos los dosificadores superaron dicho valor. Sin embargo, Nsucción sería el único con el cual el rendimiento de maíz estaría más comprometido, ya que en los demás dosificadores los desvíos no superan los 5,6 cm aproximadamente.

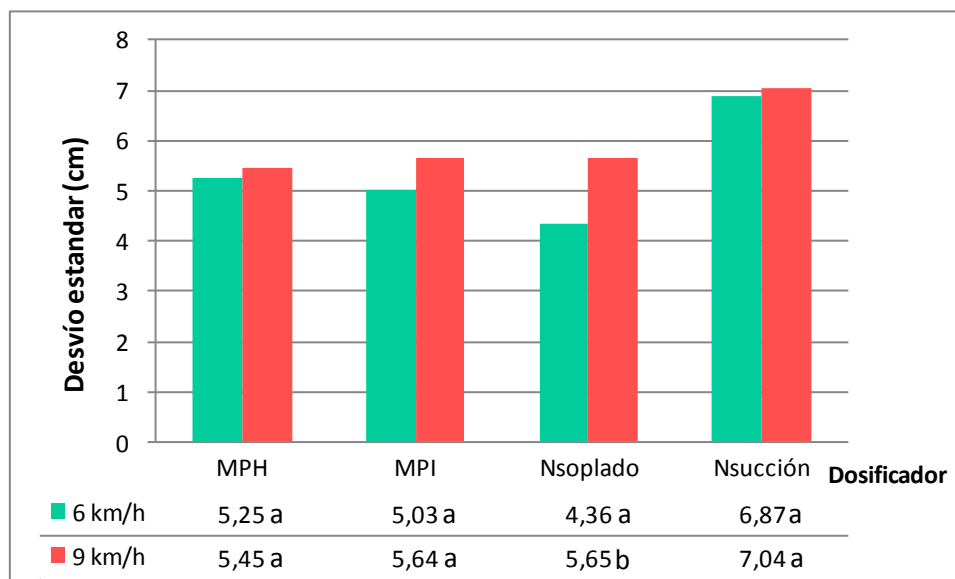


Figura 11. Desvío estándar (cm) para cada dosificador a dos velocidades de siembra. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) según el test de Tukey entre tratamientos para cada dosificador.

Si bien este indicador se realiza sobre las semillas correctamente sembradas, los dosificadores neumáticos, a diferencia de los mecánicos, mostraron una correlación con las variables asociadas a la carga de alveolos. Es decir, los mayores valores de desvío del dosificador Nsucción, se corresponden con los mayores porcentajes de fallas y duplicaciones, en tanto que, el menor desvío de Nsoplado a 6 km/h se corresponde con los menores porcentajes de fallas y entregas múltiples a la misma velocidad. Diferente fue para el dosificador mecánico de placa horizontal, que si bien presentó el menor valor de desvío a 9 km/h, los porcentajes de fallas y duplicaciones no lo acompañaron. Estos resultados permitirían sostener que las causas de desuniformidad de siembra en los dosificadores neumáticos por succión estarían asociadas principalmente a falta de depresión e inadecuada regulación del mecanismo enrasador, y en menor medida, a dificultades por las que atraviesa la semilla desde su dosificación hasta su contacto con el suelo.

Analizando los incrementos de desvío estándar conforme aumenta la velocidad de avance (tabla 2), el dosificador Nsoplado presentó el mayor valor, es decir, por cada km/h que se aumentó, el desvío se incrementó en 0,43 cm, asociado a un mayor impulso de la placa sobre el grano produciendo mayores riesgos de rebotes en el tubo de descarga; en tanto que, MPI tuvo el menor valor, 0,2 cm por cada km/h que se incrementó. No obstante esto, los valores fueron significativamente menores a lo citado por De Simone & Godoy (2008), quienes reportan 8.37 cm de desvío estándar cuando la velocidad pasa de 7 km/h a 9 km/h, es decir un incremento en el desvío de 4,185 cm por cada km/h que se aumentó. Del mismo modo, Liu et al., (2004) encontraron en el cultivo de maíz desvíos estándar de 0,5 cm por cada km de incremento en la velocidad de siembra, similar a lo reportado por Nielsen (1995). Bragachini et al., (2002) citan valores de 1,6 cm por cada km incrementado. Si bien los valores encontrados difieren mucho de los reportados por diferentes autores, esto puede deberse a que dichos autores realizan la evaluación sobre la totalidad de semillas/plantas encontradas en la línea y no, como establece la Norma 7256, sobre las correctamente sembradas.

Tabla 2. Incrementos del desvío estándar (cm) por cada km de aumento de la velocidad de avance, para cada dosificador.

Dosificador	MPH	MPI	Nsoplado	Nsucción
Incremento del desvío(cm)	0,07	0,2	0,43	0,06

Coefficiente de variación o índice de precisión

El índice de precisión es una medida de la variabilidad dentro del espaciamiento entre semillas. En la figura 12 se grafican los índices de precisión expresados en porcentaje para cada dosificador un función de los tratamientos. Teniendo en cuenta que los distanciamientos de referencia utilizados fueron semejantes en los cuatro dosificadores, el comportamiento de los mismos no diferirá de lo analizado con el desvío estándar.

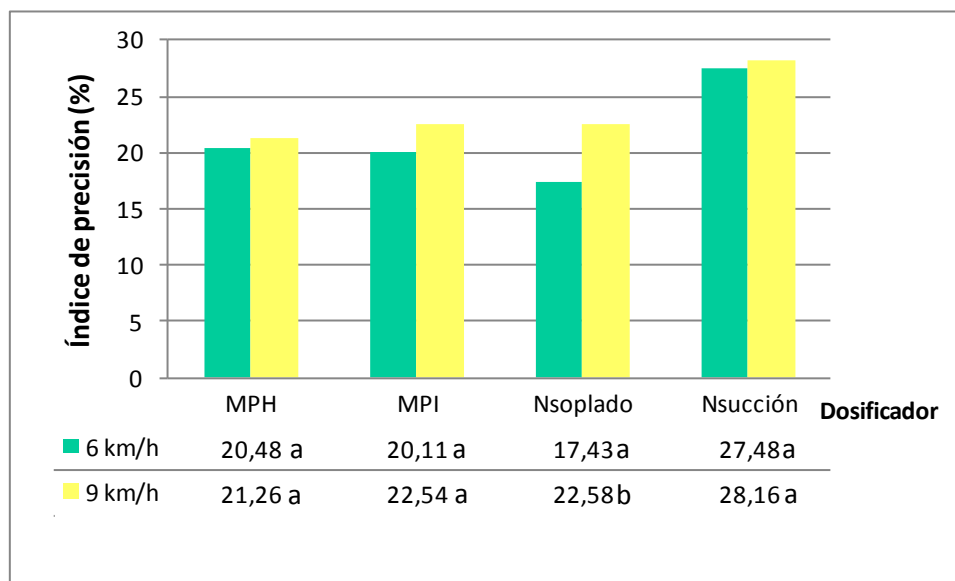


Figura 12. Coeficiente de variación o índice de precisión (%) para cada dosificador a dos velocidades de siembra. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) según el test de Tukey entre tratamientos para cada dosificador.

Haciendo un análisis general para esta variable, los coeficientes de variación se incrementaron conforme aumenta la velocidad de avance. Estos resultados fueron los esperados ya que con una mayor velocidad de avance, inadecuada para la labor de siembra, la desuniformidad también aumenta, lo que también se pudo corroborar con los indicadores anteriores. El dosificador Nsucción presentó los mayores porcentajes, mientras que Nsoplado y MPH los menores porcentajes a 6 km/h y 9 km/h respectivamente. El dosificador neumático por soplado fue el único que presentó diferencias significativas entre tratamientos.

Comparando estos resultados con los reportados por Katchman & Smith (1995), ningún dosificador se supera el valor de 29% citado por los autores como dudoso de una correcta dosificación, si bien Nsucción en los dos tratamientos se acerca a dicho porcentaje.

Independientemente del tipo de dosificador, el índice de precisión varió de 17,5% en la mejor situación a 28% en el peor caso. Esta variabilidad espacial se podría asociar con una disminución del rendimiento potencial, mencionada por Krall et al., (1977), Vanderlip et al., (1988), y Nielsen (2001) como principal causa. Del mismo modo, Bragachini et al., (2002), marcan similares tendencias de caída del rendimiento potencial frente a desuniformidad de implantación de maíz. Si además tenemos en cuenta que la uniformidad de semillas será diferente de la uniformidad de plantas, ya que no todas las semillas se convierten en plantas, tal como indica Katchman & Smith (1995), el rendimiento del cultivo de maíz estará aun más comprometido. Por todo lo dicho anteriormente, es que se hace necesario lograr un adecuado stand de plantas partiendo de una siembra uniforme.

En función de los resultados obtenidos en las diferentes variables asociadas a la uniformidad espacial de las semillas, no se puede validar la primera hipótesis de trabajo respecto a una relación directa entre la velocidad de siembra y la desuniformidad espacial de las semillas. Si bien hay una tendencia a una mayor desuniformidad conforme se incrementa la velocidad de avance, la ausencia de diferencias significativas en algunos indicadores y la gran variabilidad de los resultados, no nos permiten concluir al respecto. Los dosificadores MPI, Nsucción y Nsoplado parecieran ser los dosificadores que mejor se ajustan a la hipótesis mencionada, sin embargo, no ocurre lo mismo con MPH. El mejor desempeño de los dosificadores neumáticos y MPI pudo deberse a la mejor adecuación en la posición de los tubos de descarga en relación a la velocidad de trabajo.

Profundidad

Una correcta siembra no solo implica un distanciamiento uniforme entre líneas de siembra y entre semillas en la misma línea, sino también uniformidad en la profundidad de siembra. Las diferentes ubicaciones de las semillas en profundidad ocasionan desuniformidad en la emergencia tanto espacial, debido a fallas en la emergencia, como temporal, asociado a un retraso en la emergencia.

En la figura 13 se grafican los valores de profundidad media para los dosificadores MPH y Nsucción en función de los tratamientos. Tomando como valor de referencia el citado por Bragachini et al., (2002), de 5 cm, el dosificador MPH presentó a 6 km/h una profundidad media semejante a la citada, mientras que a 9 km/h superó en 1 cm dicho valor, en tanto

que, con el dosificador Nsucción se obtuvieron valores de profundidad muy por debajo del de referencia.

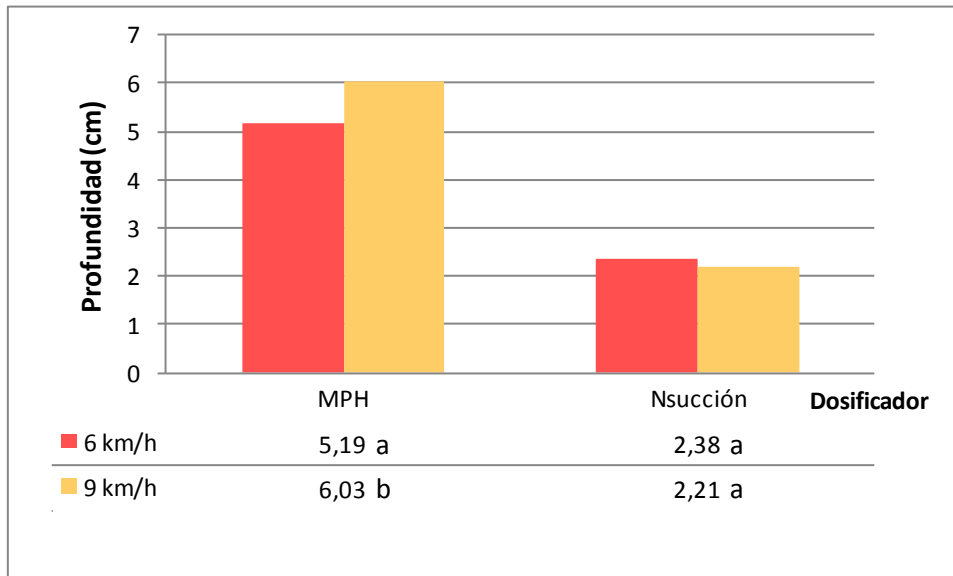


Figura 13. Profundidad media (cm) para los dosificadores MPH y Nsucción a dos velocidades de siembra. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) según el test de Tukey entre tratamientos para cada dosificador.

La menor profundidad de siembra que presentó el dosificador neumático pudo deberse a la conjunción de dos factores, por un lado, las condiciones del lote al momento de la labor el cual presentaba abundante residuo en superficie, y por el otro, a las características particulares del tren de siembra. Esto se debe a que si bien el tren de siembra posee cuchillas turbo para corte y remoción de residuos, la ausencia de barredores de rastrojo y la doble rueda limitadora de profundidad adosada a los discos abresurcos produjeron un copiado aparente del suelo, es decir un copiado de las irregularidades del rastrojo, por lo que ante un rastrojo abundante las ruedas impedirán la penetración del cuerpo quedando la semilla apenas por debajo de los 2 cm y con 3 cm de rastrojo por encima.

Cuando la velocidad de avance aumenta, sería esperable que la profundidad de siembra disminuyera, sin embargo, independientemente de los valores obtenidos, el comportamiento del dosificador MPH no fue el esperado, ya que la misma aumentó significativamente conforme se incrementó la velocidad de siembra. Esto pudo deberse a una excesiva remoción de residuos por parte de la cuchilla cuando la velocidad de avance aumentó, haciendo que los mecanismos abresurcos profundizaran más de lo que corresponde. Esta profundidad de siembra es superior al límite mencionado, eventualmente

podría una disminución del rendimiento potencial del cultivo debido a que las plantas emergidas tardíamente, debido a su mayor profundidad, no podrán compensar aquellas que lo hicieron antes (Nafziger et al., 1991). No obstante, las diferencias son menores a 1 cm por lo que las condiciones al momento de siembra serán determinantes de la ocurrencia o no de la afectación mencionada en forma precedente

El distribuidor neumático tuvo un comportamiento similar en ambos tratamientos, con una menor profundidad a 9 km/h, sin ser la diferencia entre tratamientos significativa.

Analizando el desvío estándar para esta variable (tabla 3), no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para cada dosificador. No obstante esto, tanto en MPH como en Nsucción los desvíos se incrementaron conforme aumentó la velocidad de avance. Estos resultados coincidirían en parte con lo mencionado por Bragachini et al., (2012), quienes aseguran que una elevada velocidad de avance produce una menor profundidad de siembra e incrementa la desuniformidad en la misma.

Tabla 3. Desvío estándar (cm) de la profundidad de siembra para los dosificadores MPH y Nsucción en función de los tratamientos.

Dosificador	Velocidad de avance (km/h)	Desvío Estándar (cm)
MPH	6	0,66 a
	9	0,86 a
Nsucción	6	0,82 a
	9	1 a

En función de los resultados encontrados no es posible validar la segunda hipótesis de trabajo respecto a una relación directa entre la velocidad de siembra y la desuniformidad en la profundidad de la misma. Si bien el desvío estándar se incrementó conforme aumentó la velocidad de avance, las diferencias entre tratamientos no fueron significativas. Esto pudo deberse a la gran variabilidad en los resultados encontrados y al bajo número de repeticiones para las condiciones en que se realizó el ensayo.

En función del conjunto de datos relevados, es posible afirmar que los mecanismos de dosificación neumáticos por si mismos no resultan suficiente garantía del grado de precisión en la siembra del cultivo de maíz, resultando las variables de ajuste al la condición del terreno, alistamiento para la operación y operativas del conjunto al menos de similar importancia que el diseño del mecanismo dosificador.

CONCLUSIONES

- El dosificador neumático por soplado alcanza los mayores porcentajes de semillas aceptablemente sembradas, independientemente de la velocidad de avance.
- El incremento en la velocidad de avance reduce el porcentaje de semillas aceptablemente sembradas para los dosificadores neumáticos y mecánicos de placa inclinada
- Los dosificadores neumático por succión y mecánico de placa inclinada incrementan el número de fallas conforme se aumenta la velocidad de siembra.
- El incremento en la velocidad de avance afecta la uniformidad espacial de semillas en los dosificadores neumáticos y mecánicos de placa inclinada.

BIBLIOGRAFÍA

- Bateman, H.P.** 1972. Planter metering, soil and plant factors affecting corn ear populations. *Trans. Of the ASAE* 25(6):1484-1487
- Baumer, R.** 1999. Sembradoras y fertilizadoras para siembra directa. Publicación Técnica. Serie Siembra Directa N° 2. INTA. APRESID. Buenos Aires. Argentina. 345 pp.
- Bragachini, M, A. Mendez, J. Peiretti & F. Scaramuzza.** 2003. Sembradoras para Siembra Directa. Proyecto de Agricultura de Precisión. INTA Manfredi. Disponible en: <http://www.agriculturadeprecision.org/articulos/siembra/Sembradoras-Siembra-Directa.asp> Último acceso: Septiembre 2013
- Bragachini, M., A. Méndez, F. Scaramuzza, J.P. Vélez & D. Villarroel.** 2009. Impacto económico de la siembra de maíz a alta velocidad. Actas del X Congreso de Ingeniería Rural y II del MERCOSUR. 1ra ed. UNR Editora (en CD-ROM).
- Bragachini, M., J. Peiretti & F. Sánchez.** 2012. Análisis del mercado actual y prospectivo Mercado interno y exportación. INTA Manfredi. Proyecto Nacional INTA PRECOP. Disponible en: <http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/maquinaria/CaracterizacionAnalisisSectorMaquinariaAgricolaYAgrocomponentes.asp>. Último acceso: Septiembre 2013.
- Bragachini, M., Von Martini, Axel, Mendez, A., Pacioni, F., Alfaro, M.** 2002. Siembra de maíz, eficiencia de implantación y su efecto sobre la producción de grano. 3er Taller Internacional de Agricultura de Precisión Cono Sur de América. Disponible en: <http://www.agriculturadeprecision.org>. Último acceso: Mayo 2013.
- CAFMA. 2012.** La industria de Maquinaria Agrícola Argentina. Estructura, evolución 2002 – 12 y sus perspectivas. Disponible en: <http://www.cafma.org.ar/la-industria-de-maquinaria-argentina/>. Último acceso: Septiembre 2013
- Carter P.R. & E. D. Nafziger.** 1989. Uneven Emergence in Corn. North Central Regional Extension Pub.No.344.
- D'Amico J.P., M.O. Tesouro, A. Romito, D. Paredes & M.A. Robas.** 2011. Desuniformidad de distribución espacial: Caracterización de su impacto sobre el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* Vol 110 (1): 50-62

- D'Amico, J.P., S. Duro, D. Paredes, M. Roba, A. Romito, L. Venturelli & O. Tesouro.** 2007. Evaluación de un sistema dosificador neumático por depresión. Parte I: Ensayo con semilla de maíz. IX Congreso de Ingeniería Rural y Primero de MERCOSUR "La Ingeniería Rural y el cambio climático". Córdoba, Argentina. pp 61 – 68.
- De Simone, M. & A. Godoy.** 2008. Calidad de implantación de maíz y poroto en relación al diseño y regulación de la sembradora. EEA INTA Salta. Proyecto Nacional INTA PRECOP. Disponible en: <http://www.cosechaypostcosecha.org/data/ensayos/2008/CalidadImplementacionMaizYPorotoEnRelacionASembradora.asp>. Último acceso: Septiembre 2013
- Erbach, D.C., D.E. Wilkins & W.G. Lovely.** 1972. Relationships between furrow opener, corn plant spacing and yield. Agron J. 64: 702 – 704.
- Hoekstra, G., L. Kannenberg & B. Christie.** 1985. Grain yield comparison of pure stands and equal proportion mixtures for seven hybrids of maize. Can. J. of plant Sci. 65:471-479.
- ISO 7256/1.** 1984. International Organization for Standardization. Sowing equipment – test Methods – Part 1: Precision drills for sowing in lines. 12 pp.
- Jasper, R.; M. Jasper; L.C. Garcia.** 2006. Seleção de sementes de milho durante a simulação da semeadura com disco perfurado horizontal. Eng. Agríc. 26(2):434-441.
- Kachman, S & Smith, J.** 1995. Alternative measures of accuracy in plant spacing for planters using single seed metering. Transaction of the ASAE 38 v: 2 p: 379-387.
- Karayel, D. & A. Özmerzi.** 2002. Effects of tillage methods on sowing uniformity of maize. Canadian Biosystems Engineering 44: 2.23 – 2.26.
- Kepner, R.A.; Bainer, R.; Barger, E.L.** 1972. Crop planting. In: Principles of farm machinery. 3rd Edition. AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut. USA. p 209-236.
- Krall, J.M., H.A. Esehie, R.J. Raney, S. Clark, G. TenEyck, M. Lundquist, N.E. Humburg, L.S. Axthelm, A.D. Dayton & R.L. Vanderlip.** 1977. Influence of within – row variability in plant spacing on corn grain yield. Agron. J. 69: 797 – 799.
- Lauer, J.G. & M. Rankin.** 2004. Corn response to within row plant spacing variation. Agronomy Journal 96: 1464 – 1468.

- Liu, W., M. Tollenaar, G. Stewart & W. Deen.** 2004. Within – row plant spacing variability does not affect corn yield. *Agron. J.* 96: 275 – 280.
- Liu, W., Tollenaar, M., Stewart, G., Deen, W.** 2004b. Impact of planter type, planting speed, and tillage on standard uniformity and yield of corn. *Agron. J.* 96: 1668 – 1672.
- MAGyP.** 2016. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Presidencia de la Nación. Disponible en: <https://datos.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>. Último acceso: Octubre 2016.
- Maroni, J. & A. Gargicevich.** 1998. Operación de siembra, densidad y uniformidad de plantas en maíz. Impacto sobre rendimiento en granos. En: *Uso eficaz de las sembradoras para maíz*. Capítulo II, Morgan – Mycogen S. A. Bs. As. 29 pp.
- Maroni, J., C. Fernández Asenjo & M. Dalla.** 2004. Prestaciones de un dosificador neumático para la siembra monograno de semillas de girasol. *Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario.* Año IV (5): 99 – 104.
- Nafziger, E.D., P.R. Carter & E.E. Graham.** 1991. Response of corn to uneven emergence. *Crop Sci.* v:31: 811–815.
- Nielsen, R.** 2001. Stand establishment variability in corn. Dept. of Agronomy publication AGRY-91-01. Purdue University. West Lafayette, USA. Disponible en: http://www.agry.purdue.edu/ext/pubs/AGRY-91-01_v5.pdf. Último acceso: Septiembre 2013.
- Nielsen, R. L.** 1995. Planting speed effects on stand establishment and grain yield of corn. *Journal of Production Agriculture* 8:391-393.
- OMAFRA.** 2002. Corn: Emergence and Spacing. *Agronomy Guide for Field Crops (Chapter 3)*, publication 811 *Agronomy Guide for Field Crops*
- Portal fyo.** 2013. El maíz en la argentina y el mundo. Datos necesarios para interpretar el mercado de maíz y tomar mejores decisiones. Disponible en: <http://portal.fyo.com/especiales/maiz/mapa.html>. Último acceso: Septiembre 2013
- Satorre E.H., R.L. Benech Arnold, G.A. Slafer, E.B. de la Fuente, D.J. Miralles, M. E. Otegui & R. Savin.** 2003. Producción de granos. Ed. Facultad Agronomía Universidad de Buenos Aires. 783 pp

Valentinuz, O., C. L. Di Orio & S Cabada. 2007. Velocidad de siembra y desuniformidad espacial en dos híbridos de maíz. Actualización técnica. Maíz, girasol y sorgo. INTA EEA Paraná. Serie Extensión 44: 38-42.

Vanderlip, R.L., J.C. Okonkwo & J.A. Schaffer. 1988. Corn response to precision of within-row plant spacing. App. Agric. Res. 3: 116 – 119.