



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Proyecto de Trabajo Final presentado para optar al Grado de Ingeniero

Agrónomo

Modalidad: Proyecto

Tema: Incidencia de dos tipos de dosificadores de semilla (mecánico y neumático) en la eficiencia de siembra de maíz: Distribución espacial sobre la hilera.

Matías Luis MIGLIA

DNI N° 34.789.497

Director: Ing. Agr. Ricardo R. MATTANA

Codirector: Ing. Agr. Roberto DEL CASTAGNER

Río Cuarto – Córdoba

Mayo 2016

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: Incidencia de dos tipos de dosificadores de semilla (mecánico y neumático) en la eficiencia de siembra de maíz: Distribución espacial sobre la hilera.

Autor: Miglia, Matías Luis

DNI: 34.789.497

Director: Ing. Agr. Ricardo R. MATTANA

Codirector: Ing. Agr. Roberto DEL CASTAGNER

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Jurado Evaluador:

Fecha de Presentación: 05/2016.

Aprobado por Secretaria Académica: 05/2016.

Secretario Académico

ÍNDICE

Resumen.....	Pág. III
Summary.....	Pág. IV
Introducción.....	Pág. 1
Hipótesis.....	Pág. 3
Objetivos.....	Pág. 3
Materiales y Métodos.....	Pág. 4
Resultados.....	Pág. 8
Discusión.....	Pág. 19
Conclusiones.....	Pág. 20
Bibliografía.....	Pág. 21
Anexo.....	Pág. 23

RESUMEN

Las sembradoras de siembra directa cuentan con la posibilidad de poder trabajar con distintos sistemas de dosificación, entre los cuales los más utilizados son los neumáticos y mecánicos. La capacidad del dosificador para entregar las semillas una por una está muy vinculada a la densidad poblacional y la distribución espacial de las plantas. Una mala distribución espacial de las semillas ocasionaría una disminución del rendimiento final del cultivo. El objetivo del presente trabajo es comparar las performances de un dosificador neumático y uno mecánico a distintas velocidades de siembra con semillas de maíz en laboratorio y a campo. Para ello se realizó un ensayo en el campus de la UNRC con un diseño de parcelas en franja (strip plot) conformando 6 tratamientos y 4 repeticiones. En todas las variables se analizaron los resultados por métodos estadísticos efectuando el ANAVA correspondiente, mediante el programa Info-Stat (Di Rienzo et al, 2011). La variable dosificador y velocidad no presentaron interacción estadísticamente significativa lo que nos permitió analizar ambas variables por separado. En laboratorio no hubo diferencia estadísticamente significativa en el distanciamiento medio entre semillas entre las tres velocidades, mientras que entre los dosificadores hubo diferencia a favor del tipo neumático. A campo el comportamiento fue diferente entre la variable velocidad, siendo a 7 km h^{-1} la de mejor comportamiento seguida por 5 y 9 km h^{-1} , en cuanto a los dosificadores hubo diferencia estadísticamente significativa a favor del mecánico. El desvío estándar medio de la distancia entre semillas y la pérdida de rendimiento a campo en ambos tipos de dosificadores aumentaron a medida que se incrementó la velocidad; en laboratorio este comportamiento fue igual en el dosificador neumático no ocurriendo lo mismo en el mecánico donde el menor desvío estándar y la menor pérdida de rendimiento se observó a 7 km h^{-1} seguido por 5 km h^{-1} y por último a 9 km h^{-1} . El mayor porcentaje de datos considerados correctos en laboratorio en el dosificador neumático ocurrió a 5 km h^{-1} , mientras que en el de tipo mecánico ocurrió a 7 km h^{-1} ; a campo los resultados fueron los mismos tanto para mecánico como neumático teniendo el mayor porcentaje de datos correcto en el tratamiento a 5 km h^{-1} . En lo que se refiere al porcentaje de datos en el intervalo $\bar{x} \pm 5 \text{ cm}$ en laboratorio se observó que en ambos tipos de dosificadores a medida que aumentamos la velocidad la cantidad de datos en dicho intervalo disminuye; por otro lado a campo el dosificador mecánico tuvo el mismo comportamiento que en banco, no ocurriendo lo mismo con el de tipo neumático ya que el mayor porcentaje de datos en dicho intervalo ocurrió a 7 km h^{-1} . Por último al analizar el rendimiento se observó que no hubo diferencia estadísticamente significativa entre las tres velocidades pero si entre el tipo de dosificador siendo el neumático el que presentó un mayor rendimiento.

Palabras claves: dosificador, neumático, mecánico, velocidad, uniformidad, maíz.

SUMMARY

At present, tillage seeders are able to work with different dosing systems, among which the most used are the pneumatic and mechanical ones. The ability of the dispenser to deliver the seeds one by one is very linked to population density and spatial distribution of plants. Poor spatial distribution of the seeds results in reduced end crop yield. The aim of this study is to compare the performances of a pneumatic seed metering and one mechanic at different speeds planting corn seed laboratory and field. The experiment was carried out in the campus of the UNRC with interaction a strip plot design in strip (strip plot) forming 6 treatments and 4 repetitions. In all variables the results were analyzed by statistical methods making the corresponding ANOVA, the program Info-Stat (Di Rienzo et al, 2011). The variable speed metering no statistically significant which allowed us to analyze both variables separately . In the laboratory there was no statistically significant difference in the mean distance between seeds between three speeds, while among the dispensers there was a difference in favor of the pneumatic type. A field behavior was different between the variable speed being 7 km h⁻¹ the best performers followed by 5 to 9 km h⁻¹, as regards metered dose there was statistically significant difference in favor of the mechanic. The average standard deviation of the distance between seeds and loss of field performance in both types of dispensers increased as the speed is increased; Behavior Laboratory was the same in the metering tire which did not happen in the mechanical where the lower standard deviation and lower performance loss was observed at 7 km h⁻¹ followed by 5 km h⁻¹ and finally to 9 km h⁻¹. The highest percentage of laboratory data considered correct tire occurred in the dispenser 5 km h⁻¹, while the mechanical occurred 7 km h⁻¹; to field the results were the same for both mechanical and pneumatic having the highest percentage of correct data in treating 5 km h⁻¹. Regarding the data rate in the interval $x \pm 5$ cm laboratory was observed that in both types of dispensers as we increase the speed the data amount decreases in this interval; In addition to the mechanical metering field had the same behavior as in the bank, which did not happen with the tire type as the highest percentage of data in that interval occurred at 7 km h⁻¹. Finally to analyze performance shows that no statistically significant difference among the three speeds but if between the types of dispenser being the pneumatic which had a higher yield.

Keywords: dispenser, pneumatic, mechanical, speed, consistency, corn.

INTRODUCCIÓN

Las sembradoras de siembra directa, cuentan, en la actualidad con la posibilidad de trabajar con distintos sistemas de dosificación, entre los cuales los más utilizados son los dosificadores neumáticos y mecánicos siendo los eléctricos aún no muy difundidos. Los dosificadores mecánicos se caracterizan por utilizar placas con perforaciones adaptadas al tamaño y forma de la semilla. Para obtener buenos resultados con estos mecanismos se requiere de semillas que hayan sido previamente clasificadas en diferentes calibres. Aún con la semilla uniformemente calibrada, es necesario elegir con mucha precisión la placa distribuidora a utilizar en el dosificador; la adecuada relación del tamaño de la semilla con la perforación de la placa y su espesor, asegurará la entrega de una semilla por vez, estando esta condición asociada al grado de libertad que tenga la semilla para alojarse dentro de la celda. Si las semillas se alojan muy estrechamente en las perforaciones, la carga de las celdas puede resultar incompleta; mientras que, por el contrario, una excesiva holgura originará la entrega de dos o más semillas juntas. Otra de las dificultades con que cuentan estos dosificadores es la presencia de enrasadores y de gatillos encargados de la expulsión de la semilla los cuales si no están regulados adecuadamente generarán una mayor rotura de semillas pudiendo afectar el poder germinativo (Hunt, 1983).

En los dosificadores neumáticos el tamaño del alveolo es menor que el de la semilla a dosificar. La captación y retención de la semilla en los alveolos se realiza por medio de una corriente de aire que fluye a través de éstos debido a una diferencia de presión a ambos lados de la placa. En el caso de los dosificadores por vacío, la corriente succiona la semilla hacia el alveolo, porque la placa se ubica entre ésta y la fuente de depresión. La fuerza de retención hace que la semilla se mantenga adherida a la placa en el alvéolo. De esta manera puede ser transportada desde el talud de semillas hasta el punto de descarga, donde se corta la corriente de aire y desaparece la fuerza de succión. Este principio de funcionamiento implica que la semilla no deba introducirse en el alveolo, lo que permite dosificar material desuniforme en forma y tamaño, además de causarle menor daño mecánico, lo que sería una ventaja con respecto a los dosificadores de tipo mecánico, ya que la eficiencia de implantación y uniformidad de siembra serán mayores lo que generará un mayor rendimiento (D'ámico y Tesouro, 2007). La principal ventaja que debe valorarse en un dosificador neumático es la polivalencia, es decir la capacidad de manejar semillas desuniformes. La inversión en estos equipos queda plenamente justificada

cuando se la compara con el costo de implantación del cultivo debiéndose considerar la posibilidad de adquirir semillas sin calibrar, de menor precio pero igual calidad genética. También es necesario tener en cuenta la facilidad de operación del equipo y los tiempos economizados en la selección de las placas, incluyendo su adaptación e instalación en la sembradora para cada cambio de calibre de semilla (Maroni, 2001).

La capacidad del dosificador de la sembradora para entregar las semillas una por una está muy vinculada a la densidad poblacional y la distribución espacial de las plantas, estando estos factores asociados al manejo eficaz de un cultivo para que éste exprese su máximo potencial de rendimiento. El efecto de la desuniformidad espacial de plantas sobre el rendimiento del cultivo de maíz está asociado a la disponibilidad de recursos por planta. Dentro de ciertos rangos, el rendimiento adicional de las plantas con más recursos compensa el menor rendimiento de las plantas con mayor nivel de competencia. No obstante, existen situaciones extremas, donde se establecen jerarquías de plantas dominantes y dominadas, presentando, éstas últimas, son relegadas y producen menores rendimientos (Andrade et al., 1999).

Otro factor importante al evaluar la calidad de siembra de una sembradora es la velocidad de avance ya que la misma tiene relación directa con el trabajo del dosificador (Maroni, 2001). La velocidad de avance de las máquinas para siembra directa es menor que en las sembradoras convencionales. Características de diseño (tipo de abresurco y espaciamiento entre ellos) y la situación de operación (volumen y tipo de rastrojo) son las variables que la condicionan (Baumer et al. 1994). Las altas velocidades de avance con abundante rastrojo en superficie, favorecen los atoramientos y pueden afectar el cubrimiento de la semilla, efectos que determinan la sugerencia, por parte de los fabricantes, de operar a velocidades que no excedan los 6 km h^{-1} (Maroni, 2001). La velocidad de trabajo afecta tanto la dosificación como la distribución, ya que velocidades de siembra por encima de 4 km h^{-1} producen un aumento del desvío estándar en la distribución de las plantas y una disminución en el peso de las espigas; disminuyendo el rendimiento en grano (Balboa et al., 2010) e incrementa el daño de la semilla por parte de los dosificadores (Tourn et al., 1998), mientras que exceder los 8 km h^{-1} provoca desuniformidad en la profundidad de siembra (Delafosse, 1982). El efecto de estos factores incide directamente en la población, por lo que las velocidades de avance crecientes disminuyen el stand de plantas logradas y la uniformidad de distribución espacial (Baker, 1994), (Balboa et al. 2010).

Nielsen (2001) luego de 6 años de estudios sobre la distribución espacial en cultivos de maíz, 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.

Bajo el supuesto de que para una misma población, la mayor o menor uniformidad entre las plantas en la línea de siembra está dada por el tipo de dosificador y la velocidad de avance se plantea la siguiente investigación.

HIPÓTESIS

El distribuidor neumático de semillas asociado a una baja velocidad de siembra logrará una mayor eficiencia y uniformidad de siembra de maíz con respecto al dosificador mecánico, evitando de este modo la existencia de plantas con mayor o menor disponibilidad de recursos, lo que redundará en el rendimiento de granos.

OBJETIVOS

General

Comparar en laboratorio y a campo las performances de un distribuidor de semillas neumático y otro mecánico a distintas velocidades de siembra con semillas de maíz.

Específicos

- Determinar en laboratorio (banco de ensayo de sembradoras) la uniformidad del dosificador neumático y otro mecánico en cuanto a la distribución cinemática de las semillas en las hileras basada en Normas de Ensayos para sembradoras de granos gruesos.
- Evaluar a campo la uniformidad de distribución espacial de semillas y su influencia sobre el rendimiento en grano de maíz, con ambos dosificadores y a distintas velocidades de siembra.

MATERIALES Y MÉTODOS

A efectos de evaluar las prestaciones de dos tipos de dosificadores para maíz, en el mes de Septiembre del 2013 se efectuaron ensayos comparativos de laboratorio y a campo utilizando dos sembradoras equipadas, en cada caso con dosificadores neumáticos por succión y mecánicos de placa alveolada horizontal.

Cabe aclarar que las dos sembradoras poseen características constructivas similares, manteniendo el mismo tren de siembra, lo que garantiza que la única diferencia existente entre ambas sea el tipo de dosificación y entrega de las semillas.

Ensayo en laboratorio

Se utilizó un banco de ensayo estático de sembradoras construido en la Cátedra de Maquinaria Agrícola de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto según norma internacional ISO 7256-1 (Sowing equipment – Test methods – Part 1: Single seed drills). En el mismo se simula el movimiento relativo máquina-suelo mediante una cinta accionada por un motor eléctrico y cubierta con un material adherente donde quedan localizadas (retenidas) las semillas entregadas por el dosificador dispuesto en forma estacionaria.

Se utilizó semilla híbrida de maíz (Nidera AX 870), cuya granulometría fue adecuada al calibre de la placa del dosificador mecánico.

Determinaciones y calibraciones realizadas

- Control estático de uniformidad de distribución sobre la línea.
- Velocidades ensayadas: 5, 7 y 9 km h⁻¹.
- Altura caída de granos. Se midió la caída libre de la semilla (en mm) desde la salida del dosificador hasta la cinta receptora, logrando que la misma sea idéntica (50 mm) en los dos tipos de dosificadores.
- Media teórica (\bar{X}). Se calibró el dosificador para lograr una densidad equivalente a una distancia teórica entre semillas de maíz: $\bar{X}= 200$ mm.
- Densidad (semillas/hectárea): 71.400
- Cantidad de datos: ($n= \sum Mi$) (mínimo= 150)

- Media real: ($\bar{x} = \sum xi/n$). Siendo: xi = distancia real entre semillas consecutivas y n = cantidad de datos.
- Desvió estándar: $S = \sqrt{(\sum(xi-\bar{x})^2)/(n-1)}$
- Coeficiente de Variación: $CV = S/\bar{x} * 100$
- Fallas: $xi > (1,5*X)$
- Duplicaciones o multiplicación: $xi < 0,5*X$
- Porcentaje de datos en los intervalos: ($\bar{x} \pm 1$ cm, $\bar{x} \pm 2$ cm, $\bar{x} \pm 3$ cm, $\bar{x} \pm 4$ cm, $\bar{x} \pm 5$ cm).

Ensayo comparativo a campo

Se efectuó en el campo de docencia y experimentación de la UNRC ubicado geográficamente a 33° 07' S y 64° 14' W, en la zona de Río Cuarto, provincia de Córdoba, Argentina, sobre un suelo franco arenoso clasificado taxonómicamente como Hapludol típico.

A efectos de obtener resultados y conclusiones sobre el desempeño de los dosificadores, se efectuaron los ensayos comparativos de acuerdo a la siguiente metodología:

Diseño experimental y tratamientos.

Se utilizó un diseño de parcelas en franja (strip plot) conformando 6 tratamientos y 4 repeticiones. Los mismos quedan definidos como se describe a continuación:

1. Sembradora de siembra directa, provisto de dosificador de semillas neumático tipo Clic Agrometal y tren de siembra conformado por cuchilla de microlabranza tipo turbo; discos doble de apertura de la línea de siembra con doble rueda niveladora, rueda fijadora de la semilla y rueda empaquetadora con discos estrellados para el cierre del surco, trabajando a 5 km h⁻¹ (N5).
2. Idem a punto 1, trabajando a 7 km h⁻¹ (N7).
3. Idem a punto 1, trabajando a 9 km h⁻¹ (N9).
4. Sembradora de siembra directa, provisto de dosificador de semillas mecánico de placa horizontal tipo Agrometal y tren de siembra, trabajando a 5 km h⁻¹ (M5).
5. Idem a punto 4, trabajando a 7 km h⁻¹ (M7).
6. Idem a punto 4, trabajando a 9 km h⁻¹ (M9)

PARCELA	BLOQUE	TIPO DE DOSIFICADOR	VELOCIDAD (Km h ⁻¹)		
B	B	N	7	7	7
1	I	N	7	9	5
2		M	7	9	5
3	II	M	5	7	9
4		N	5	7	9
5	III	M	9	7	5
6		N	9	7	5
7	IV	N	7	9	5
8		M	7	9	5
B	B	M	7	7	7

Figura 1: Diseño de parcelas en franja (*strip plot*) conformando 6 tratamientos y 4 repeticiones delimitado por borduras (B). M: dosificador mecánico. N: dosificador neumático.

Materiales y condiciones de siembra y de cultivo:

Se utilizó semilla de maíz del mismo híbrido (Nidera AX 870) de granulometría adecuada al calibre de las placas de siembra de los dosificadores mecánicos. Se calibraron y regularon los equipos de modo de lograr idéntica densidad y profundidad de siembra en todos los tratamientos. La distancia entre líneas de siembra fue de 700 milímetros. Los ensayos se realizaron sobre rastrojo de trigo siendo la fecha de siembra el 10 de Diciembre. Se realizó la práctica de riego por aspersión con un sistema de avance frontal, el cual estuvo a cargo por la cátedra de hidrología de la UNRC encargada de decidir el momento y cantidad de riego según las condiciones edafo-climáticas y necesidades del cultivo a lo largo de su ciclo para evitar la ocurrencia de un estrés hídrico y minimizar su influencia sobre el rendimiento del cultivo, principalmente.

Determinación de las variables a medir:

- *Control cinemático de uniformidad de distribución sobre la línea:* se calculó el índice de dispersión de espaciamiento entre plantas ($S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}$), como un factor que, conjuntamente con las fallas y duplicaciones, inciden en la competencia entre plantas y por ende en la existencia de plantas dominadas, lo que afecta finalmente el rendimiento de granos, definiendo en gran medida el comportamiento de una máquina. Estas variables dependen, en el caso de las sembradoras ensayadas, exclusivamente del dosificador de semilla, ya que el tren de siembra es el mismo para ambas. Las evaluaciones se realizaron en una línea de siembra elegida al azar.

- *Rendimiento de granos:* se realizó la cosecha en forma manual, tomando muestras representativas (mínimo 10 m² de cada parcela experimental), en todos los tratamientos y repeticiones, cuando el grano alcanzó el grado de humedad adecuado, luego de madurez fisiológica y ajustando el rendimiento al 14 % de humedad. Debido a la ubicación del ensayo en inmediaciones de la U.N.R.C. y a la limitación que esto implica en cuanto al control químico de plagas, el cultivo tuvo un daño importante por *Spodoptera frugiperda* y aves lo que no permitió obtener el número total de sub-muestras (24). Como consecuencia de esta imposibilidad se decidió aplicar un cálculo para determinar la pérdida teórica de rendimiento que ocurre por una mayor desuniformidad (SD) de siembra. La ecuación elegida determina una pérdida del rendimiento potencial del maíz de 62 kg ha⁻¹ por cada centímetro de desvío estándar por encima de 5 cm (Nielsen, *et al.* 2001). En otro trabajo realizado por Balboa *et al.* 2010 presentado en el IX Congreso Nacional de Maíz en Rosario se midieron pérdidas de rendimiento superiores a las de Nielsen siendo estas de 181 kg ha⁻¹ por cada centímetro de aumento del SD.

Análisis estadístico

Todas las variables evaluadas presentaron una distribución normal y homogénea lo que no hizo falta ninguna transformación previa de datos. En todas las variables se analizaron los resultados por métodos estadísticos utilizando promedios de muestras de cada tratamiento y efectuando el ANAVA correspondiente y la comparaciones de medias mediante el programa Info-Stat (Di Rienzo *et al.* 2011).

RESULTADOS

Ensayo de laboratorio

Al observar la tabla 1 se pueden apreciar los valores de probabilidad del ANAVA para la variable distancia media entre semillas, desvío estándar promedio, porcentaje de datos correctos, porcentaje de datos en el intervalo $\bar{X} \pm 5$ cm y pérdida teórica de rendimiento. El tipo de dosificador tuvo efecto significativo sobre la distancia media entre semillas, desvío estándar promedio y porcentaje de datos en el intervalo $X \pm 5$ cm. Por otro lado, la velocidad de avance tuvo efecto significativamente en el porcentaje de datos considerados correctos y porcentaje de datos en el intervalo $X \pm 5$ cm; mientras que la pérdida teórica de rendimiento no fue afectada estadísticamente por ninguno de los dos tratamientos.

Cuadro 1: Resultados del ANAVA aplicado a las variables evaluadas en condiciones de laboratorio

Fuentes de variación		Distancia media entre semillas (cm)	DS promedio(cm)	Porcentaje de datos correctos (10-30 cm)	Porcentaje de datos en intervalo $x \pm 5$ cm	Pérdida de rendimiento teórica (kg h ⁻¹)
Dosificador	N	20,57 B	4,33 A	89,33 A	88,3 B	13,3 A
	M	19,08 A	5,67 B	90 A	82,33 A	43,4 B
Velocidad (km h ⁻¹)	5	19,77 a	4,5 a	94 b	88 b	0 a
	7	19,37 a	4,5 a	94,5 b	85,95 b	9,3 a
	9	20,33 b	6 b	80,5 a	80,27 a	76 b
Valor p	V	0,06	0,1	0,03	0,04	0,16
	D	<0,0001	0,05	0,72	0,02	0,29

Referencias: D: dosificador (N: neumático, M: mecánico); V: velocidad (5,7 y 9 km h⁻¹); DS: desvío estándar. Letras distintas entre los niveles de cada factor indican diferencias estadísticamente significativas según test DGC ($p 0,05$).

De todas las variables analizadas el desvío estándar es la que genera mayor efecto sobre el resultado de todas las demás. Así, si se analiza el índice de dispersión (SD) entre los tratamientos es notable observar (Figura 2) que con el aumento de la velocidad el desvío estándar se incrementa siendo las velocidades de 5 y 7 km h⁻¹ las que presentan el mejor comportamiento diferenciándose del tratamiento a 9 km h⁻¹ en el cual el mismo se incrementa un 33,3 % con

respecto a las otras velocidades. Al analizar esta variable en respuesta al tipo de dosificador, se observa que el neumático presenta menor DS y el mecánico un valor 30,9 % superior.

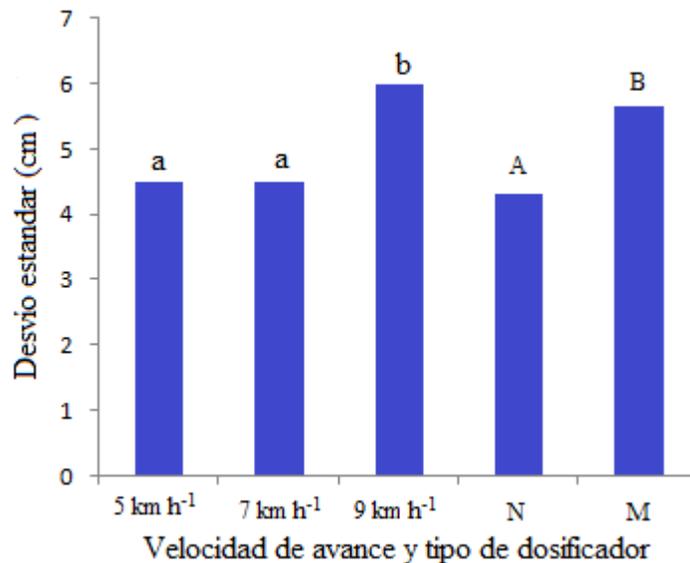


Figura 2: Desvío estándar promedio de la distancia entre semillas media en laboratorio según la velocidad de avance y el tipo de dosificador en laboratorio. Letras distintas entre los niveles de cada factor, indican diferencias significativas según test DGC ($p: 0,05$).

Ensayo a campo

En la tabla 2 se observan los valores de probabilidad del ANAVA para la distancia media entre semillas, el desvío estándar promedio, porcentaje de datos correctos y de datos en el intervalo $\bar{X} \pm 5$ cm y la pérdida de rendimiento teórica según tipo de dosificador, velocidad de avance y su interacción. La velocidad de avance afectó significativamente a todas las variables analizadas, mientras que el tipo de dosificador solo tuvo efecto significativo sobre la distancia media entre semillas. La interacción dosificador por velocidad de avance no presentó efecto significativo sobre ninguna de las variables analizadas.

Cuadro 2: Resultado del ANAVA aplicado a las variables evaluadas en el experimento a campo.

Fuentes de variación		Distancia media entre semillas (cm)	DS promedio(cm)	Porcentaje de datos correctos (10-30 cm)	Porcentaje de datos en intervalo $\bar{x} \pm 5$ cm	Pérdida de rendimiento teórica (kg h-1)
Dosificador	N	24 A	10 A	78,8 A	69 A	339 A
	M	19,6 B	9,58 A	79,44 A	65,25 A	260 A
Velocidad (km h-1)	5	21,9 a	8,13 a	83,44 b	74,25 b	196 a
	7	20,5 a	9,25 a	81,26 b	68,88 b	268 a
	9	23 b	12 b	72,82 a	58,25 a	433 b
Valor p	V	0,009	0,019	0,01	0,006	0,03
	D	<0,0001	0,68	0,95	0,29	0,25
	V x D	0,55	0,14	0,78	0,4	0,72

Referencias: D: dosificador (N: neumático, M: mecánico); V: velocidad (5,7 y 9 km h⁻¹); DS: desvío estándar. Letras distintas entre los niveles de cada factor indican diferencias estadísticamente significativas según test DGC (p: 0,05).

Al igual que en laboratorio, al analizar el índice de dispersión (DS) como variable que mayor efecto genera sobre las demás, es notable observar en la figura 3 que a medida que se incrementa la velocidad de avance el desvío estándar aumenta siendo las velocidades de 5 y 7 km h⁻¹ las que presentan el mejor comportamiento, mientras que a 9 km h⁻¹ el DS se incremento un 29,7 %. Si se compara esta misma variable entre los dos tipos de dosificadores se observa que no existió diferencia estadísticamente significativa entre ambos.

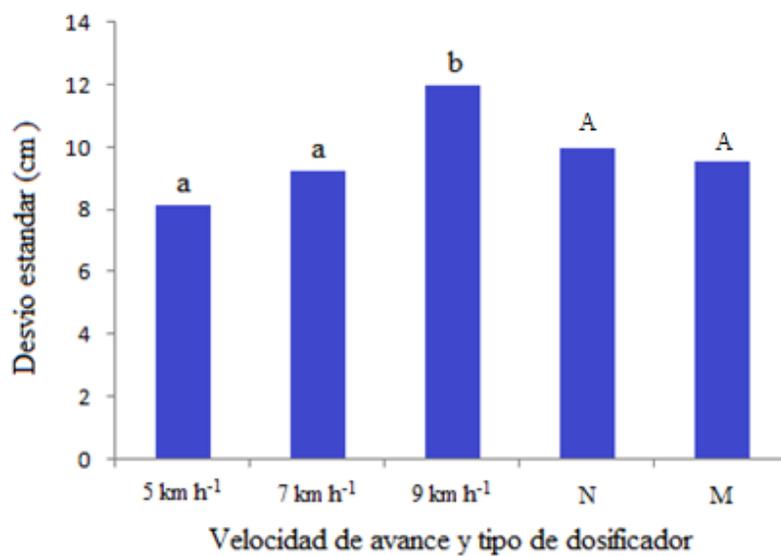


Figura 3. Desvío estándar medio de la distancia entre semillas según la velocidad de avance y tipo de dosificador en experimento a campo. Letras distintas entre los niveles de cada factor, indican diferencias significativas según el test DGC (p: 0,05)

DISCUSIÓN

Al analizar las tablas 1 y 2 en cuanto a la distancia media entre semillas/plantas, se observa que tanto a campo como en laboratorio las velocidades de 5 y 7 km h⁻¹ son las que presentaron el mejor comportamiento diferenciándose del tratamiento a 9 km h⁻¹. Al comparar los dosificadores, en banco se puede observar diferencia estadísticamente significativa a favor del tipo neumático mientras que a campo el resultado fue diferente siendo el de tipo mecánico el que presentó una mejor distribución promedio.

En lo que respecta al desvío estándar se puede interpretar claramente que éste aumenta a medida que la velocidad de siembra se incrementa y esto se puede observar tanto en laboratorio como a campo coincidiendo con lo expresado por Delafosse, 1985, Baker, 1994 y Balboa 2010. Las posibles causas del efecto de la velocidad de avance se pueden resumir en que a medida que esta aumenta se incrementa la velocidad de caída de las semillas en los tubos de descarga y la velocidad instantánea de llegada al suelo, con lo cual la disposición espacial pierde uniformidad. Cuando comparamos esta variable entre los dos tipos de dosificadores en laboratorio, hubo concordancia con lo planteado por D'Amico y Tesouro, 2007 sobre que el dosificador neumático por su principio de funcionamiento presentó un menor desvío estándar y por lo tanto una mayor uniformidad de siembra con respecto al tipo mecánico. A campo el resultado fue diferente, siendo el dosificador mecánico el que presentó un menor desvío estándar y por ende una mayor uniformidad de siembra.

Al relacionar la pérdida de rendimiento con el desvío estándar fue de gran interés aplicar la tasa de merma formulada por Nielsen (2001) ya que no se pudo obtener una muestra confiable de rendimiento en todas las parcelas por los problemas de plagas ya descritos. Los resultados obtenidos con esa fórmula verificaron que tanto en banco de prueba como a campo, con el aumento de velocidad, el desvío estándar y el coeficiente de variación también aumentan generando la mayor pérdida de rendimiento en la velocidad de 9 km h⁻¹. Algunas de las razones por las cuales ocurre esta pérdida de rendimiento pueden ser el stand de plantas desuniforme y la sobredensidad que según Andrade *et al.* 1999 ejerce un efecto de competencia apareciendo plantas dominantes y dominadas. Generalmente estas últimas no pueden recuperarse al avanzar su ciclo y como consecuencia sufren caída del rendimiento. Otro de los efectos causados por las altas velocidades es el escaso copiado del terreno lo que trae aparejado una menor uniformidad en la profundidad de siembra quedando semillas en distintas condiciones de germinación lo que

explicaría la gran diferencia en los resultados observados en laboratorio y a campo donde ocurre una mayor desuniformidad (Delafosse, 1982).

En lo que se refiere al porcentaje de datos considerados correctos y porcentaje de datos en intervalo $x \pm 5$ cm tanto en laboratorio como a campo resulta evidente que a medida que se aumenta la velocidad de avance esta proporción tiende a disminuir observándose los mayores porcentajes a 5 y 7 km h⁻¹. Al comparar esta variable entre los dosificadores se observa que a campo no hubo diferencia significativa entre ambos, mientras que en laboratorio el de tipo neumático presentó un mayor porcentaje de datos en dicho intervalo.

CONCLUSIÓN

Velocidades de siembra superiores a 7 km h^{-1} producen un aumento de los coeficientes de variación de la distancia entre semillas, aumentando la desuniformidad espacial y como consecuencia la pérdida teórica de rendimiento. También es posible observar que al superar esta velocidad el porcentaje de datos considerados correctos disminuye significativamente. Velocidades menores a esta permitirán obtener mejor calidad de siembra y por ende menor pérdida de rendimiento.

Los tipos de dosificadores presentaron resultados diferentes en laboratorio y a campo, siendo el de tipo neumático el que mejor desempeño presento en las pruebas estáticas, mientras que a campo no hubo diferencia entre ambos tipos, salvo en la variable distancia media entre semillas en la cual el mecánico presento el mejor comportamiento. Estos resultados se pueden adjudicar a que a campo el terreno juega un rol muy importante dejando a las semillas a diferentes profundidades y por lo tanto en diferentes condiciones de germinación. Estas afirmaciones nos permiten concluir en que si ambos tipos de dosificadores están regulados correctamente lo que termina por definir en gran medida la calidad de siembra es la velocidad de avance.

BIBLIOGRAFÍA

ANDRADE, F.H.; VEGA, C.; UHART S.; CIRILO A.; CANTARERO M.; VALENTINUZ O.
1999. Kernel number determination in maize. *Crop Sci.* 39: 453–459.

BALBOA, G.R., ESPÓSITO, G.P., CASTILLO, C.A., BALBOA, R.G. y DE DESEO, G.
Uniformidad espacial de plantación en maíz (*Zea mays L.*). En: IX Congreso Nacional de Maíz.
Rosario. 17-19 de Noviembre. Consultado: 12/07/14

BAUMER, C.; C. DEVITO y N. GONZALEZ. 1994. Sembradoras directas de granos finos.
Boletín de Extensión n° 9. PAC-BAN n°5. 24 pp.

BOLTON F.E., BOOSTER D.E., 1981. Strip-Till Planting in Dryland Cereal Production.
Transactions of the ASAE 59, 59-62.

BAKER C. J., 1994. Sistema cross-slot: fundamentos científicos y experimentación. II
Conferencia sobre Experiencias Internacionales en Siembra Directa. *Revista Agronomía* 2000 5,
13-17

D´AMICO, J y O. TESOURO, 2007. Dosificadores neumáticos por succión: Pautas de uso y
regulación para la siembra de precisión. INTA Castelar, Buenos Aires. PP: 24.

DELAFOSSE, R. 1982. Preparacion para trabajo de sembradoras de granos finos. INTA.
Departamento de ingeniería rural, información técnica, serie sembradoras n° 1,5 p.

DELAFOSSÉ, R. 1985. Estudio comparativo de eficiencia de planteo entre dos sistemas mecánicos en siembra de trigo. Departamento de ingeniería rural, información técnica, serie de sembradoras n° 20,5p.

DI RIENZO, J.A., F. CASANOVES, M.G. BALZARINI, L. GONZALEZ, M. TABLADA, C.W. ROBLEDO InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL. [http= //www.infostat.com.ar](http://www.infostat.com.ar)

HUNT, D., 1983. *Maquinaria agrícola*. Limusa SA, México. p.p. 147-153.

MARONI, J., 2001. *Prestaciones de diferentes dosificadores neumáticos y mecánicos para la siembra de maíz*. Texto de apoyo, Facultad de Ciencias Agrarias, UNR.

NIELSEN B, 2001. Stand Establishment Variability in corn (Agry-91-01). En: www.agry.purdue.edu/ext/corn. Consultado: 10/07/14

PHILLIPS, S. and YOUNG, H. 1973. No-Tillage Farming. Reiman Associates, Milwaukee, Wisconsin. 224 pp.

TOURN M. C.; E. L. SOZA y R. L. SOLESSIO. 1998. Efecto de dos dosificadores de expulsión forzada en la semilla de soja. Revista de la Facultad de Agronomía, 18 (1 - 2): 123 - 126.

ANEXOS

Resultado del ANAVA de la variable distancia entre plantas.

Anexo 1: Análisis a campo.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Distancia entre plantas	927	0.06	0.05	47.32

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5912.69	8	739.09	6.91	<0.0001
Bloque	271.52	3	90.51	0.85	0.4687
Velocidad	1007.48	2	503.74	4.71	0.0092
Dosificador	4541.75	1	4541.75	42.47	<0.0001
Velocidad*Dosificador	126.81	2	63.40	0.59	0.5529
Error	98169.36	918	106.94		
Total	104082.05	926			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=1.7001

Error: 106.9383 gl: 918

Velocidad	Medias	n	E.E.	
7.00	20.53	307	0.59	A
5.00	21.91	308	0.59	A
9.00	23.08	312	0.59	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=1.3339

Error: 106.9383 gl: 918

Dosificador	Medias	n	E.E.	
M	19.63	463	0.48	A
N	24.06	464	0.48	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=2.3999

Error: 106.9383 gl: 918

Velocidad	Dosificador	Medias	n	E.E.	
7.00	M	17.80	153	0.84	A
5.00	M	19.95	154	0.83	B
9.00	M	21.14	156	0.83	B
7.00	N	23.27	154	0.83	C
5.00	N	23.88	154	0.83	C
9.00	N	25.02	156	0.83	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 2: Análisis en laboratorio.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Distancia entre semillas	900	0.03	0.02	25.81

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	706.01	5	141.20	5.39	0.0001
Velocidad	139.97	2	69.99	2.67	0.0696
Dosificador	504.00	1	504.00	19.25	<0.0001
Error	23402.03	894	26.18		
Total	24108.04	899			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.8537

Error: 26.1768 gl: 894

Velocidad	Medias	n	E.E.	
7.00	19.37	300	0.30	A
5.00	19.77	300	0.30	A
9.00	20.33	300	0.30	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.6694

Error: 26.1768 gl: 894

Dosificador	Medias	n	E.E.	
M	19.08	450	0.24	A
N	20.57	450	0.24	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=1.2031

Error: 26.1768 gl: 894

Velocidad	Dosificador	Medias	n	E.E.	
7.00	M	18.54	150	0.42	A
5.00	M	18.75	150	0.42	A
9.00	M	19.94	150	0.42	B
7.00	N	20.20	150	0.42	B
9.00	N	20.73	150	0.42	B
5.00	N	20.79	150	0.42	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Resultados del ANAVA de la variable desvío estándar.

Anexo 3: Análisis a campo.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Desvío Estandar	24	0.51	0.25	25.36

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	97.50	8	12.19	1.98	0.1214
Bloque	5.79	3	1.93	0.31	0.8156
Dosificador	1.04	1	1.04	0.17	0.6868
Velocidad	63.58	2	31.79	5.16	0.0197
Dosificador*Velocidad	27.08	2	13.54	2.20	0.1456
Error	92.46	15	6.16		
Total	189.96	23			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=2.1020

Error: 6.1639 gl: 15

Dosificador	Medias	n	E.E.
M	9.58	12	0.72 A
N	10.00	12	0.72 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=2.7044

Error: 6.1639 gl: 15

Velocidad	Medias	n	E.E.
5.00	8.13	8	0.88 A
7.00	9.25	8	0.88 A
9.00	12.00	8	0.88 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=3.9525

Error: 6.1639 gl: 15

Dosificador	Velocidad	Medias	n	E.E.
M	5.00	7.50	4	1.24 A
M	7.00	8.00	4	1.24 A
N	5.00	8.75	4	1.24 A
N	7.00	10.50	4	1.24 A
N	9.00	10.75	4	1.24 A
M	9.00	13.25	4	1.24 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 4: Análisis en laboratorio.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Desvío Estandar	6	0.94	0.86	8.16

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5.67	3	1.89	11.33	0.0822
Dosificador	2.67	1	2.67	16.00	0.0572
Velocidad	3.00	2	1.50	9.00	0.1000
Error	0.33	2	0.17		
Total	6.00	5			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.9255

Error: 0.1667 gl: 2

Dosificador	Medias	n	E.E.
N	4.33	3	0.24 A
M	5.67	3	0.24 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=1.4751

Error: 0.1667 gl: 2

Velocidad	Medias	n	E.E.
7.00	4.50	2	0.29 A
5.00	4.50	2	0.29 A
9.00	6.00	2	0.29 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Resultados del ANAVA de la variable porcentaje de datos en el intervalo 10 cm. - 30 cm.

Anexo 5: Análisis a campo

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
‰ de datos en intervalo 10..	24	0.49	0.22	8.85

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	732.07	8	91.51	1.81	0.1537
bloque	186.53	3	62.18	1.23	0.3339
Dosificador	0.21	1	0.21	4.1E-03	0.9500
Velocidad	520.63	2	260.31	5.14	0.0199
Dosificador*Velocidad	24.71	2	12.35	0.24	0.7865
Error	759.10	15	50.61		
Total	1491.17	23			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=6.0230

Error: 50.6070 gl: 15

Dosificador	Medias	n	E.E.
N	80.28	12	2.05 A
M	80.46	12	2.05 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=7.7491

Error: 50.6070 gl: 15

Velocidad	Medias	n	E.E.
9.00	73.82	8	2.52 A
7.00	83.01	8	2.52 B
5.00	84.27	8	2.52 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=11.3253

Error: 50.6070 gl: 15

Dosificador	Velocidad	Medias	n	E.E.
N	9.00	72.65	4	3.56 A
M	9.00	74.99	4	3.56 A
M	7.00	81.74	4	3.56 A
N	5.00	83.90	4	3.56 A
N	7.00	84.28	4	3.56 A
M	5.00	84.65	4	3.56 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 6: Análisis en laboratorio

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
‡ de datos en intervalo 10..	6	0.97	0.92	2.28

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	253.00	3	84.33	20.24	0.0474
Dosificador	0.67	1	0.67	0.16	0.7278
Velocidad	252.33	2	126.17	30.28	0.0320
Error	8.33	2	4.17		
Total	261.33	5			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=4.6274

Error: 4.1667 gl: 2

Dosificador	Medias	n	E.E.	
M	89.33	3	1.18	A
N	90.00	3	1.18	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=7.3756

Error: 4.1667 gl: 2

Velocidad	Medias	n	E.E.	
9.00	80.50	2	1.44	A
5.00	94.00	2	1.44	B
7.00	94.50	2	1.44	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Resultados del ANAVA de la variable porcentaje de datos en el intervalo 15 cm. - 25 cm.

Anexo 7: Análisis a campo

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% de datos en intervalo 15..	24	0.55	0.31	12.66

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1327.67	8	165.96	2.30	0.0784
Bloque	42.79	3	14.26	0.20	0.8964
Dosificador	84.37	1	84.37	1.17	0.2967
Velocidad	1060.75	2	530.38	7.35	0.0060
Dosificador*Velocidad	139.75	2	69.88	0.97	0.4024
Error	1082.96	15	72.20		
Total	2410.63	23			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=7.1939

Error: 72.1972 gl: 15

Dosificador	Medias	n	E.E.
M	65.25	12	2.45 A
N	69.00	12	2.45 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=9.2557

Error: 72.1972 gl: 15

Velocidad	Medias	n	E.E.
9.00	58.25	8	3.00 A
7.00	68.88	8	3.00 B
5.00	74.25	8	3.00 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=13.5271

Error: 72.1972 gl: 15

Dosificador	Velocidad	Medias	n	E.E.
M	9.00	56.00	4	4.25 A
N	9.00	60.50	4	4.25 A
M	7.00	64.25	4	4.25 A
N	5.00	73.00	4	4.25 B
N	7.00	73.50	4	4.25 B
M	5.00	75.50	4	4.25 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 8: Análisis en laboratorio

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% de datos en intervalo 15..	6	0.97	0.94	1.44

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	114.33	3	38.11	25.41	0.0381
Dosificador	54.00	1	54.00	36.00	0.0267
Velocidad	60.33	2	30.17	20.11	0.0474
Error	3.00	2	1.50		
Total	117.33	5			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=2.7764

Error: 1.5000 gl: 2

Dosificador	Medias	n	E.E.	
M	82.33	3	0.71	A
N	88.33	3	0.71	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=4.4254

Error: 1.5000 gl: 2

Velocidad	Medias	n	E.E.	
9.00	81.00	2	0.87	A
7.00	86.50	2	0.87	B
5.00	88.50	2	0.87	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Resultados del ANAVA de la pérdida de rendimiento

Anexo 9: Análisis en laboratorio

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Pérdida teórica de rendimi..	6	0.86	0.64	92.61

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	8192.26	3	2730.75	3.96	0.2083
Dosificador	1356.01	1	1356.01	1.96	0.2960
Velocidad	6836.25	2	3418.13	4.95	0.1680
Error	1380.25	2	690.13		
Total	9572.51	5			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=59.5536

Error: 690.1267 gl: 2

Dosificador	Medias	n	E.E.	
N	13.33	3	15.17	A
M	43.40	3	15.17	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=94.9227

Error: 690.1267 gl: 2

Velocidad	Medias	n	E.E.	
7	0.00	2	18.58	A
5	9.30	2	18.58	A
9	75.80	2	18.58	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Anexo 10: Análisis a campo

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Pérdida teórica de rendimi..	24	0.43	0.13	55.01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	312972.07	8	39121.51	1.44	0.2584
Bloque	22333.64	3	7444.55	0.27	0.8432
Dosificador	37985.13	1	37985.13	1.40	0.2555
Velocidad	234833.16	2	117416.58	4.32	0.0330
Dosificador*Velocidad	17820.14	2	8910.07	0.33	0.7255
Error	407598.54	15	27173.24		
Total	720570.61	23			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=139.5652

Error: 27173.2360 gl: 15

Dosificador Medias n E.E.

M 259.88 12 47.59 A

N 339.45 12 47.59 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=179.5632

Error: 27173.2360 gl: 15

Velocidad Medias n E.E.

5.00 196.85 8 58.28 A

7.00 268.93 8 58.28 A

9.00 433.23 8 58.28 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=262.4302

Error: 27173.2360 gl: 15

Dosificador Velocidad Medias n E.E.

M 5.00 155.00 4 82.42 A

M 7.00 196.85 4 82.42 A

N 5.00 238.70 4 82.42 A

N 7.00 341.00 4 82.42 A

M 9.00 427.80 4 82.42 A

N 9.00 438.65 4 82.42 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

