

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EVALUACIÓN DE LA SIEMBRA DE PRECISIÓN Y DE CHORRILLO PARA LA
SIEMBRA DIRECTA DE SOJA

por

Hernán SILVA MAZZUCHI
Felipe VERA YOUNG

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO
URUGUAY
2018

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Juan José Olivet

Ing. Agr. Carlos Perdomo

Ing. Agr. Javier Peñagaricano

Fecha: 10 de julio de 2018

Autores:

Hernán Silva Mazzuchi

Felipe Vera Young

AGRADECIMIENTOS

- ❖ A nuestro tutor de tesis Ing. Agr. Juan José Olivet por su esfuerzo y dedicación.
- ❖ Al Ing. Agr. Eduardo Silva por permitir realizar el trabajo de campo y suministrar los recursos necesarios para el mismo.
- ❖ Al Sr. Fernando Urioste por su iniciativa, colaboración y experiencia en el ensayo de campo.
- ❖ Al Ing. Agr. Nicolás Fassana por su colaboración en el análisis estadístico de los datos.
- ❖ A Juan Manuel Lorenzo, Juan Echeverría, Federico García, Alfonso Inciarte y Santiago J. Veins por su colaboración en las mediciones del distanciamiento entre plantas y estimación del rendimiento, trabajo que sin su ayuda hubieran sido imposibles.
- ❖ Al Ec. Felipe Bastarrica por su colaboración en la traducción.
- ❖ Al personal de biblioteca de facultad de Agronomía
- ❖ A Patricia Choca por su paciencia y colaboración en distintos aspectos del trabajo.
- ❖ Y por último a todas aquellas personas que acompañaron durante toda la carrera universitaria, especialmente nuestros amigos y familias.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	V
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	6
3.1. ENSAYO DE CAMPO	6
3.1.1. <u>Metodología de evaluación</u>	9
3.2. ENSAYO DE LABORATORIO	10
3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	10
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	12
4.1. POBLACIÓN INICIAL	12
4.2. DISTANCIAMIENTO ENTRE PLANTAS	14
4.3. COMPONENTES DEL RENDIMIENTO.....	23
4.4. CARACTERIZACIÓN DE LA DESCARGA DE LA SEMBRADORAS EVALUADAS	27
4.4.1. <u>Sembradora neumática</u>	27
5. <u>CONCLUSIONES</u>	30
6. <u>RESUMEN</u>	31
7. <u>SUMMARY</u>	32
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	33

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Descripción de los tratamientos	8
2. Población lograda según máquina y dosis a los 30 días de la siembra.	12
3. Análisis de varianza para plantas por metro.	13
4. Plantas por metro según máquina.	13
5. Plantas por metro según dosis.	13
6. Estadísticos descriptivos de distancia entre plantas	16
7. Análisis de varianza del efecto de máquina y dosis en el número de vainas por metro lineal	23
8. Análisis de varianza del efecto de la sembradora y la dosis en el número de grano por metro lineal	24
9. Análisis de varianza del efecto de la sembradora y la dosis en el número de granos por vaina	24
10. Rendimiento y sus componentes según las tres dosis	25
11. Rendimiento y sus componentes según las dos máquinas	26
12. Resultados de la interacción máquina*dosis para los parámetros del rendimiento y sus componentes	27
13. Índices de distribución de semillas para 5 surcos de la sembradora neumática en dosis alta	27
14. Índices de distribución de semillas para 5 surcos de la sembradora neumática en dosis media	28

15. Índices de distribución de semillas para 5 surcos de la sembradora neumática en dosis baja.....	28
16. Resumen de los índices de distribución de semillas de la sembradora neumática para las tres dosis evaluadas	29

Figura No.

1. Esquema del ensayo	7
2. Histograma de distanciamiento entre plantas para la dosis alta.	14
3. Ajuste de los modelos para la densidad alta.....	15
4. Histograma de distanciamiento entre plantas para la dosis media.	17
5. Ajuste de los modelos para la densidad media.....	18
6. Histograma de distanciamiento entre plantas para la dosis baja.	19
7. Ajuste de los modelos para la densidad baja.....	20
8. Comparación de las tres dosis para la sembradora a chorrillo.	21
9. Comparación de las tres dosis para la sembradora neumática	22

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas dos décadas se ha visto un cambio drástico dentro del agro uruguayo. Hasta finales del siglo XX, la agricultura del país estaba fuertemente inclinada hacia cultivos de invierno, principalmente trigo y cebada, y el área destinada a cultivos de verano era muy inferior a la de invierno, liderada por el girasol y seguida por el arroz (la soja ocupa un lugar marginal dentro de la producción).

El cultivo de soja fue el principal propulsor del cambio dentro el aparato productivo del campo uruguayo, pasando de sembrarse menos de 30 mil hectáreas en 2001, a sembrarse más de 1,1 millones en la actualidad, convirtiéndose así en el principal rubro agrícola del país.

El ingreso al país de nuevas empresas y productores extranjeros, principalmente argentinos, traen consigo el ingreso de nuevos capitales, tecnologías y formas de hacer negocios, en donde crecieron los arrendamientos de tierra y la tercerización de los servicios como siembra, pulverizaciones y cosecha.

El desarrollo de la siembra directa, sumado al avance en cuestiones genéticas, principalmente la creación de materiales transgénicos resistentes al herbicida glifosato, y un precio internacional del grano favorable, hacen de la soja uno de los cultivos más rentables en los últimos años.

Es en esta carrera de búsqueda de una mayor rentabilidad, que se intenta utilizar maquinaria más eficiente de modo de ahorrar costos o aumentar rendimientos. En este punto se plantea la incertidumbre de qué tecnología de siembra utilizar y el fundamento de este ensayo.

El siguiente trabajo, tiene como objetivo determinar el efecto que tiene el método de siembra y las diferentes densidades dentro del rendimiento del cultivo y la distribución de las plantas.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La creciente demanda mundial por granos de soja proveniente principalmente del mercado chino, ha sido el motivo de expansión de este cultivo que pasó de utilizar una superficie de 56 millones de hectáreas en todo el mundo, a duplicar esta cifra en tan solo 20 años. Cabe destacar que la producción mundial de soja, no solamente se duplicó, sino que el aumento fue mayor, explicado principalmente por el elevado nivel tecnológico utilizado en la agricultura, que lleva a elevar la producción por unidad de superficie (Redes, 2014).

En este sentido Uruguay no fue la excepción, y como se mencionó anteriormente, ha expandido el área de siembra de soja a un ritmo exponencial y la productividad por hectárea. En 2012, las exportaciones de granos se convirtieron en la principal fuente de entrada de divisas al país, superando al rubro de exportación histórico del Uruguay; la carne bovina (Redes, 2014).

La eficiencia que presentan los cultivos en transformar la energía solar en energía química, está determinada por diversos factores, entre los cuales la distribución entre plantas y las poblaciones de plantas son de fundamental importancia. Para lograr altos rendimientos en soja, la intercepción de luz por el cultivo debe ser la máxima posible durante una etapa crítica, la fase de llenado del grano, por lo que se requiere que el follaje cubra completamente el espacio entre las hileras (Board y Harville, 1992).

La soja es un cultivo altamente productivo, donde las plantas están sometidas a un alto grado de competencia entre sí. Cuanto más cerca está una planta de la otra, más elevado será el grado de competencia por los recursos naturales de crecimiento, que en condiciones normales se encuentran disponibles en cantidades limitadas, y, por ello son insuficientes para atender la demanda conjunta de todas las plantas del cultivo. Los factores por los que las plantas pueden llegar a competir son: agua, luz, nutrientes, O₂ y CO₂. Cuanto mayor sea el grado de competencia al que una planta está sujeta, menor será el desarrollo en materia seca, área foliar y rendimiento en granos de esa planta. Es por esto que, cuando la población de plantas de soja en un cultivo varía, se genera también una variación en la cantidad de granos por planta. Así, los cultivos de soja presentan un cierto grado de flexibilidad o de tolerancia a la variación de la población de plantas (Braga y Teichert, 2008).

Varios han sido los autores que han tratado y estudiado como influyen diferentes factores como ser distribución, dosis y tecnología de siembra en el cultivo de soja, tema que despierta gran interés por la plasticidad que presenta la especie capaz de compensar rendimientos ante distintas distribuciones de plantas y poblaciones del cultivo. La tendencia actual muestra un sesgo hacia la utilización de sembradoras con dosificación de

placa, buscando aumentar la precisión en la ubicación del grano en la sementera y una mejor distribución de las semillas apuntando a obtener un mayor margen por hectárea.

Algunos autores se encargaron de definir lo que es la densidad óptima del cultivo de soja. Vega y Andrade (2000) sugieren que la densidad óptima es aquel número mínimo de plantas capaz de obtener el rendimiento máximo. Por otra parte, para Baigorri y Croatto (2000), es aquel stand de plantas que asegure un correcto crecimiento del cultivo evitando el vuelco de la planta, disminuyendo la incidencia de plagas y enfermedades, y siendo capaz de facilitar la cosecha con una estructura de la planta que reduce las pérdidas.

Dentro de los autores que han estudiado el factor dosis de siembra dentro del cultivo de soja, Ferraris et al. (2014) buscaron determinar el comportamiento y la capacidad compensatoria de la soja ante una disminución en el stand de plantas, con distribución irregular o regular en la hilera de siembra, y estudiar los componentes de rendimiento involucrados en esta compensación, logrando resultados muy interesantes para la comunidad científica. Para un año con buenas condiciones hídricas, reducciones muy pronunciadas en la dosis provocaron disminuciones en los rendimientos de hasta 31 y 39 %, según la distribución de plantas fuera uniforme o desuniforme, respectivamente. Estas diferencias se explican principalmente por variaciones en la captura de radiación fotosintéticamente activa, que a su vez modificaron el número de granos fijados. La curva de respuesta a la dosis siguió una forma cuadrática, presentando un techo de rendimiento en altas densidades. Para las condiciones de este ensayo, cuando la cantidad de plantas establecidas fue menor de 3,2 pl/m lineal soportando espacios de 50 cm sin plantas, y 4,2 pl/m lineal en una distribución uniforme, hubiese sido económicamente rentable resembrar el cultivo.

Otro de los ensayos acerca de este tema, fue el realizado por Méndez et al. (2012), dentro del proyecto agricultura de precisión del INTA, en donde se evaluó la respuesta en rendimiento del cultivo de soja a la siembra en surcos apareados o twin row. El principio básico del twin row es brindar un mayor espacio entre las plantas, logrando así una mayor población, lo que apunta a alcanzar un rendimiento superior. Con twin row se divide la población de plantas que posee un surco, en dos, distanciadas por ejemplo a 20 cm entre las líneas apareadas, colocando las semillas en zigzag o tresbolillo, y a su vez con una distancia de 0,76 m entre los centros de líneas apareadas. Los datos del ensayo muestran que, bajo las condiciones climáticas ocurridas dentro del ensayo, el arreglo espacial dado con la tecnología de twin row, no presenta respuesta significativa en el rendimiento, utilizando el tipo de variedades propuestas (A 4990 RG y NS 4009). El planteo de utilizar esta tecnología de siembra, apareando los surcos, puede ser una opción rentable en el caso de utilizar otro tipo de materiales genéticos con portes de plantas más diferenciados, combinado esto también, con la oferta ambiental correspondiente a cada latitud. Ensayos realizados por Cepeda y Tarán (2008), analizaron la incidencia de la población y distribución de las plantas dentro del rendimiento, buscando hallar un arreglo espacial modificando variables como población, distancia entre hileras y cultivar que le permita

maximizar el rinde del cultivo de soja por área. Una de las conclusiones con más impacto fue que no existen diferencias significativas en rendimiento cuando se tiene 20 o 40 plantas por metro cuadrado para los diferentes cultivares de cada grupo de madurez.

Graterol y Montilla (2003) estudiaron el efecto de distancias de siembra y poblaciones sobre el rendimiento en cultivares de soja. Dentro de los resultados se extrajeron importantes conclusiones. El rendimiento del cultivo resultó mayor en la distancia entre hileras de 45 cm comparado a la de 60 cm. El rendimiento fue más alto a medida que se incrementó la población 350 a 550 mil plantas por hectárea. Con respecto al peso de semillas por planta, las hileras distanciadas a 45 cm presentaron un peso más elevado, comparado con la de 60 cm. En la distancia entre hileras de 45 cm, las plantas produjeron mayor número de vainas que en la de 60 cm en poblaciones de plantas menores e intermedias. En la población mayor, las plantas a 60 cm entre hileras tendieron a aumentar el conteo de vainas llegando a igualar a las distanciadas a 40 cm.

Varios estudios han intentado determinar el efecto que tiene el factor densidad de siembra dentro del rendimiento del cultivo para diferentes regiones de Estados Unidos. Kratochvil et al. (2004) a partir de ensayos realizados en el estado de Maryland ubicado al noreste de dicho país, concluyeron que no existen diferencias significativas para rendimiento para dos dosis de siembra, 432.300 y 555.800 semillas ha^{-1} . También al noreste de Estados Unidos, Cox y Cherney (2011) a partir de sus ensayos, establecen densidades de siembra óptima entre 321.000 a 420.000 semillas ha^{-1} , variando ésta en función del sistema de labranza utilizado. Por otra parte, De Bruin y Pedersen (2008) en el estado de Iowa, afirman que poblaciones por encima de 200.000 plantas ha^{-1} no presentan efectos positivos en el rinde del cultivo, sosteniendo que incluso ante grandes aumentos de población, el rendimiento se mantuvo estable. Estudios realizados por Rich y Renner (2007) en el estado de Michigan, determinaron que aumentos en la densidad de siembra de 40% con respecto a la dosis estándar zonal de 309 mil semillas ha^{-1} no presentan mejoras en el rendimiento del cultivo. Estudios realizados por Heatherly y Elmore (2004) al norte de Estados Unidos, determinaron una dosis óptima de siembra para obtener máximos rendimientos que se ubica entre 200.000 y 300.000 plantas ha^{-1} . Norsworthy y Frederick (2002) en ensayos realizados en el estado de Carolina del Sur, estudiaron el efecto de una reducción del 40% en la dosis de siembra recomendada en la zona de 620.000 semillas ha^{-1} , encontrando que no existen diferencias significativas en rendimiento entre ambas densidades logrando economizar en gran medida el cultivo.

Por último, cabe citar la tesis realizada por Alfaro (2014), en la cual se realizó un experimento de características muy similares a las elegidas para el presente trabajo, en donde se analizó el efecto que tiene el tipo de sembradora (precisión o chorrillo) y la densidad de siembra en el rendimiento del cultivo y la distribución de plantas. Los resultados muestran que el espaciamiento entre plantas, medido a través del coeficiente de precisión, múltiples y fallas, fue superior en la sembradora de precisión, en comparación con la sembradora de chorrillo. También se concluye, que existen diferencias

significativas en la densidad de plantas, causada por la dosis de siembra y la sembradora utilizada. La sembradora de precisión siempre obtuvo densidades de plantas mayores que la de chorrillo, independientemente de la dosis utilizada. Por último, no se observaron diferencias significativas de rendimiento entre sembradoras, pero se detecta una tendencia a obtener mayores rendimientos con la sembradora de precisión y mayor rendimiento a dosis altas, comparado a dosis media y baja.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento cuenta con dos partes, una fase en el laboratorio y otra a campo.

3.1. ENSAYO DE CAMPO

El trabajo de campo se realizó en el establecimiento “Los Álamos”, ubicado sobre la ruta 3 en el kilómetro 336 el 20 de diciembre de 2016. El experimento ocupa un área de aproximadamente media hectárea, y el terreno donde se ubica es una ladera alta con menos de 2% de pendiente. El ensayo se realizó sobre suelos 11.3 según la clasificación CONEAT, donde predominan brunosoles eútricos lúvicos y su índice de productividad es de 149.

El diseño experimental utilizado fue en bloques con parcelas divididas al azar con arreglo factorial de los tratamientos y tres repeticiones. Los factores fueron sembradora (dos niveles) y densidad de siembra (tres niveles) conformando en total 18 unidades experimentales.

El experimento se instaló en 3 grandes bloques divididos en dos parcelas según la sembradora utilizada. A su vez cada parcela contiene 3 sub-parcelas que varían en la dosis de siembra (ambos sorteados al azar). Las medidas utilizadas de cada sub-parcela son de 30 metros de largo y 9 de ancho, con caminos entre sub-parcelas de 1 metro de ancho como se observa en la figura 1.

Para realizar el ensayo se utilizaron dos sembradoras. Una sembradora de precisión neumática marca John Deere modelo max emerge plus 1780. Contiene 24 cuerpos a una distancia de 38 cm con un ancho operativo de 9 m. Cada cuerpo es alimentado únicamente con semilla a través de cajones individuales, con una cuchilla ondulada para cortar el rastrojo, y doble disco abre surco con ruedas limitadoras de profundidad para cada uno. Cada surco es cerrado por dos ruedas lisas de goma. La otra máquina es una sembradora de chorrillo marca John Deere modelo 1560 con 12 cuerpos a una distancia también de 38 cm, conformando un ancho operativo de 4,56 m. El sistema de siembra cuenta con rodillos acanalados dosificadores de semilla, con descarga al tren de siembra por gravedad. Cuenta con un solo disco de corte con su respectiva rueda controladora de profundidad. En este caso cada cuerpo presenta una rueda maciza que cierra el surco.

Para el factor 2 se utilizaron 3 densidades de siembra; alta medio y baja siendo la primera la dosis comercial utilizada normalmente.

Bloque 1		Boque 2		Bloque 3	
M	B	A	M	M	B
A	M	M	A	B	M
B	A	B	B	A	A
Chorrillo	Neumática	Chorrillo	Neumática	Neumática	Chorrillo

A: dosis alta, M: dosis media, B: dosis baja

Figura 1. Esquema del ensayo

La descripción de los tratamientos se presenta a continuación (cuadro1).

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos

	Dosis	Densidad de siembra (kg/ha)	Población inicial (sem/m)	Población inicial (sem/ha)	Logro estimado (%)	Población objetivo (pl/ha)	Población objetivo (pl/m)	Dist. entre plantas objetivo (m)
P.	A	64	16	416666	65	254583	10	0,1
	M	52	13	338541	65	206849	8	0,125
	B	32	8	208333	65	127291	5	0,2
Ch.	A	64	16	416666	65	254583	10	0,1
	M	52	13	338541	65	206849	8	0,125
	B	32	8	208333	65	127291	5	0,2

P.: Precisión; A: Alta; B: Baja

Ch.: Chorrillo; M: Media

La semilla utilizada en el experimento fue una variedad de Monsoy, M 6410 IPRO, de grupo de madurez 6,4, con hábito de crecimiento indeterminado con alto potencial de rendimiento y muy competitiva en siembras tardías. El peso de 1000 semillas a la siembra fue de 153,6 g, 94% de germinación y se estimó el logro en un 65% por los factores climáticos adversos que estaban pronosticados y fechas de siembra tardías que podrían llegar a comprometer la implantación por la alta temperatura del suelo.

Para la selección de las densidades de siembra, como se dijo anteriormente se utilizó como “alta” la utilizada comercialmente, mientras que para la “media” se redujo en un 20% aproximadamente y para “baja” un 50%.

No existen diferencias entre los tratamientos en la fertilización y en la aplicación de herbicidas e insecticidas. Estos últimos se realizaron en conjunto con el resto de la chacra, aplicando cuando en los monitoreos los resultados se encontraban por encima de los umbrales de daño. Para la totalidad de la chacra se utilizaron 100 kg/ha a la siembra un fertilizante 7-40/40-0.

Para la regulación de la sembradora a chorrillo se tomó una referencia de 100 metros de avance de la máquina; se desconectaron 4 caños de descarga de semilla y se colocaron bolsas para recolectar las semillas. Luego se pesó cada bolsa por separado con balanza de precisión y se realizó el correspondiente cálculo.

Con respecto a la regulación de la sembradora neumática de precisión se hizo de manera estática conociendo la circunferencia de la rueda de mando. Con este dato se procedió a realizar 15 vueltas de manera de disminuir el error. A la vez, se colocaron bolsas en las salidas de la semilla mientras la rueda de mando realizaba las 15 vueltas. Por

último, se tomaron las distintas bolsas y se pesaron con balanza de precisión, determinando con los cálculos correspondientes cuantos kg se estaba sembrando por unidad de área. De esta manera se ajustaban los cambios hasta alcanzar la densidad objetivo.

3.1.1. Metodología de evaluación

Las variables experimentales estudiadas fueron:

- población obtenida
- distanciamiento entre plantas
- número de vainas
- granos por vaina
- rendimiento a partir de un peso de grano promedio

En lo que respecta a la evaluación de la población obtenida se realizaron conteos de plantas en cuatro surcos en cinco metros para cada sub-parcela. Las mediciones se realizaron el 25 de enero (aproximadamente a los 30 días de la siembra) cuando las plantas se encontraban en estado fenológico de V5, V6.

En la misma instancia tomando los mismos cuatro surcos a lo largo de los cinco metros, se utilizó una cinta métrica para evaluar el distanciamiento entre plantas. Se tomó que la primera planta se encontraba a los 0 cm y a partir de ahí se anotaba el centímetro en que se encontraba cada planta. Con estos datos se restaban los valores para sacar la distancia que había entre cada planta. A partir de la planilla que se generó con estos distanciamientos se agruparon las mediciones por dosis evaluada. Es decir que quedaron 3 grupos de distanciamientos: alta (chorrillo y neumática), media (chorrillo y neumática) y baja (chorrillo y neumática). El primer trabajo que se realizó, fueron histogramas para cada uno de los grupos recientemente mencionados.

Para el rendimiento se realizaron las evaluaciones en estado de R8 cuando el experimento estaba próximo a su cosecha. Se tomaron plantas a lo largo de un metro lineal en ocho surcos por parcela y se llevaron al galpón para realizar las evaluaciones. Las mediciones realizadas fueron de plantas por metro, vainas por planta y granos por vaina. Luego de anotar en la planilla los datos recientemente mencionados, se tomó una muestra de semillas de cada parcela. A partir de esas muestras, de forma errónea se juntaron las repeticiones, es decir que se pusieron dentro de una misma bolsa las muestras de determinada máquina y dosis. Para comprender mejor, quedaron solamente 6 muestras: chorrillo alta, media y baja y neumática alta, media y baja. Se tomaron 1000 semillas de cada una de las seis muestras y se pesaron para poder estimar el rendimiento. El error está en que se perdieron las repeticiones al haber juntado las muestras.

3.2. ENSAYO DE LABORATORIO

En el ensayo de laboratorio se evaluaron las dos sembradoras utilizadas en el experimento, cada una con el método que le corresponde según la norma UNE 6808188.

En el caso de la sembradora neumática se realizó la correspondiente evaluación sobre una lona que contenía grasa, de manera que al caer la semilla ésta quedara fija en el lugar.

Una vez dispuestas las semillas sobre la lona se tomaron las medidas, que se explican a continuación, en 5 surcos a lo largo de las primeras 24 semillas encontradas.

Las medidas de los índices para evaluar la sembradora neumática fueron:

- índice de alimentación, busca cuantificar a través de un porcentaje las semillas que caen dentro del rango correcto. El rango que se toma como correcto es un desvío menor al 50 % de la distancia que se pretende.
- coeficiente de precisión que cuantifica la variación de las distancias que caen dentro del rango correcto.
- fallas, siendo estas consideradas si se encuentran a distancias mayores al 50% de lo pretendido. Es decir que son la ausencia de grano en zonas donde debería encontrarse uno.
- múltiples, se consideran dos o más semillas en lugares donde teóricamente debería haber solo una. Esto es lo mismo que decir que una múltiple, se considera cuando los espaciamientos entre dos o más semillas son inferiores a 0,5 veces el teórico.

3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las variables analizadas estadísticamente fueron: población obtenida, distanciamiento entre plantas, número de vainas por metro lineal, número de granos por metro lineal, peso de 1000 granos y rendimiento. Para éstas, se ajustaron modelos lineales generalizados donde se hicieron los análisis de varianza y el test de Tukey con una probabilidad de error de tipo 1 (5%). Para dicho análisis se utilizó el programa estadístico INFOSTAT con el siguiente modelo.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + R_k + (SR)_{ik} + E_{ijk}$$

$$i=1,2; j=1,2,3; k=1,2,3.$$

α_i : tipo de máquina, 2 niveles (neumática y chorrillo).

β_j : segundo factor, dosis 3 niveles (alta, media, baja).

$(\alpha\beta)_{ij}$: interacción entre los factores.

R_k : bloque, 3 niveles.

$(SR)_{ik}$: error de parcela principal

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este punto se describen los resultados y se plantean discusiones de las siguientes evaluaciones: población inicial de plantas logradas, componentes del rendimiento, distribución de plantas y la caracterización de las sembradoras en ensayo de laboratorio.

4.1. POBLACIÓN INICIAL

La población inicial lograda se estimó a los 30 días luego de la siembra

Cuadro 2. Población lograda según máquina y dosis a los 30 días de la siembra.

Sembradora	Dosis	P. objetivo (pl/ha)	Sem/ha	Semilla viable/ha	Plantas/ha	Logro real (%)
Chorrillo	alta	254583	416666	391666	203666	52
Precisión					227166	58
Chorrillo	media	206849	338541	318228	133656	42
Precisión					168661	53
Chorrillo	baja	127291	208333	195833	109666	56
Precisión					121416	62

El cuadro recientemente presentado muestra un mayor porcentaje de logro real de la sembradora de precisión con respecto a la de chorrillo para las tres densidades de siembra. El porcentaje de logro real fue calculado a partir de la cantidad de plantas por unidad de área, contadas a campo a los 30 días de la siembra, dividido la cantidad de semillas viables. A su vez, las semillas viables se calculan como las semillas realmente plantadas por unidad de área contemplando el poder germinativo de ellas.

Anteriormente se estimó un porcentaje de logro del 65 % (previo a la siembra), lo que definió las tres dosis de siembra en base a una población objetivo buscada. Este resultado, fue aún menor a la estimación por los factores climáticos adversos (lluvias de 196 mm luego de la siembra). En ninguno de los casos se alcanzó este valor.

El análisis de varianza de la población de plantas estimada a través de las plantas por metro obtenidas a los 30 días de la siembra demuestra diferencias significativas para el factor dosis y para el factor sembradora, no así para la interacción entre estos factores antes mencionados.

Cuadro 3. Análisis de varianza para plantas por metro.

Fuente	Suma cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Valor-P
Máquina	3,92	1	3,92	0,022
Bloque (máquina)	1,18	4	0,297	0,98
Dosis	44,53	2	22,26	0,024
Máquina*dosis	0,61	2	0,305	0,92
Residuo	29,15	8	3,64	
Total	79,4	17		

Las plantas por metro obtenidas se muestran en el cuadro 4

Cuadro 4. Plantas por metro según máquina.

Máquina	Plantas/metro
Chorrillo	5,7a
Neumática	6,63b

^{ns} No significativo

El cuadro 4 muestra la diferencia entre las sembradoras, logrando una mejor performance (más cerca del objetivo) la sembradora neumática (obtiene un 15% más de plantas) que la sembradora a chorrillo. Con respecto a la dosis, se presentan los datos a continuación (cuadro 5)

Cuadro 5. Plantas por metro según dosis.

Dosis	Plantas/metro
Baja	4,45 a
Media	5,8 ab
Alta	8,25 b

Medias seguidas con la misma letra no difieren entre sí al 5% según el test de Tukey

Con respecto al factor dosis, se encuentra una diferencia significativa entre la dosis alta y baja, obteniéndose con la dosis alta una población 85% superior a la dosis baja. Entre la dosis media y baja, y media y alta no se observaron diferencias significativas de población, donde el número de plantas obtenidas para dosis media fue mayor en 30% que la dosis baja.

A modo de comparación, cabe resaltar que Alfaro (2014) en su experimento realizado en 2014 detectó diferencias significativas para población obtenida para las dos variables, dosis y sembradora. En este experimento, se reafirma lo expuesto por Alfaro

4.2. DISTANCIAMIENTO ENTRE PLANTAS

El distanciamiento entre plantas se caracterizó a través de histogramas.

Para estos histogramas, las planillas de campo donde se recabó la información de la distancia entre plantas de los 4 surcos seleccionados al azar por sub-parcela se ordenó de tal forma de poder agrupar los datos. De esta manera se establecieron 6 rangos de 9 en 9 cm cuantificando la frecuencia relativa.

En la figura 2, se presenta el histograma para la dosis alta de ambas máquinas (chorrillo y neumática) para poder realizar una comparación entre ellas.

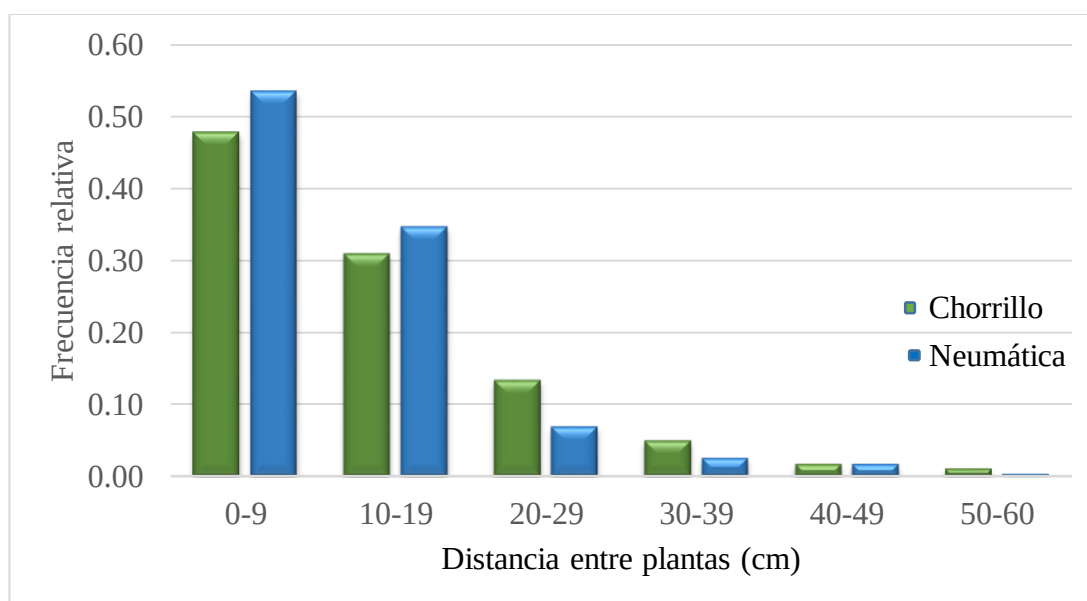


Figura 2. Histograma de distanciamiento entre plantas para la dosis alta.

Comenzando por la gráfica, la sembradora neumática concentra una mayor frecuencia de datos distanciados en los dos primeros rangos (0-9 y 10-19 cm). Teniendo en cuenta que la distancia objetivo para la dosis alta era de 10 cm entre plantas, esto refleja un mayor acierto por parte de esta máquina.

Luego de la interpretación del histograma, se buscó a través del programa INFOSTAT el modelo matemático que mayor valor de ajuste presentaba. En el caso de la densidad “Alta” fue chi-cuadrado para ambas máquinas y se presenta a continuación.

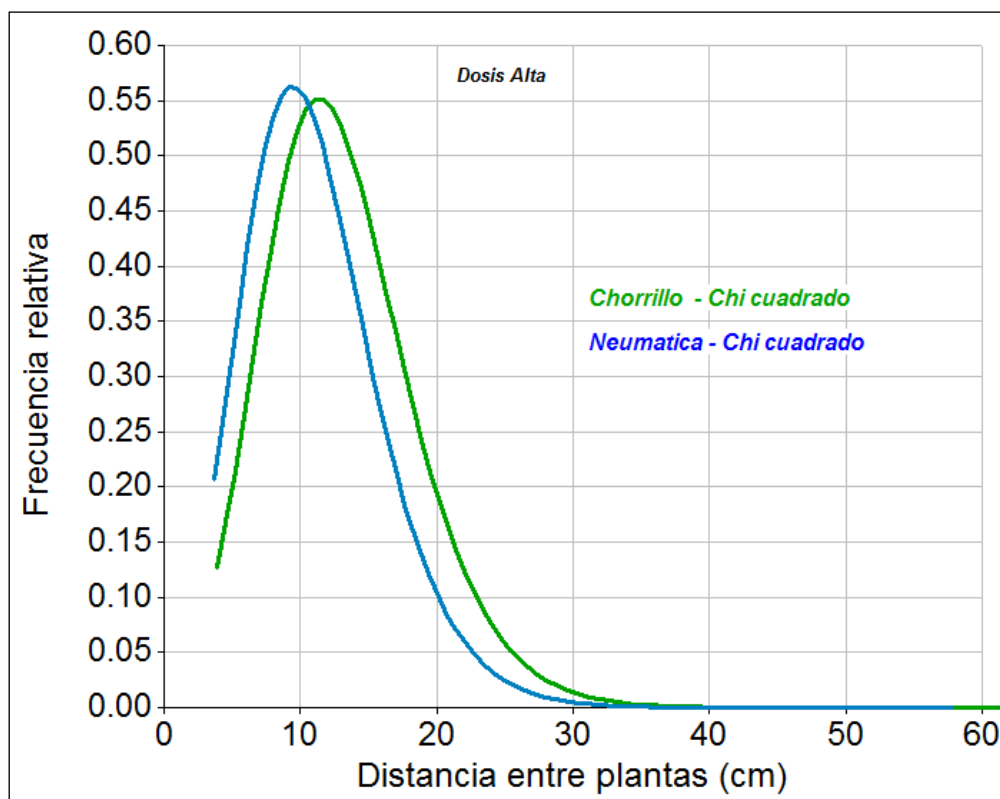


Figura 3. Ajuste de los modelos para la densidad alta.

La bondad de ajuste, o en otras palabras la discrepancia entre una distribución observada y otra teórica se realizó a través de la prueba de Pearson arrojando resultados cercanos a 0. Esto implica que la distribución chi-cuadrado se ajuste a los valores de distanciamiento de esta dosis.

En esta distribución, no solo se afirma una mayor concentración de datos en torno al objetivo, sino que muestra como la sembradora neumática alcanza antes el corte con el eje de las x, lo que significa que los distanciamientos son menores debido a que presentan menor cantidad de fallas.

Los modelos ajustados para cada dosis presentaron medidas de resumen que ayudan a su interpretación.

Cuadro 6. Estadísticos descriptivos de distancia entre plantas

Sembradora	Dosis	n	Media	CV.	Mín.	Máx.	Med.	Q1	Q3
Ch.	A	456	12.9	80.7	1	59	10	5	18
Ch.	M	283	17.02	76.9	1	59	14	6	25
Ch.	B	228	19.7	70.3	1	59	17	9	27
N.	A	504	10.9	81.3	1	55	8.5	5	14
N.	B	258	18.6	64.6	1	58	18	10	24
N.	M	372	14.2	73.4	1	57	12	7	19

Ch.: chorrillo, N.: neumática, A.: alta, B.: baja, M.: media, CV.: coeficiente de variación, Min.: mínimo, Max.: máximo, Med.: mediana, Q1: cuartil 1, Q2: cuartil 2

En el caso de la dosis alta, estas medidas reafirman lo descrito anteriormente. La media de la sembradora neumática es de 10,9 cm y la chorrillo 12,9 cm cuando lo deseado era de 10 cm, mostrando una mejor aproximación de la sembradora neumática con el objetivo.

Otro resultado importante son los cuartiles haciendo particular énfasis en el tercero. Que la sembradora neumática tome un valor de 14 en el Q3 significa que el 75 % de los datos de distanciamiento se encuentran entre 0 y 14. La sembradora a chorrillo, recién alcanza este 75% de los datos con rangos entre 0 y 18 cm.

El análisis continúa evaluando en conjunto las dos máquinas del experimento para la dosis media.

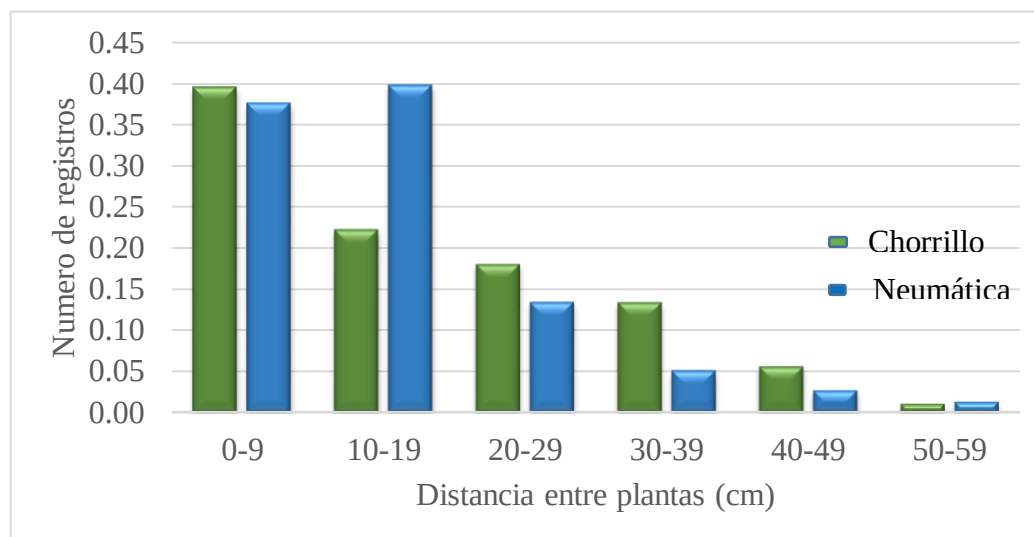


Figura 4. Histograma de distanciamiento entre plantas para la dosis media.

En este caso, la población inicial que se había establecido era de 13 semillas por metro lineal, lo que termina implicando un distanciamiento entre plantas de 12,5 cm como indica el cuadro 1. Si se entiende a la máquina neumática como más precisa a la hora de la distribución de las plantas, el histograma respaldaría esta afirmación. La definición de índice de alimentación menciona como rango correcto aquel que presenta desvíos menores al 50 % de la distancia que se pretende. Esto significa que distanciamientos hasta 18,75 cm entre plantas serían correctos (figura 4). Se presenta el modelo al que se ajustaron los datos (exponencial para la chorrillo y Weibull para la neumática).

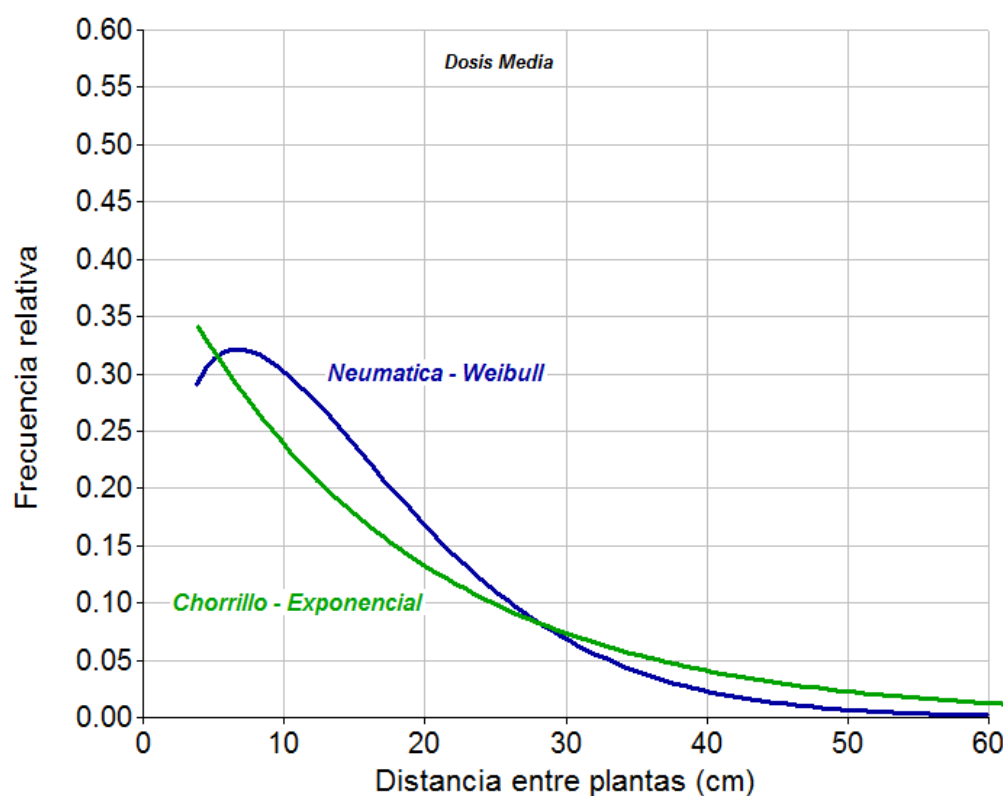


Figura 5. Ajuste de los modelos para la densidad media.

El programa estadístico utilizado (INFOSTAT) determinó que cada sembradora se ajuste a un modelo distinto. La sembradora a chorrillo al modelo exponencial decreciente y la neumática a Weibull. Este último presenta un pico al costado del valor de distanciamiento objetivo (12,5cm), pero comprendido dentro del rango correcto (6,25cm-18,75cm).

En el caso de la dosis media, las medidas de resumen (cuadro 5), también determinan mejores resultados para la sembradora neumática. Tanto para la media como para el tercer cuartil, los valores son menores, lo que significa una mayor proximidad al objetivo.

Por último, el análisis del distanciamiento para la dosis baja tiene como particularidad que es el único con mayor concentración para ambas máquinas en el segundo rango (10-19cm).

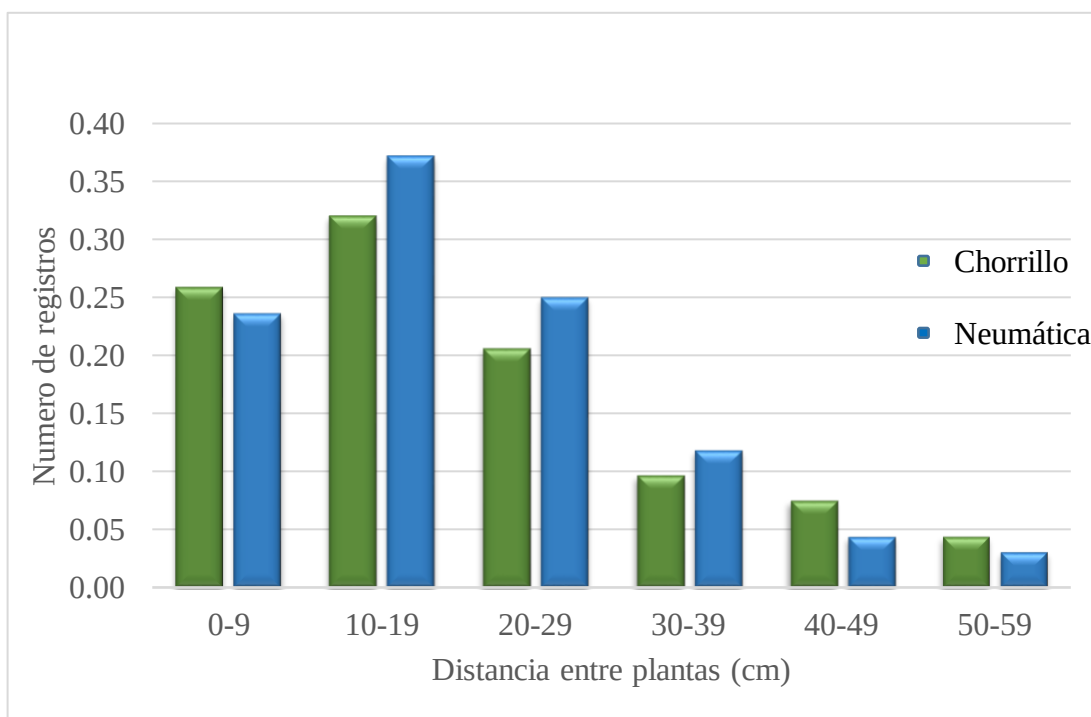


Figura 6. Histograma de distanciamiento entre plantas para la dosis baja.

Como se mencionó con anterioridad, el objetivo de distanciamiento para esta dosis era de 20 cm entre cada planta. Como principal diferencia, la sembradora neumática logra un mayor número de registros en los rangos 2 y 3 que contempla la distancia objetivo (20 cm).

Las medidas de resumen para esta dosis muestran la misma tendencia que en los otros casos, una media más próxima al objetivo de distanciamiento y un 75 % de los datos en un rango más corto por parte de la neumática.

Como fue en el caso de la dosis media, el modelo que mejor se ajustó a los datos fue, para la sembradora a chorrillo exponencial y para la neumática Weibull.

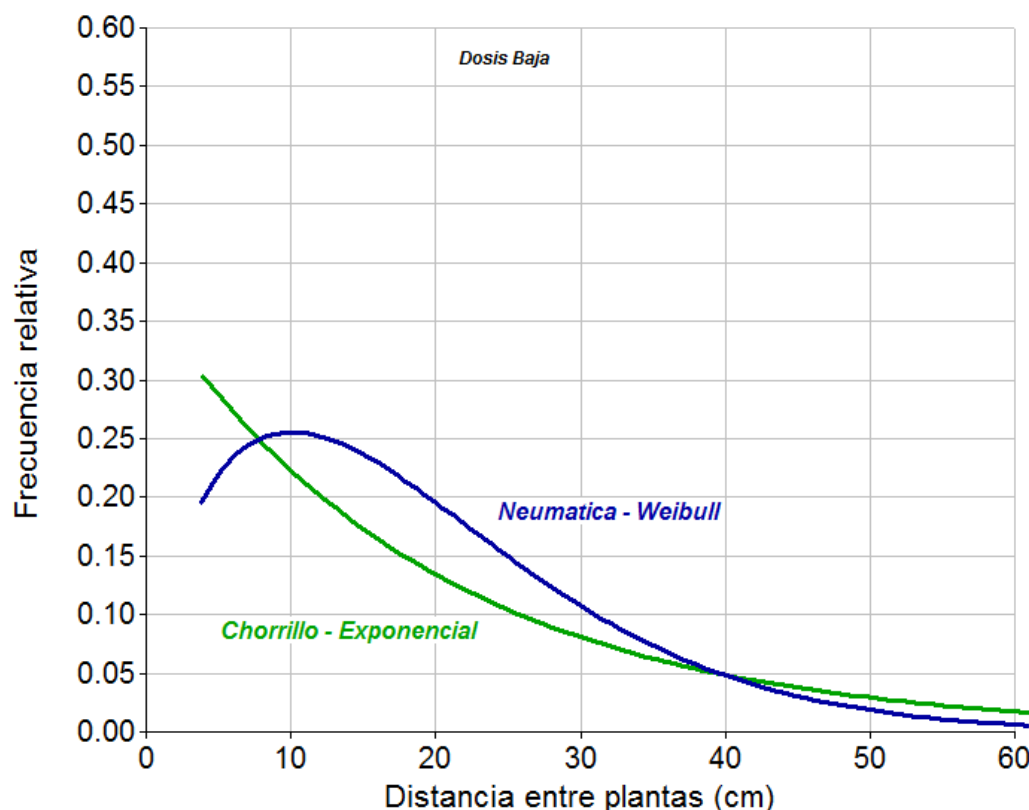


Figura 7. Ajuste de los modelos para la densidad baja.

La figura 7 reafirma que la sembradora neumática logra mayor concentración de datos en el distanciamiento objetivo (20 cm), que la sembradora a chorrillo. El modelo ajustado, no logra representar la cantidad de datos concentrados en el valor correcto.

Si bien esta figura es una función matemática que busca modelar los datos recolectados a campo, muestra una cantidad por encima de lo esperada de distanciamientos menores a 10 cm por parte de la sembradora a chorrillo. Esto podría confundirse con elevados índices de fallas; pero es simplemente un modelo que no logra un buen ajuste.

Luego de presentadas las gráficas de distanciamiento, se puede concluir que la sembradora neumática logra mejores resultados a nivel general. Esto no se puede asegurar por que no se lograron diferencias significativas en la cantidad de plantas por metro lineal, pero sí se trabaja con tendencias en los resultados.

El experimento no solo consistía en una simple comparación de las máquinas, sino también en cómo ellas funcionan a distintas densidades. Es por esto que las gráficas que se muestran a continuación analizan cada máquina por separado para las tres dosis.

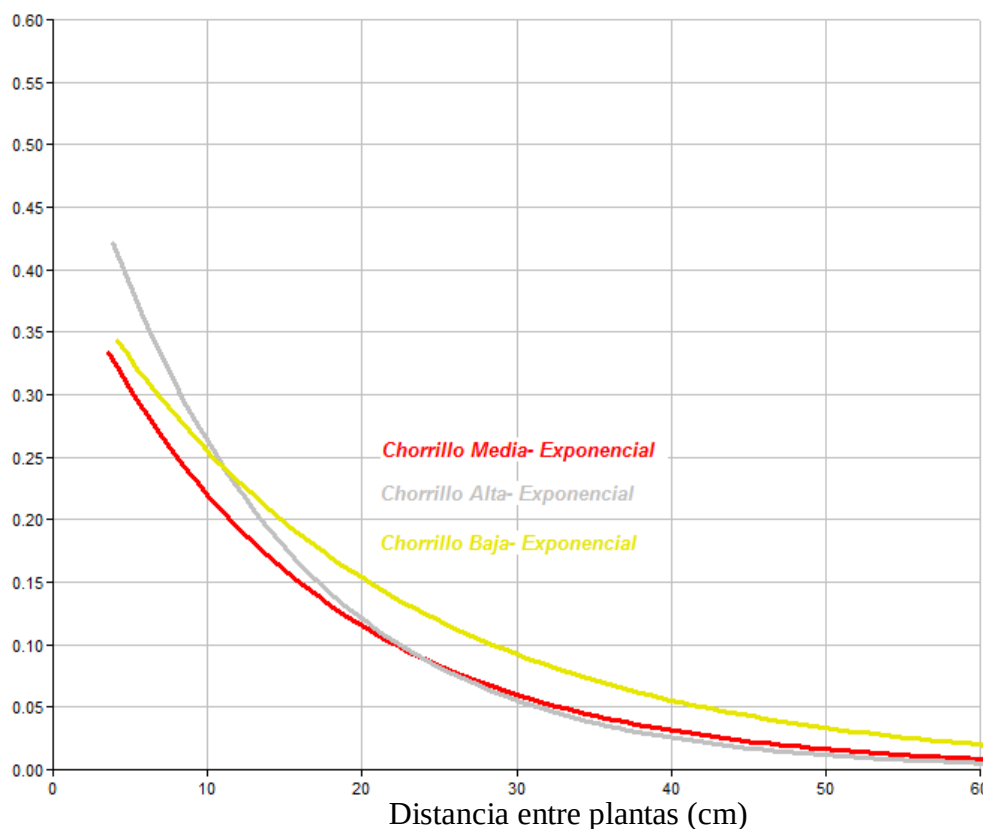


Figura 8. Comparación de las tres dosis para la sembradora a chorrillo.

La función exponencial de la densidad alta de la sembradora a chorrillo muestra estar acorde al objetivo. No es el caso de las densidades media y baja donde era esperable que ésta última tome valores más bajos. La explicación al objetivo esperado es que a mayor densidad hay más semillas por metro lineal, es decir menores distanciamientos entre ellas.

Donde se encontró mayor información fue en la sembradora neumática; la gráfica se presenta a continuación.

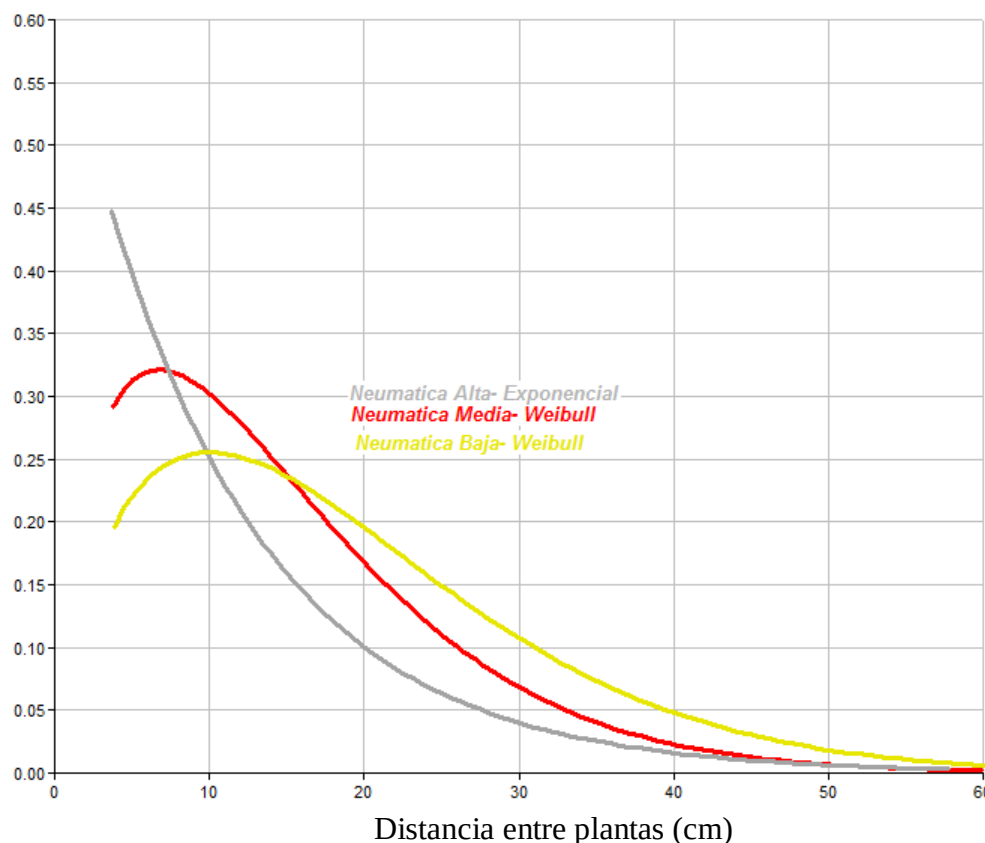


Figura 9. Comparación de las tres dosis para la sembradora neumática

Los resultados en este caso parecen estar acorde a lo estimado. Los picos de mayor frecuencia se van generando en orden de dosis alta, media y baja. Incluso, la forma de la función determina una mayor precisión de esta máquina en las dosis media y baja con respecto a la de chorrillo. Esto observando la gran concentración de valores de distanciamientos dentro del índice de alimentación.

Varios son los autores que han manifestado que el cultivo de soja presenta buena capacidad compensatoria, siendo así capaz de compensar variaciones ante diferentes métodos y densidades de siembra. En uno de los trabajos realizados por Ferraris et al. (2014), se estudió el comportamiento y la capacidad compensatoria de la soja ante una merma en la población de plantas, con distribución irregular o regular en la hilera de siembra, y los componentes de rendimiento involucrados en esta. Con los histogramas de distanciamiento se puede observar las diferencias existentes entre los dos métodos de siembra y las diferentes dosis.

4.3. COMPONENTES DEL RENDIMIENTO

La estimación del rendimiento del experimento se realizó a partir del conteo de plantas por metro, vainas por planta y granos por vaina tal como se explicó en la metodología de evaluación.

Para entender la causa de los distintos rendimientos se desglosaron los componentes que lo conforman para realizar una evaluación estadística. Más adelante se presentan y analizan cada uno de los componentes del rendimiento por separados evaluados según los factores máquina y dosis.

Cuadro 7. Análisis de varianza del efecto de máquina y dosis en el número de vainas por metro lineal

Fuente	Suma cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Valor-P
Máquina	6761,9	1	6761,9	0,033
Bloque (máquina)	2627,7	4	656,9	0,746
Dosis	33185,9	2	16592,9	0,0036
Máquina*dosis	1791,8	2	895,9	0,5411
Residuo	10796	8	1349,5	
Total	55163,2	17		

El cuadro muestra diferencias significativas para la variable “dosis” y para la variable sembradora, no muestra diferencias para su interacción.

Para el número de granos por metro lineal se encontraron diferencias significativas para máquina y dosis, no así para su interacción (cuadro 8)

Cuadro 8. Análisis de varianza del efecto de la sembradora y la dosis en el número de grano por metro lineal

Fuente	Suma cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Valor-P
Máquina	16501,4	1	16501,4	0,025
Bloque (máquina)	5391,56	4	1347,9	0,765
Dosis	75918,1	2	37959,1	0,0031
Máquina*dosis	3994,8	2	1997,4	0,5355
Residuo	23558,4	8	2944,8	
Total	125364	17		

Otro componente del rendimiento es el número de granos por vaina. No se detectaron efectos de los factores principales ni de su interacción (cuadro 9).

Cuadro 9. Análisis de varianza del efecto de la sembradora y la dosis en el número de granos por vaina

Fuente	Suma cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Valor-P
Máquina	0,00002	1	0,000022	0,823
Bloque (máquina)	0,0015	4	0,00039	0,1519
Dosis	0,00048	2	0,00024	0,3040
Máquina*dosis	0,00087	2	0,00044	0,139
Residuo	0,0014	8	0,00017	
Total	0,0043	17		

Para un análisis más detallado de los resultados estadísticos se realizaron dos cuadros, el primero evaluando como las distintas dosis afectaron estos componentes del rendimiento; mientras que el segundo como cada máquina lo hizo.

Cuadro 10. Rendimiento y sus componentes según las tres dosis

Dosis	Vainas/metro	Granos/metro	Granos/vaina	Rendimiento
Alta	275,2 a*	421,3 a	1,533 ^{ns}	1535,3 ^{nc}
Media	220,5 ab	337,5 b	1,535	1258
Baja	170 b	262,3 c	1,545	1008,5

^{Ns} No significativo

* Medias seguidas con la misma letra no difieren entre sí al 5% según el test de Tukey

^{Nc} No corresponde análisis estadístico

El parámetro vaina por metro muestra diferencias significativas entre la dosis baja y alta, no así entre baja y media, o media y alta.

A nivel nacional el número de granos por metro lineal promedio, sería casi el doble al que se obtuvo en el experimento. Es este el principal factor que explica los rendimientos bajos, concluyendo que las plantas no compensaron la totalidad de las pérdidas que generó la baja implantación. Estadísticamente existieron diferencias significativas entre las distintas dosis para este componente, por lo que se puede afirmar con un 95% de certeza que la dosis alta determinó mayor número de granos por metro que la dosis baja.

En cuanto al rendimiento, no corresponde realizar un análisis estadístico porque hubo errores metodológicos a la hora de las mediciones del peso de mil semillas. De todas maneras, se puede comentar que los resultados coinciden con los estudios realizados por Ferraris et al. (2014) que determinan que, en un año con buenas condiciones hídricas, reducciones en la dosis provocaron disminuciones en los rendimientos. En este ensayo el promedio para la dosis alta fue de 1535,3 kg, siendo este un 22% superior a la dosis media y un 52% a la dosis baja.

Los resultados obtenidos de rendimiento para dosis baja y dosis alta, no coinciden con las conclusiones que se extraen de los estudios realizados por Cepeda y Tarán (2008), en donde se afirma que no existen diferencias en rendimiento para dosis de siembra entre 20 y 40 semillas por metro cuadrado.

A continuación, se presentan los componentes de rendimiento según la máquina utilizada (cuadro 11).

Cuadro 11. Rendimiento y sus componentes según las dos máquinas

Máquina	Vainas/metro	Granos/metro	Granos/vaina	Rendimiento
Neumática	241,3 a	370,7 a*	1,539 ^{ns}	1383,9 ^{nc}
Chorrillo	202,5 b	310,1 b	1,537	1150,7

^{Ns} No significativo

*Medias seguidas con la misma letra no difieren entre sí al 5% según el test de Tukey

^{Nc} No corresponde análisis estadístico

En relación a las vainas por metro según la máquina utilizada, los valores medios muestran que la sembradora neumática presenta valores superiores, que la sembradora a chorrillo. De todas maneras, valores de 200-250 vainas por metro lineal son muy bajos.

En ensayos muy similares realizados por Alfaro (2014), no existieron diferencias significativas para el factor sembradora y tampoco existieron diferencias significativas para el factor dosis para la variable vainas por metro obteniendo un valor de aproximadamente 500 vainas promedio por metro.

La cantidad de granos por metro que se calculó en promedio para cada máquina determinó que hubo diferencias significativas para el grado de significancia utilizado.

El componente del rendimiento granos por vaina toma valores prácticamente iguales para cada máquina, probablemente porque al obtener poca población de plantas, la distribución tomo menor importancia en este caso.

Por último, pero no por eso menos importante, la sembradora neumática presentó rendimientos promedios de 1384 kg, superando en un 20% a la sembradora a chorrillo. Los resultados de rendimiento obtenidos en las chacras del ensayo no coinciden con los rendimientos nacionales promedio de soja de segunda para ese año. Esto destaca la importancia que tuvo el exceso de lluvias por haber sembrado tarde.

Para finalizar con el análisis de los componentes del rendimiento, se presenta un cuadro con el peso de 1000 semillas, y los valores de la interacción entre sembradora y máquina

Cuadro 12. Resultados de la interacción máquina*dosis para los parámetros del rendimiento y sus componentes

Factor		Peso 1000	Vainas/	Granos/	Granos/	Rendimiento
Máquina	Dosis	semillas	metro	metro	vaina	
Chorrillo	Alta	139	243 ^{ns}	371 ^{ns}	1,53 ^{ns}	1359 ^{ns}
	Media	140	202	310	1,54	1145
	Baja	145	162	248	1,54	948
Neumática	Alta	138	307	471	1,54	1712
	Media	143	239	364	1,53	1371
	Baja	147	178	276	1,55	1069

El peso de 1000 semillas, como se mencionó anteriormente, se calculó de forma errónea ya que como se observa existe únicamente un valor para cada conjunto de factores, es decir que no existen repeticiones. Parecen ser valores bajos, con tendencia a un mayor peso cuanto menor era la densidad de siembra.

Estadísticamente, la interacción entre sembradora y dosis no mostró diferencias significativas para las variables analizadas.

4.4. CARACTERIZACIÓN DE LA DESCARGA DE LA SEMBRADORAS EVALUADAS

4.4.1. Sembradora neumática

Para la sembradora neumática los resultados de la evaluación estática no tienen gran variabilidad entre los surcos.

Cuadro 13. Índices de distribución de semillas para 5 surcos de la sembradora neumática en dosis alta

Surco	Índice alimentación (%)	Fallas (%)	Múltiples (%)
Surco 1	38	31	31
Surco 2	34	30	35
Surco 3	38	29	33
Surco 4	33	33	33
Surco 5	36	31	33
Porcentaje promedio	36	31	33

En el cuadro 13 se observan los resultados para los 5 surcos evaluados en la dosis alta, utilizada comercialmente, tomando los indicadores para las primeras 48 semillas caídas en la lona. Los resultados indican que la sembradora utilizada presentó baja precisión. Esta conclusión se observa comparando el índice de alimentación con el de múltiples y fallas. En promedio si se suma el porcentaje de múltiples y fallas superan el 60% de error por parte de la máquina. Es llamativo que una sembradora neumática tome valores tan bajos de índice de alimentación. Alfaro (2014), en un experimento con similares características obtuvo un 49 % de semillas dentro del rango correcto.

El mismo procedimiento que se realizó para la dosis alta se hizo para las dosis media y baja. Los resultados se presentan a continuación

Cuadro 14. Índices de distribución de semillas para 5 surcos de la sembradora neumática en dosis media

Dosis media	Índice alimentación	Fallas	Múltiples
Surco 1	38	21	41
Surco 2	38	31	31
Surco 3	41	23	36
Surco 4	36	31	33
Surco 5	38	23	38
Porcentaje promedio	38	26	36

Cuadro 15. Índices de distribución de semillas para 5 surcos de la sembradora neumática en dosis baja

Dosis baja	Índice alimentación	Fallas	Múltiples
Surco 1	42	21	38
Surco 2	38	25	38
Surco 3	50	25	29
Surco 4	54	17	29
Surco 5	46	21	33
Porcentaje promedio	45	22	33

A modo de resumen se presentan los promedios de los índices para cada dosis.

Cuadro 16. Resumen de los índices de distribución de semillas de la sembradora neumática para las tres dosis evaluadas

Dosis	Índice de alimentación	Fallas	Múltiples	Coef. de
	%	%	%	precisión %
Alta	36	31	33	24
Media	38	26	36	25
Baja	45	22	33	28

Los resultados del cuadro reflejan que la sembradora a medida que disminuye la dosis de siembra aumenta el índice de alimentación, lo que significa que aumentan las semillas dispuestas en el lugar correcto. Esto parece razonable ya que cuanto menor es la dosis, cada semilla presenta un mayor rango “correcto” y la probabilidad de que caigan en él, es mayor.

Al tratarse de porcentajes, al aumentar el índice de alimentación debería disminuir uno o los dos restantes indicadores. En este caso el porcentaje de múltiples permanece constante, ya que este está mejor explicado por errores que podrían nacer de la forma de la semilla (dos semillas prendidas de un agujero de la placa) que no se vería afectado por la dosis de siembra.

Una característica que se observa es que al disminuir la dosis de siembra aumenta el coeficiente de variación de las semillas que caen dentro del rango correcto (coef. de precisión).

5. CONCLUSIONES

La población expresada en plantas por metro lineal de surco fue diferente entre las dos máquinas evaluadas, obteniéndose un 15 % más de plantas con la sembradora neumática. También se observaron diferencias significativas en cuanto a población obtenida en base a la variable dosis. No se observó una interacción significativa entre sembradoras utilizadas y dosis de siembra, la dosis más alta obtuvo la mayor población como era esperable y el mayor rendimiento estimado.

Las evaluaciones del distanciamiento entre plantas (histogramas) reflejan que la sembradora neumática toma valores más próximos a los objetivos sin importar la dosis de siembra.

En la cantidad de vainas por metro, se encontraron diferencias significativas entre las máquinas y entre las diferentes dosis.

El número de granos por metro fue mayor con la sembradora neumática que con la de chorrillo determinando un aumento del rendimiento estimado de un 20%.

Sería necesario repetir los ensayos realizados para verificar las tendencias observadas en el presente estudio.

6. RESUMEN

En las últimas décadas, el cultivo de soja en Uruguay se ha convertido en una de las alternativas más rentables para los productores agropecuarios. Es dentro de éste marco, que se insertan nuevas tecnologías de producción, que apuntan hacia una actividad más rentable y sustentable en el tiempo. Las nuevas tecnologías aplicadas en la siembra del cultivo son determinantes en la performance y en el rendimiento del mismo. Con el propósito de determinar si existen diferencias entre dos tipos de siembra y tres dosis, se estudió y comparó el comportamiento de una sembradora de dosificación a chorrillos con distribución mecánica, con una sembradora de dosificación neumática con distribución por vacío a dosis, baja, media y alta. El estudio está compuesto por dos etapas, una de campo y otra de laboratorio. En la prueba de laboratorio, se evaluó la sembradora neumática siguiendo los criterios de las normas UNE 68-081-88 Maquinaria para siembra - sembradoras monograno; métodos de ensayo y la UNE 68-097-90 de manera de determinar la distribución de la semilla para esa máquina. Para la sembradora neumática se determinó el índice de precisión, el coeficiente de precisión, múltiples y fallas para evaluar el distanciamiento entre semillas. En el ensayo de campo se determinó la población y distanciamiento de las plantas, el número de vainas por metro lineal, número de granos por vaina y el rendimiento. La siembra con sembradora neumática obtuvo mayor población que la siembra a chorriльо. No se observaron interacciones sembradora –dosis de siembra, siendo superior la población obtenida en dosis alta. En cuanto a los componentes del rendimiento, la sembradora neumática obtuvo mayor número de grano por metro lineal de surco que la sembradora de chorriльо determinando un aumento en el rendimiento estimado del 20% respectivamente.

Palabras clave: Soja; Sembradora neumática; Sembradora de chorriльо.

7. SUMMARY

Throughout the past decades soybean production has become one of the most profitable products for agricultural farmers in Uruguay. It is within this environment that new production technologies are introduced, aiming to increase profitability and sustainability. New technologies applied to sowing methods are key determinants of crop yield and performance. In order to assess the difference between two types of sowing methods, a volumetric seed-drill with mechanic distribution was compared with a pneumatic precision seed-drill, under three seed rates: low, average and high. The study was structured in two phases: field and laboratory. During the latter, the pneumatic seed-drill was evaluated according to standard protocols UNE 68-081-88 “Maquinaria para siembra - Sembradora monograno; métodos de ensayo”, in order to determine the seed distribution. For the pneumatic precision seed-drill, the precision index and the accuracy, multiple and failures coefficient were used to characterize the distance between seeds. During the field work the population and distance between plants, the number of pods per linear meter, the number of grains per row, and the yield of each method were determined. The sowing with pneumatic seed obtained a higher stand of plants than the sowing with volumetric seed-drill. No interactions seed drill- sowing doses were observed and higher doses obtained higher plant stand. Regarding the yield components, the pneumatic seeder obtained a more grains per meter than the volumetric seed-drill. Therefore, it determined a 20 % raise in the estimated yield respectively.

Key words: Soybean; Pneumatic precision seed-drill; Volumetric seed-drill.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación, ES). 1988. UNE 68-081-88. Maquinaria para siembra – sembradoras monograno; métodos de ensayo. Madrid. 18 p.
2. _____. 1990. UNE 68-097-90. Material para siembra; sembradoras en línea (de chorrillo). Métodos de ensayo. Madrid. 16 p.
3. Alfaro, M. 2014. Evaluación de sembradoras para siembra directa de soja. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 42 p.
4. Baigorri, H. E. J.; Croatto, D. R. 2000. Manejo del cultivo de soja en Argentina. Revista INTA. no.16: 86-93.
5. Board, J.; Harville, B. 1996. Growth dynamics during the vegetative period affects yield of narrow-row, late-planted soybean. *Agronomy Journal*. 88(4): 567-572.
6. Braga, L.; Teichert, S. 2008. Fallas y dobles siembras en la productividad. (en línea). *Seed News*. 12(6): 9-11. Consultado 15 may. 2018. Disponible en http://www.seednews.inf.br/espanhol/seed126/print_artigo126_esp.html
7. Cepeda, C. S.; Tarán, S. H. 2008. Impacto de la población, distancia entre hileras y cultivar en el rendimiento de soja. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 115 p.
8. Cox, W.; Cherney, J. H. 2011. Growth and yield responses of soybean to row spacing and seeding rate. *Agronomy Journal*. 103(1): 123-128.
9. De Bruin, J. L.; Pedersen, P. 2008. Effect of row spacing and seeding rate on soybean yield. *Agronomy Journal*. 100(3): 704-710.
10. Ferraris, G.; González, N.; Rivoltella, A. 2014. Densidades y distribución de plantas en soja; en qué casos conviene resembrar? (en línea). Pergamino, El Sitio Agrícola.com. 1 p. Consultado 15 dic. 2017. Disponible en http://www.econoagro.com/.../cuando_resembrar_sj.
11. Graterol, Y.; Montilla, D. 2003. Efecto de distancias de siembra y poblaciones sobre el comportamiento de dos cultivares de soya de crecimiento indeterminado. *Bioagro*. 15(3): 183-192.
12. Heatherly, L. G.; Elmore, R. W. 2004. Managing inputs for peak production. In: Boerma, H. R.; Specht, J. E. eds. Soybeans; improvement, production and

- uses. 3rd. ed. Madison, WI, ASA/CSSA/SSSA. pp. 451-536 (Agronomy Monography no. 16).
13. Kratochvil, R. J.; Pearce, J. T.; Harrison, M. R. 2004. Row-spacing and seeding rate effects on glyphosate-resistant soybean for Mid-Atlantic production systems. *Agronomy Journal*. 96(4): 1029-1038.
 14. Méndez, A.; Scaramuzza, F.; Velez, J. P.; Villaroel, D. 2012. Evaluación de la respuesta en rendimiento del cultivo de soja a la siembra en surcos apareados. (en línea). Córdoba, INTA Manfredi. 6 p. Consultado 15 dic. 2017. Disponible en <http://inta.gob.ar/.../evaluación-de-la-respuesta-en-rendimiento-del-cultivo-de-soja-a-la-siembra-en-surcos-apareados>
 15. Norsworthy, J. K.; Frederick, J. R. 2002 Reduced seeding rate for glyphosateresistant, drilled soybean on the southeastern Coastal Plain. *Agronomy Journal*. 94(6): 1282-1288.
 16. Redes. 2012. Impacto del cultivo de soja en Uruguay; cambios en el manejo de la tierra y el uso de los agroquímicos. (en línea). Montevideo. p.3. Consultado 15 ene. 2018. Disponible en <https://www.redes.org.uy/.../impactos-del-cultivo-de-soja-en-uruguay>.
 17. _____. 2014. El comercio de soja en Uruguay. (en línea). Montevideo. p.3. Consultado 15 ene. 2018. Disponible en <https://www.redes.org.uy/.../el-comercio-de-soja-en-uruguay/>.
 18. Rich, A. M.; Renner, K. A. 2007. Row spacing and seeding rate effects on eastern black nightshade (*Solanum ptycanthum*) and soybean. *Weed Technology*. 21: 124-130.