

Evaluación de un dosificador neumático de presión positiva en banco de ensayo ante variaciones de regímenes de placa y velocidad de avance

Trabajo final presentado para optar al título de Especialista en Mecanización Agrícola

Damián Lurati

Ingeniero Agrónomo - Universidad de Buenos Aires - 2014

Cátedra de Maquinaria Agrícola Facultad de Agronomía UBA



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía - Universidad de Buenos Aires

TUTOR

Diego Wilfredo Agnes
Ingeniero Agrónomo UBA
Magister Scientiae Mecanización Agrícola UNLP

JURADO DE TRABAJO FINAL

Jurado

Alejandro Pannunzio
Ingeniero Agrónomo (UBA)
Doctor en Ciencias Agropecuarias con Especialización en Riego (UNCuyo)

Jurado

Esteban Ciarlo
Ingeniero Agrónomo (UBA)
Doctor en Ciencias Agropecuarias (UBA)

Fecha de defensa del trabajo final: 1 de diciembre de 2023

Tabla de contenido

Resumen	1
Introducción.....	2
Objetivo.....	6
Hipótesis.....	6
Materiales y métodos	7
Materiales	7
Diseño experimental.....	11
Resultados y discusión	14
Índice de duplicaciones.....	14
Índice de fallos.....	14
Índice de aceptables.....	15
Índice de precisión.....	16
Consideraciones finales.....	20
Conclusiones.....	21
Referencias bibliográficas.....	22

Resumen

La densidad de siembra en maíz expresada como número de semillas sembradas, junto al arreglo espacial de las plantas, definido por la distancia entre plantas en la hilera y la distancia entre hileras constituyen las prácticas de manejo que determina la capacidad del cultivo de maíz. El maíz es un cultivo sumamente influenciado por el arreglo espacial ya que determina la capacidad productiva al asignarle a cada planta un volumen de suelo similar al de sus vecinos. Este volumen está determinado por la profundidad de exploración de las raíces, el distanciamiento entre hileras y el distanciamiento entre plantas dentro de la misma línea de siembra. La variabilidad de la distribución en las plantas logradas puede ser causa, desde el punto de vista de la máquina sembradora y su operación, causada por el funcionamiento defectuoso de la dosificación, de la conducción o una excesiva velocidad de avance; descartándose en éste análisis los factores de viabilidad y fisiológicos de las simientes. El objetivo general del trabajo es evaluar el desempeño de un dosificador neumático por soplado en cuanto al grado de alteraciones (duplicaciones y fallos) y al distanciamiento entre semillas de maíz que se generan cuando se incrementa la velocidad tangencial de la placa dosificadora y la velocidad de avance simulada en un banco de ensayo estático. Se adoptaron tres regímenes de placa: 11,11; 13,33 y 15,56 v.min⁻¹, y tres velocidades de avance; 3,5; 5,3 y 7,2 km.h⁻¹. De la combinación de estas variables de estudio surgieron los tratamientos y como variable respuesta se utilizó el distanciamiento entre semillas. La variabilidad de distribución se calculó según la metodología propuesta por la norma ISO 7256/1 (1984), con los datos recabados se construyeron los siguientes índices: a) Índice de duplicaciones (D); b) Índice de fallos (F); c) Índice de normales (N); y d) Índice de precisión (P). Se observó el aumento de duplicaciones al aumentar el régimen de la placa, y disminución de fallos explicado por el rebote de la semilla en el tubo de descarga. No se observó influencia de la velocidad de avance sobre la distribución de semillas; y se evidenció un comportamiento inverso entre las variables velocidad de avance y régimen de placa para el distanciamiento de semillas.

Palabras clave: dosificación, uniformidad de distribución, siembra directa, agricultura de precisión.

Introducción

La densidad de siembra en maíz expresada como número de semillas sembradas, junto al arreglo espacial de las plantas, definido por la distancia entre plantas en la hilera y la distancia entre hileras constituyen las prácticas de manejo que determinan la capacidad del cultivo de maíz.

El maíz es un cultivo sumamente influenciado por el arreglo espacial ya que posee una baja plasticidad vegetativa y reproductiva. Esto reduce su capacidad para compensar problemas ocasionados durante la emergencia y establecimiento, convirtiéndolo en un cultivo sensible a la cantidad y calidad del estand de plantas logradas por su influencia sobre el aprovechamiento de recursos y el rendimiento (Satorre, 2021).

Shubeck y Young (1970) afirman que, con la mejora en la uniformidad en el espaciamiento entre plantas en un mismo surco, es de esperar una reducción en la competencia entre plantas, y el aumento del rendimiento a través de un uso más eficiente de la luz disponible, el agua y los nutrientes por las plantas.

En la tarea de implantación, considerando al cultivo de maíz del tipo monograno, Bozdogan (2008) expresa que, en éste tipo de siembra, la sembradora mecánica o neumática debe sembrar las semillas con precisión; y el espaciamiento teórico en la línea y en el entresurco depende del requerimiento específico de cada uno de los cultivos. En forma independiente de la herramienta a utilizar, el principal objetivo es el espaciamiento dentro de la línea de siembra y la colocación de las semillas a una determinada profundidad (Celik *et al.*, 2007).

En la siembra monograno, el dosificador más antiguo y aún hoy más difundido es placa horizontal, la cual presenta dificultades para trabajar con semillas de tamaño y forma no uniformes. Esto ocasiona un problema recurrente en su elección, aún para semillas calibradas correctamente (D'Amico *et al.*, 2007). En referencia a la operación de siembra en maíz; si se presentan tres condiciones como: semilla de tamaño uniforme, correcta elección de la placa de siembra y una velocidad de avance de no mayor a 6 km.h^{-1} , el dosificador de placa horizontal puede lograr una mayor eficiencia que con los dosificadores neumáticos, pero en la práctica estas tres condiciones prácticamente nunca se presentan simultáneamente, de allí que frente a esta realidad el futuro son las sembradoras provistas de dosificadores neumáticos (Bragachini *et al.*, 2003).

Los dosificadores neumáticos no requieren de una semilla correctamente calibrada, ya que esta no debe ubicarse dentro de cada celda, sino que queda adherida a los orificios de la placa, de menor tamaño que la semilla, gracias a una diferencia de presión a ambos lados de la placa, generada por una turbina (ya sea por succión o por soplado). Este tipo de dosificadores han sido citados como de baja generación de daño mecánico visible en la semilla (Yatskul y Lemiere, 2018), en contraste con los dosificadores mecánicos de expulsión forzada, donde el problema de la rotura puede generar significativas mermas en las plantas emergidas y en el beneficio económico del cultivo (Singh *et al.*, 2007).

Según Staggenborg *et al.* (2004), los principales parámetros de diseño y regulación de la sembradora que determinan la calidad de distribución son: la velocidad de avance, el diseño del órgano encargado de contactarlas con el suelo, el diseño del mecanismo dosificador y el tren de siembra, descartándose en éste análisis los factores de viabilidad y fisiológicos de las simientes.

Considerando que todos los cultivos presentan un acotado margen de tiempo para lograr los mayores rendimientos, y a medida que nos alejamos de la fecha óptima de siembra éstos van disminuyendo, es necesario contar con máquinas con alta capacidad de trabajo para poder cumplir con la labor en el poco tiempo óptimo disponible. La necesidad de ejecutar las labores de implantación en tiempo y forma, hace que el productor recurra al incremento de la velocidad de avance para el logro de los objetivos (Ward, 2015).

Malinda (1988), Baker (1994), Soza *et al.* (1997) y Tourn *et al.* (2003) afirman que a velocidades crecientes disminuye el stand de plantas logradas. Según García *et al.* (2006) un aumento en la velocidad del trabajo de siembra de 3 a 9km h⁻¹ provoca un incremento en la desuniformidad de la distribución de semillas en maíz, debido al aumento en número de fallos y duplicaciones.

Para Bragachini *et al.* (2009) la disminución de la capacidad de trabajo debido a la elección de una siembra a baja velocidad puede ser compensada e incluso excedida por el incremento de la producción del cultivo, gracias a la distribución espacial uniforme de éste. En otras palabras el mayor gasto en combustible, generado por la mayor hora de trabajo es subsanado por el mayor rendimiento en el cultivo de maíz.

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. Por el contrario, Pizarro (2015) encuentra,

para el caso de distanciamiento entre semillas de soja, que la uniformidad de distribución de semillas es independiente de la velocidad de avance en el rango de 4 a 9 km.h⁻¹.

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 en el distanciamiento entre plantas, 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 [km.h⁻¹] incrementado en la velocidad de siembra. La pérdida de rendimiento fue de 0,119 t.ha⁻¹ por cada 0,01 m en el incremento del desvío estándar.

Incrementar la velocidad de trabajo en las labores de siembra ha sido un objetivo deseable para los productores. En esta línea hay dos fuertes restricciones: (i) la potencia disponible en los tractores de uso modal en la conformación de los equipos de siembra. Un incremento de la velocidad real de avance genera una disminución en la fuerza disponible en la barra de tiro, lo cual generaría que las máquinas sembradoras debieran poseer menos cuerpos o tener menos kilos de masa o ambas a la vez. Cualquiera sea la solución a adoptar traería consecuencias no deseables en la capacidad de trabajo y la ubicación de la semilla en profundidad en planteos de siembra directa. (ii) El efecto de las altas velocidades en el comportamiento de los conjuntos que intervienen en la dosificación y conducción de la semilla, como también de la acción del tren de siembra y en la conformación del sitio donde se ubicará la semilla. Respecto a la dosificación, Gao *et al.* (2023) evaluaron en un banco de ensayos un dosificador neumático por presión positiva, alistado con placas de diferentes cantidad de celdas (de 10 a 30 celdas), con presiones de trabajo entre 3,0 kPa y 4,0 kPa y en un rango de altas velocidades de trabajo: de 10 km.ha⁻¹ a 18 km.h⁻¹. Estos autores hallan que la mejor uniformidad se halla con una velocidad de 15,4 km.h⁻¹, 3,6 kPa y placa de 23 celdas.

En un cultivo, la densidad poblacional estará condicionada a la relación entre las entregas múltiples y las fallas que se registren. Una mayor proporción de una u otra determinará un incremento o una disminución de la densidad del cultivo respectivamente (D'Amico, 2012). Entonces, la des-uniformidad en la hilera de siembra estará condicionada por la dispersión respecto de la distancia de referencia, lo cual implica que una situación de acercamiento y/o de distanciamiento entre plantas, la incrementará (Liu *et al.*, 2004).

D'Amico (2012) concluye en su trabajo que, la variación de rendimiento por efecto de la calidad de distribución de plantas en la línea de siembra, es mejor explicada por la proporción de fallas y duplicaciones que por el desvío estándar de los distanciamientos en la línea de siembra. Del

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

Panning *et al.* (2000) evaluaron cinco configuraciones de plantadoras, para uniformidad espacial de semillas a tres velocidades de funcionamiento, utilizando un método de localización semilla en el campo y un método de laboratorio con sistema de sensor opto-electrónico. En su trabajo, sostienen que la variabilidad en la ubicación de la semilla puede estar dada por su falta de entrega, la entrega múltiple, la caída fuera del surco, el desplazamiento dentro del surco por rodado o el movimiento cuando son cubiertas con suelo.

Es importante también tener en cuenta las trayectorias de semillas en la descarga, dado que si una semilla rebota en el tubo conductor, el espaciamiento final entre granos en el surco de siembra puede afectarse significativamente (Mattara, 2009; Breece *et al.* 1992)

En Bourges (2017) al ensayar la dosificación de semillas de soja en un dosificador neumático de presión positiva en condiciones de laboratorio, a un régimen de placa de $14,4 \text{ v.min}^{-1}$, encuentra que el 75,5% de las semillas no rebotan en el tubo de descarga. También concluye que, para lograr diseños adecuados de dosificadores y tubos de descarga de semillas es necesario tener en cuenta las velocidades angulares y lineales de las semillas, en el punto de desprendimiento del dosificador.

El hecho de que una semilla sea 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 (Agnes *et al.*, 2010). Al momento de la siembra, será importante considerar la incidencia de distintos factores que influyen sobre ésta. La realización de este trabajo permitirá evaluar la incidencia del régimen de la placa del dosificador y la velocidad de avance sobre el comportamiento del dosificador, utilizando como variables respuesta, la uniformidad en la distribución de semillas.

Objetivo

El objetivo general del trabajo es evaluar el desempeño de un dosificador neumático por soplado en cuanto al grado de alteraciones (duplicaciones y fallos) que se generan y al distanciamiento entre semillas de maíz cuando se incrementa la velocidad tangencial de la placa dosificadora y la velocidad de avance simulada en un banco de ensayo estático.

Hipótesis

- a. El distanciamiento entre semillas es afectado por la velocidad tangencial de la placa dosificadora: incrementar la velocidad tangencial genera mayor proporción de duplicaciones y/o fallos.
- b. El distanciamiento entre semillas es afectado por la velocidad de avance: incrementar la velocidad de avance genera mayor proporción de duplicaciones y/o fallos.
- c. Hay un efecto de interacción entre la velocidad tangencial de la placa dosificadora y la velocidad de avance sobre la generación de fallos y duplicaciones de semillas.

Materiales y métodos

Materiales

La experiencia se llevó a cabo en el banco de prueba de dosificadores de semilla y fertilizantes estático de la Cátedra de Maquinaria Agrícola de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires.

El banco está conformado por: (i) una cinta transportadora, (ii) un motor eléctrico con variador continuo de velocidad que simula el desplazamiento sobre una superficie de suelo a distintas velocidades (iii) un bastidor regulable que permite múltiples configuraciones de alturas de descarga y provista de un motor eléctrico con juego de poleas para ajustar a los regímenes de los dosificadores a ensayar.

En el banco se instaló el sistema dosificador neumático por soplado y el tubo conductor curvo de semillas, montándose sobre el bastidor. La muestra de semilla de maíz empleada corresponde a un calibre chato de tamaño mediano de la variedad Nidera “Maíz Híbrido MG”. Previo al ensayo, se aplicó una película de grasa de litio como adherente sobre la cinta para que al hacer contacto con la cinta no exista rebotes y/o rodamientos de la semilla por efecto de la velocidad de avance simulada.

La placa seleccionada se ajustó al calibre de la semilla y ésta se correspondió al maíz tamaño mediano de 30 alveolos, la posición del enrasador se reguló observando la correcta carga de la placa dosificadora y la eliminación del excedente de semilla en cada condición operativa. Se corroboró que el caudal de aire generado por la turbina fuera el adecuado para mantener adherida la semilla a las celdas con orificio de la placa, para lo cual fue necesario alcanzar una velocidad de salida del aire superior a los 15 km.h⁻¹.

- **Dosificador neumático de presión positiva** (figura 1)
 - Marca comercial: Bertini.
 - Tipo de dosificador: neumático por presión positiva.
 - Placa dosificadora: de acrílico con 30 celdas para grano de maíz de tamaño mediano. Las dimensiones de las celdas se muestran en la figura 2.
 - Diámetro de la Placa: 252 mm.
 - Enrasador: tipo cepillo, regulable.
 - Cierre de flujo: de felpa.

- Turbina de soplado
- **Tubo conductor** (figura 3)
 - Marca: de alistamiento usual en las sembradoras Schiarre (figura 3)
 - Tipo de tubo: curvo
 - Longitud: 470 mm
 - Dimensión de la boca de entrada: 40 mm x 54 mm
 - Dimensión de la boca de salida: 17 mm x 55 mm
- **Cinta transportadora** (figura 4)
 - Tipo de banda: caucho
 - Largo total de la banda transportadora: 1.200 mm.
 - Ancho de la banda transportadora: 250 mm.
 - Largo de transporte: 4.700 mm.
 - Regulador de velocidad: electrónico
- **Semilla**
 - Variedad Nidera “Maíz Híbrido MG”.
- **Otros implementos utilizados**
 - Tacómetro Marca Nicom digital modelo DT2234C
 - Grasa de litio
 - Cinta métrica

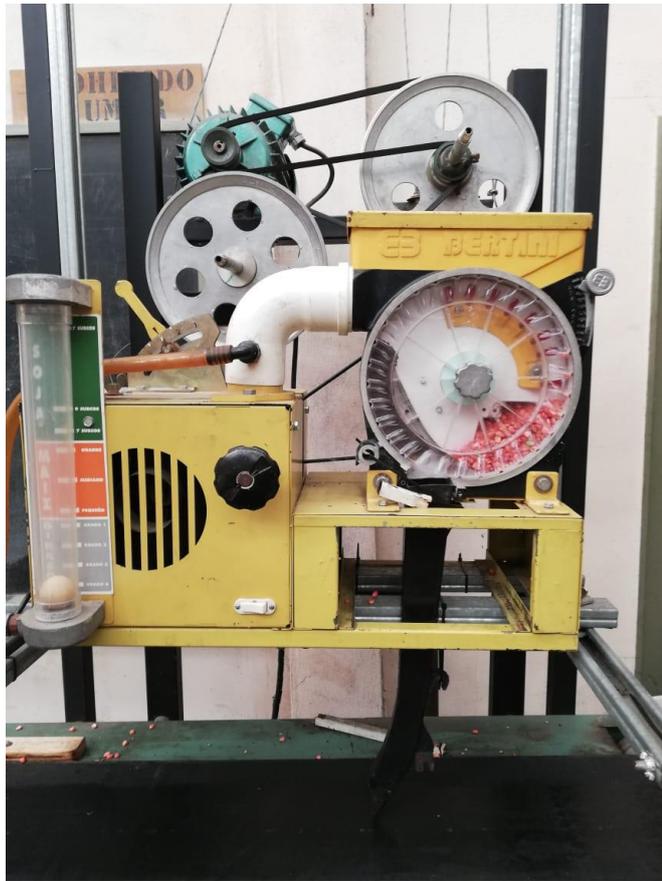


Figura 1. Dosificador neumático de presión positiva marca Bertini con la placa usada en el ensayo y el tubo conductor montado en el banco de ensayos.

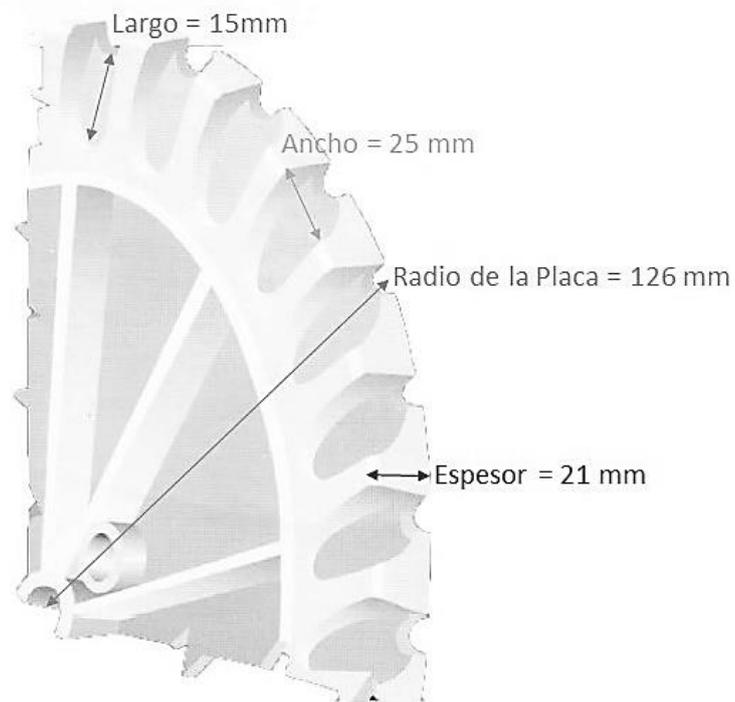


Figura 2. Dimensiones de la placa con la cual se alistó al dosificador neumático de presión positiva (marca Bertini)



Figura 3. Tubo conductor curvo de marca: n/n de alistamiento usual en las sembradoras Schiarre.



Figura 4. Cinta transportadora engrasada perteneciente al banco de ensayos.

Diseño experimental

De acuerdo a los antecedentes revisados sobre la velocidad de trabajo en siembra recomendada en maíz, se seleccionaron tres velocidades teóricas: 3,5, 5,3 y 7,2 km.h⁻¹; y a cada una de estas velocidades se le asignaron tres regímenes distintos de la placa del dosificador; 11,11, 13,33 y 15,56 v.min⁻¹. La combinación de los distintitos niveles de estas variables determinó las densidades teóricas de siembra, las cuales se calcularon de la siguiente manera: con el régimen de la placa multiplicado por el número de celdas de la placa (30 celdas) se obtuvo la cantidad de semillas por minuto que entregó la placa; este valor que dividido por la velocidad (m.min⁻¹) se cuantificó la cantidad de semillas por metro, valor que constituye la densidad teórica. El siguiente paso es determinar el distanciamiento de referencia (Xref) para cada densidad teórica, lo cual se realizó dividiendo 100 centímetros por las distintas densidades teóricas calculadas. Los resultados se muestran en la tabla 1, como también de indican las variables de estudio y sus niveles.

Tabla 1. Variables de estudio y sus niveles.
Para cada tratamiento se indica la densidad teórica lograra
y el distanciamiento de referencia (Xref)

Velocidad de trabajo (km.h⁻¹)	Régimen de la placa (v.min⁻¹)	Densidad teórica (sem.m⁻¹)	Xref (cm)
3,5	11,11	5,71	17,5
	13,33	6,85	14,6
	15,56	8,00	12,5
5,3	11,11	3,77	26,5
	13,33	4,53	22,1
	15,56	5,28	18,9
7,2	11,11	2,78	36,0
	13,33	3,33	30,0
	15,56	3,89	25,7

La variabilidad de distribución se calculó según la metodología propuesta por la norma ISO 7256/1 (*International Organization for Standardization*, 1984). Este método utiliza el distanciamiento entre semillas descargadas por un dosificador de grano grueso para caracterizar la uniformidad en la distribución de las mismas.

En primera instancia se procede a relacionar el dato con el distanciamiento de referencia (X_{ref}) que se muestra en la tabla 1 y que surge del cálculo de la densidad teórica para el logro de una determinada población. Esta operación se denota como ds/x_{ref} y con sus resultados se calculan las frecuencias de la siguiente forma:

$$n'_1 = \sum n_i \text{ (ds/xref } \epsilon \text{ (0 a } \leq \text{ 0,5))}$$

$$n'_2 = \sum n_i \text{ (ds/xref } \epsilon \text{ (> 0,5 a } \leq \text{ 1,5))}$$

$$n'_3 = \sum n_i \text{ (ds/xref } \epsilon \text{ (> 1,5 a } \leq \text{ 2,5))}$$

$$n'_4 = \sum n_i \text{ (ds/xref } \epsilon \text{ (> 2,5 a } \leq \text{ 3,5))}$$

$$n'_5 = \sum n_i \text{ (ds/xref } \epsilon \text{ (> 3,5 a } + \infty))$$

La suma de todas las frecuencias se denomina N y se calcula como:

$$N = n'_1 + n'_2 + n'_3 + n'_4 + n'_5$$

El siguiente paso es determinar el número de semillas que generan duplicaciones (n_2); semillas distribuidas normalmente (n_1) y el número de semillas ausentes (n_0)

$$n_2 = n'_1$$

$$n_1 = N - 2 n'_1$$

$$n_0 = n'_3 + 2 n'_4 + 3 n'_5$$

Se calculan el número de intervalos (N') según lo siguiente:

$$N' = n'_2 + 2 n'_3 + 3 n'_4 + 4 n'_5$$

Y se determina el valor medio de los distanciamientos aceptables según:

$$\bar{X} = \sum n_i X_i / n'_2 \text{ con } X_i \epsilon \text{ (> 0,5 a } \leq \text{ 1,5)}$$

Índice de duplicaciones (D) que indica semillas ubicadas muy próximas entre sí en la línea de siembra y se calcula como:

$$D = \frac{n_2}{N'} \times 100$$

Índice de fallos (F) que indica ausencia de semillas en el surco de siembra y se calcula como:

$$F = \frac{n_0}{N'} \times 100$$

Índice de aceptables (A): que indica los distanciamientos que no son duplicaciones y se calcula como:

$$N = \frac{n_1}{N'} \times 100$$

Índice de precisión (P): Es el coeficiente de variación de los datos aceptables.

$$P = 100x \sqrt{\frac{\sum n_i - x_i^2}{n'_2}} - \bar{x}^2$$

La tabla 2 muestra que no se hallaron diferencias significativas ($p < 0,0001$) en el coeficiente de llenado de la placa del dosificador neumático por presión para la semilla de maíz utilizada y ante los tres regímenes de placa evaluados y una misma posición del elemento enrasador que permita el mayor valor de coeficiente de llenado.

Tabla 2. Coeficientes de llenado de la placa (θ) obtenidos para cada régimen (η) evaluado

η [v.min ⁻¹]	θ
11,11	0,980 a
13,33	0,990 a
15,56	0,975 a

Letras iguales indican diferencias no significativas ($p < 0,0001$)

Para realizar el análisis estadístico se utilizó el programa estadístico InfoStat ver. 2018p desarrollado por Di Rienzo *et al.* (2020).

Resultados y discusión

Índice de duplicaciones

La tabla 3 muestra el porcentaje de duplicaciones para cada uno de los tratamientos. En la misma también se coloreó para que se vean reflejados mejores los valores, utilizando una escala de colores, siendo verde el mejor resultado hacia el color rojo donde se obtuvo la respuesta mas desfavorable.

Se puede observar que a medida que aumenta la velocidad de trabajo hay una tendencia a disminuir la cantidad de semillas duplicadas. Esto se refleja claramente para el régimen de 11,11 v.min⁻¹ y en todas las velocidades probadas. Para el caso del régimen de placa a 13,33 y 15,56 v.min⁻¹ hubo un comportamiento similar, pero al seguir aumentando la velocidad de avance de 5,3 a 7,2 km.h⁻¹ aumentaron las duplicaciones.

Es posible que el incremento de los rebotes de la semilla dentro del tubo conductor debido a la energía de caída que le imprime a la semilla los regímenes de placa más altos tiene una mayor injerencia en la generación de alteraciones en el distanciamiento entre semillas, en este caso duplicaciones, más que al impacto contra la cinta del banco de ensayo; resultados que concuerdan con lo expresado por Bourges (2017). Esto explica que el índice de duplicaciones se incremente con el régimen de placa más que con la velocidad de avance.

Tabla 3. Índice de duplicaciones según norma ISO 7256/1 (1984)

Régimen de la placa (v.min ⁻¹)				
Velocidad de avance (km.h ⁻¹)	11,11	13,33	15,56	Promedio
3,5	16,33	20,97	30,77	22,69
5,3	8,47	2,00	12,96	7,81
7,2	3,92	7,84	16,28	9,35
Promedio	9,57	10,27	20,00	13,28

No se encontró que los índices de duplicaciones y de fallos (debajo) se incrementen en forma en similar proporción. Esto puede atribuirse a que no se generó una compensación entre el vector de velocidad final de salida de la semilla y el vector velocidad de avance. En otras palabras: ambos vectores, en el punto de descarga del tubo conductor presentan la misma dirección y sentido contrario, lo cual es consecuencia del diseño del tubo conductor, pero sus módulos son significativamente diferentes. Esto permite aseverar que en el diseño curvo de los

tubos conductores que alistan a los cuerpos sembradores de grano grueso deben contemplarse las velocidades de avance típicas en Argentina y no ser una simple adopción de modelos importados.

Índice de fallos

Para los resultados de fallos de descarta una incidencia del calibre de semilla y/o efecto del elemento enrasador, dado que los coeficientes de llenado en cada régimen, ya mostrados en la tabla 2, no mostraron diferencias significativas ($p < 0,0001$).

En la tabla 4 observamos el porcentaje de fallos para cada uno de los tratamientos. Al analizar los datos, vemos que no hay correlación con el índice de duplicaciones, debido que al aumentar estas cuando aumenta el régimen de la placa se esperaba que los fallos también aumentarían, debido a que son variables dependientes.

Esto refuerza lo explicado anteriormente y demostrado por Breece *et al.* (1992), que ante el aumento del régimen de la placa, se entrega mayor energía a la semilla, y esto hace que el rebote en las paredes del tubo conductor reordene su trayectoria, esto hace que al aparecer una duplicación de semilla no aparezca inmediatamente un fallo.

Para el caso de la velocidad tiene correlato con los valores observados en la tabla 3, ya que al aumentar los valores de velocidad de avance, las duplicaciones disminuyeron y en los fallos se observa de manera similar, salvo el tratamiento con el régimen de 11,11 v.min⁻¹ y la velocidad de avance de 5,3 km.h⁻¹ que mostró un comportamiento inesperado.

Tabla 4. Índice de fallos según norma ISO 7256/1 (1984)

Velocidad de avance (km.h⁻¹)	Régimen de la placa (v.min⁻¹)			Promedio
	11,11	13,33	15,56	
3,5	4,08	4,84	2,56	3,83
5,3	15,25	2,00	0,00	5,75
7,2	5,88	3,92	0,00	3,27
<i>Promedio</i>	8,40	3,59	0,85	4,28

Índice de aceptables

Los valores de índice de normales se detallan en la Tabla 5, donde los mejores comportamientos se obtuvieron en las velocidades 5,3 y 7,2 km.h⁻¹, ya que al aumentar la velocidad se observó que los fallos y duplicaciones tuvieron tendencia a disminuir.

En cuanto al régimen de la placa se observa que a medida que esta aumenta existe una tendencia a disminuir los valores del índice de semillas aceptablemente sembradas en correlato con el índice de duplicaciones.

El mejor valor de esta variable se obtuvo con la velocidad de avance de 5,3 km.h⁻¹ y el régimen a 13,33 v.min⁻¹ que es donde menos fallos y duplicaciones hubo, sucedió lo contrario en el tratamiento en la velocidad 3,5 km.h⁻¹ y el régimen a 15,56 v.min⁻¹, donde el índice de duplicaciones fue el máximo y explica este resultado más bajo de semillas sembradas aceptables.

Tabla 5. Índice de aceptable según norma ISO 7256/1 (1984)

Velocidad de Avance (km.h⁻¹)	Régimen de la placa (v.min⁻¹)			<i>Promedio</i>
	11,11	13,33	15,56	
3,5	79,59	74,19	66,67	73,48
5,3	76,27	96,00	87,04	86,04
7,2	90,20	88,24	83,72	87,39
<i>Promedio</i>	82,02	86,14	79,14	82,44

Índice de precisión

La tabla 6 transcribe los valores del índice de precisión donde se observa que el tratamiento con el régimen a 13,33 v.min⁻¹ y la velocidad en 5,3 km.h⁻¹ fue donde se obtuvo el mejor resultado y por ende el tratamiento con menor riesgo de generar fallos y duplicaciones, en cambio en el tratamiento con régimen a 11,11 v.min⁻¹ y la velocidad en 5,3 km.h⁻¹, sucedió todo lo contrario.

Los índices de mayor precisión se dieron en los tratamientos con el mayor régimen de placa diferente a lo esperado donde deberían incrementarse los fallos y las duplicaciones. Esto tiene correlato con lo visto en las tablas de duplicaciones y fallos, donde las primeras aumentaron a medida que se aumentó el régimen de la placa, pero los fallos disminuyeron.

De forma similar se observa una tendencia cuando la velocidad aumenta, el índice de precisión disminuye logrando mejores distribuciones de semillas.

También cabe destacar al ser un trabajo realizado en un banco de ensayo bajo condiciones estáticas, ameritaría el análisis de estas variables en forma dinámica y determinar la posible incidencia de interacción de otros factores y variables operativas no contempladas en estas circunstancias.

Tabla 6. Índice de Precisión según norma ISO 7256/1 (1984)

Régimen de la placa (v.min ⁻¹)				
Velocidad de Avance (km.h ⁻¹)	11,11	13,33	15,56	Promedio
3,5	36,37	32,93	29,12	32,81
5,3	47,86	22,13	23,75	31,25
7,2	36,23	31,11	23,49	30,49
Promedio	40,15	28,15	25,45	31,44

En el gráfico 1 se puede observar el promedio de distanciamiento para cada velocidad y régimen. En el eje de abscisas, el valor 1 se corresponde a la velocidad y régimen más bajo, para este ensayo 3,5 km.h⁻¹ y 11,11 v.min⁻¹ y el valor 3 para el valor máximo de las mismas variables en este caso 7,2 km.h⁻¹ y 15,56 v.min⁻¹.

Como podemos observar en el gráfico hay comportamiento inverso entre las variables velocidad de avance y régimen de la placa en la generación de distanciamientos. En las condiciones ensayadas un incremento en la velocidad de la placa lleva a la ocurrencia de una menor distancia lograda entre semillas, mientras que incrementar la velocidad de avance provoca un efecto contrario: hay una tendencia a generar mayor distancia entre semillas.

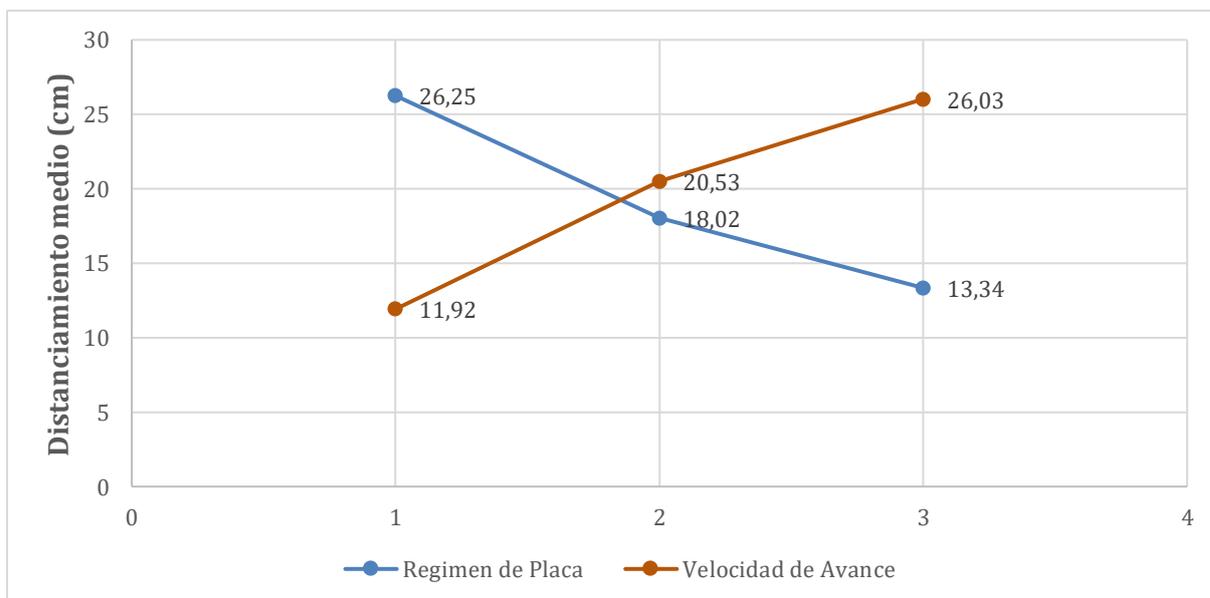


Gráfico 1. Distanciamientos medios para cada nivel de las variables de estudio: régimen de placa y velocidad de avance.

En la tabla 7 se combinaron las variables del ensayo junto con su densidad teórica con los índices calculados y analizados anteriormente. Lo que se puede observar es que los mejores

valores de los índices calculados, se observaron en aquellas combinaciones de velocidad de avance y regímenes de placa que logran las menores densidades teóricas de semillas. Esto sugiere que la velocidad de avance no debe ser tomada como único estimador de una buena calidad de la distribución de semillas en el surco. El posible efecto negativo de trabajar con altas velocidades de siembra podría ser atenuado con un mayor régimen de placa dosificadora. En este punto surge una limitante que poseen los conjuntos dosificadores mecánicos de placa alveolada de eje vertical: el daño mecánico a la semilla causado por el choque de la semilla contra el elemento enrasador. El mismo está directamente relacionado con la velocidad tangencial de giro de la placa y, determinado por el régimen de giro. Los conjuntos dosificadores neumáticos, como el utilizado en este ensayo, no presentan esta limitante, lo que permitiría el aumento del régimen de giro.

Tabla 7. Índices de la norma según norma ISO 7256/1 (1984) para la totalidad de las combinaciones entre niveles de las variables de estudio.

Ve (km.h ⁻¹)	Np (v.min ⁻¹)	Dt (sem.m ⁻¹)	D	F	A	P
3,5	11,11	5,7	16,33	4,08	79,59	36,37
	13,33	6,9	20,97	4,84	74,19	32,93
	15,56	8,0	30,77	2,56	66,67	29,12
5,3	11,11	3,8	8,47	15,25	76,27	47,86
	13,33	4,5	2,00	2,00	96,00	22,13
	15,56	5,3	12,96	0,00	87,04	23,75
7,2	11,11	2,8	3,92	5,88	90,20	36,23
	13,33	3,3	7,84	3,92	88,24	31,11
	15,56	3,9	16,28	0,00	83,72	23,49

Los resultados de este ensayo son altamente contrastantes con los reportados por Gao *et al.* (2023), quienes hallan que la calidad de siembra del dosificador de semillas desarrollado no se ve afectado por la velocidad de trabajo en el rango de 10 a 18 km.h⁻¹. Estos autores reportan índices de calidad de siembra (Índice de Aceptables) de 92,33% a 94,80%. Esto valores se lo atribuyen al nuevo principio de llenado de semillas que convierte el factor desfavorable del aumento de la fuerza centrífuga en un factor favorable para el llenado de semillas, eliminando la una de las limitaciones de operar con altas velocidades de trabajo. Teniendo en cuenta estos resultados y los de este trabajo surge que existe una componente fuerte del diseño de los conjuntos dosificadores en el logro de una uniformidad en el distanciamiento entre semillas. De todas formas, no debe olvidarse de la influencia del tránsito sobre un suelo sobre los conjuntos dosificadores, los elementos de conducción y los órganos que conforman los trenes de siembra.

La calidad de la uniformidad en el distanciamiento entre semillas será el resultado de todos estos componentes actuado en forma conjunta con poca o significativa diferencia en la ponderación de cada uno de ellos.

Consideraciones finales

Los resultados plasmados en la tabla 3 y la tabla 4 permitieron analizar lo planteado en la primera hipótesis, y en función de lo descrito anteriormente se acepta parcialmente, ya que al aumentar la velocidad tangencial de la placa dosificadora proporcionó un mayor número de duplicaciones, y con respecto a los fallos todo lo contrario.

Hipótesis 1: El distanciamiento entre semillas es afectado por la velocidad tangencial de la placa dosificadora: incrementar la velocidad tangencial genera mayor proporción de duplicaciones y/o fallos.

Con respecto a la segunda hipótesis del ensayo, en la tabla 3 y tabla 4 se observa que al aumentar la velocidad de avance no generó mayores disturbios en el distanciamiento de semillas. A diferencia de la bibliografía analizada previamente la variable velocidad de avance en este ensayo se independizó del régimen de la placa, ya que esta se modifica en función de la densidad de siembra objetivo. Por esto se rechaza la segunda hipótesis.

Hipótesis 2: El distanciamiento entre semillas es afectado por la velocidad de avance: incrementar la velocidad de avance genera mayor proporción de duplicaciones y/o fallos.

En el gráfico 1 se puede observar como al aumentar el régimen de placa y la velocidad de avance, el promedio de distanciamiento entre semillas se comporta de diferente manera, evidenciando una interacción entre ambas variables, es por eso que se acepta la tercera hipótesis de este ensayo.

Hipótesis 3: Hay un efecto de interacción entre la velocidad tangencial de la placa dosificadora y la velocidad de avance sobre la generación de fallos y duplicaciones de semillas.

Conclusiones

Para las condiciones del presente trabajo se concluye que:

- No hay evidencia suficiente para atribuir a la velocidad de avance un efecto sobre alteraciones (duplicaciones y fallos) a la uniformidad de la distribución de semillas.
- Hay evidencia de un efecto contrario entre la velocidad de avance y el régimen de placa dosificadora para el distanciamiento de entre semillas.
- En el rango de densidades efectivas de siembra de $3,5 \text{ sem.m}^{-1}$ a $4,5 \text{ sem.m}^{-1}$ reportaron las menores alteraciones en el distanciamiento entre semillas.
- El rebote de semillas en el tubo de descarga es un aspecto a tener en cuenta a la hora de analizar el distanciamiento entre semillas. Se recomienda avanzar en el estudio del diseño los tubos conductores del tipo curvo para adecuarlo a las velocidades de avance usuales en Argentina.

Referencias bibliográficas

Agnes, D.; E. Soza; M. Tourn; G. Botta; F. Bellora Melcón. 2007. Efecto de la escarificación de la línea de siembra y de la altura del rastrojo sobre la eficiencia de implantación de soja. Actas del IX Congreso Argentino de Ingeniería Rural y I del MERCOSUR, en CD-ROM

Agnes, D. W.; M. C. Tourn; E. L. Soza. 2010. Variabilidad en la distribución de maíz: una revisión. Rev. Facultad de Agronomía UBA 30(1-2):101-121.

Baker, C. J. 1994. Sistema cross-slot: fundamentos científicos y experimentación. II Conferencia sobre Experiencias Internacionales en Siembra Directa. Agronomía 2000. 2(5):13-17

Bozdogan, A. M. 2008. Seeding uniformity for vacuum precision seeders. Sci. Agric. 65(3):318-322.

Bourges G.; M. Mattara; R. Ponso; R. Medina. 2009. Determinación de la pérdida energética en distribuidores de semillas de sembradoras. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 13:27-33 ISSN 0329-5184

Bourges, G. 2017. Diseño y evaluación de sistemas de siembra neumáticos. Tesis doctoral Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario.

Bragachini, M.; A. Mendez; J. Peireti; M. Rinaldi. 2003. Sembradoras de Grano Grueso. Proyecto Agricultura de Precisión, INTA Manfredi.

Bragachini, M.; A. Von Martini; A. Mendez; F. Pacioni; M. Alfaro. 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. 9 pp.

Bragachini, M.; A. Mendez; F. Scaramuzza; J. P. Velez; D. Villaroel. 2009. Impacto económico de la siembra de maíz a alta velocidad. En: Actas del X Congreso de Ingeniería Rural y II del MERCOSUR. 1era ed. UNR Editora. p 64-68 (en CD-ROM) ISBN 978-950-673-748-1

Breece H.; H. Hansen; T. Hoemer. 1992. Sembradoras en hilera. En: Fundamentos de funcionamiento de maquinaria: Siembra. Deere & Co, Moline, Illinois. EE.UU. pp-18-91.

Celik, A.; I. Ozturk; T.R. Way. 2007. Effects of various planters on emergence and seed distribution uniformity of sunflower. Applied Engineering in Agriculture. ASABE, 23(1):57-61.

D'Amico, J. 2012. Desuniformidad de distribución espacial: Caracterización de su impacto sobre el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.). Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de La Plata. 39 pp.

D'Amico, J.; 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 semillas de maíz. Instituto de Ingeniería Rural. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Publicado en el IX Congreso Argentino de Ingeniería Rural –CADIR, 19-22 septiembre 2007, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Di Rienzo, J. A.; F. Casanoves; M. G. Balzarini; L. Gonzalez; M. Tablada; C. W. Robledo. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

Gao X.; G. Xie; J. Li; G. Shi; Q. Lai; Y. Huang. 2023. Design and validation of a centrifugal variable diameter pneumatic high-speed precision seed-metering device for maize. *Biosystems Engineering* (227):161-181

Garcia, L. C.; R. Jasper; M. Jasper; A. J. Fornari; J. Blum. 2006. Influência da velocidade de deslocamento na semeadura do milho. *Eng. Agríc.* 26(2): 520-527.

International Organization for Standardization. 1984. Sowing equipment – Test Methods – Part 1: Precision drills for sowing in lines. 7256/11.

Liu, W.; M. Tollenaar; G. Stewart; W. Deen. 2004. Within – row plant spacing variability does not affect corn yield. *Agron. J.* 96:275-280

Malinda, D. K. 1988. Optimization of broadacre seeder performance. Conference on Agricultural Engineering. Hawkesbury Agricultural College, N.S.W.: 457 – 459

Panning, J. W.; M. F. Kocher; J. A. Smith; S. D. Kachman. 2000. Laboratory and field-testing of seed spacing uniformity for sugarbeet planters. *Trans. of the ASAE*, 16(1):7-13.

Pizarro, M. 2015. Uniformidad de distribución de semillas de soja con dosificador de placa alveolada de eje vertical a tres velocidades de avance y dos profundidades de siembra. Tesis de Grado para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo otorgado por la Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. 27 pp. Disponible en: <http://ri.agro.uba.ar/greenstone3/library/collection/ti/document/2015pizarromaximo>

Satorre, E. H.; R. Benech Arnold. 2003. Producción de Granos. Bases funcionales de su manejo. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 279 pp.

- Satorre, E. H.** 2021. Variabilidad de la distancia entre plantas dentro de la hilera de siembra y su efecto sobre el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Argentina, Brasil y Estados Unidos. *Agronomía y Ambiente. Revista de la Facultad de Agronomía UBA.* 9 pp.
- Staggenborg, S. A.; R. K. Taylor; L. D. Maddux.** 2004. Effect of planter speed and seed firmers on corn stand establishment. *Trans. of the ASAE* 20(5):573-580.
- Shubeck, F. E.; H. G. Young.** 1970. Equidistant plant spacing. *Crops and Soils Magazine* 22:12-14. ISSN 0011-1864
- Singh, H.; H.L. Kushwaha; D. Mishra.** 2007. Development of seed drill for sowing on furrow slants to increase the productivity and sustainability of arid crops. *Biosystems Engineering*, 98(2):176-184
- Soza, E.L.; M.C.Tourn; J.C. Pollacino; J.Smith.** 1997. Labranza en franjas: adaptación de una maquina intersembradora de pasturas para la implantación de sorgo (*Sorghum R.*). *Rev. Facultad de Agronomía*, 17(2): 231-235
- Tesouro, M.O.; A. Romito; L. B. Donato.; N. Gonzalez; J. Elisei; D. Paredes; M. Rora.** 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.* 1ra ed. UNR Editora. p:263-271
- Tourn M. C.; E. L. Soza; R. Hidalgo; R. Di Marco.** 2003. Emergencia de soja de segunda sobre trigo en siembra directa. Parte II: efecto de la velocidad de avance. *Agrotécnia. Facultad de Ciencias Agrarias – UNNE.* 11: 30-36
- Yatskul, A.; J.P. Lemiere.** 2018. Establishing the conveying parameters required for the air-seeders *Biosystems Engineering*, 166:1-12
- Ward, W. P.** 2015. Evaluación de la uniformidad y eficiencia de implantación a velocidad de avance crecientes en la implantación de soja. Tesis de Grado. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.