

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EFFECTO DE FALTA DE UNIFORMIDAD DE SIEMBRA SOBRE EL  
RENDIMIENTO DE SOJA

por

Damián DOLDÁN  
Enrique FERRARI

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

MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2017

Tesis aprobada por:

Director:

-----  
Ing.Agr. Sebastián Ramón Mazzilli Vanzini

-----  
Ing.Agr. Oswaldo Ruben Ernst Benech

-----  
Ing.Agr. Andrés Locatelli Fagúndez

Fecha: 18 de diciembre de 2017

Autores:

-----  
Damián Doldán Abiuso

-----  
Enrique Alfredo Ferrari Bounous

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quisiéramos hacerle llegar nuestro más profundo agradecimiento a nuestras familias, que nos apoyaron en forma incondicional y fueron un pilar fundamental para que se concretara tanto el presente trabajo como también todo el resto de la carrera.

Queremos también aprovechar este espacio para agradecer y reconocer la labor de nuestro director de tesis, Ing. Agr. Sebastián Mazzilli, que con su apoyo, predisposición y orientación, permitió que este trabajo de tesis se concretara.

También queremos agradecer a todo el equipo de trabajo del laboratorio de la EEMAC y a todos los compañeros que de alguna manera u otra colaboraron tanto en la etapa de campo como en los trabajos realizados postcosecha.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS .....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....	2
2.1. <u>IMPORTANCIA DEL PROCESO DE SIEMBRA</u> .....	2
2.1.1. <u>Velocidad de siembra</u> .....	2
2.1.2. <u>Profundidad de siembra</u> .....	4
2.2. <u>COMPETENCIA, ARREGLO ESPACIAL DE PLANTAS Y RESPUESTA EN RENDIMIENTO</u> .....	5
2.3. <u>UNIFORMIDAD</u> .....	8
2.4. <u>MÉTODOS DE ESTUDIO DE LA UNIFORMIDAD DEL CULTIVO</u> .....	10
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	14
3.1. <u>LOCALIZACIÓN Y DISEÑO DE MUESTREO</u> .....	14
3.1.1. <u>Etapa de campo</u> .....	14
3.1.1.1. <u>Manejo de las chacras</u> .....	15
3.1.1.2. <u>Etapa de laboratorio</u> .....	15
3.1.1.3. <u>Determinaciones</u> .....	15
3.1.2. <u>Análisis de la información</u> .....	16
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	17
4.1. <u>CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL AÑO</u> .....	17
4.1.1. <u>Caracterización climática de la zafra</u> .....	17
4.1.1.1. <u>Precipitaciones</u> .....	17
4.1.1.2. <u>Temperatura</u> .....	18
4.1.1.3. <u>Radiación</u> .....	19

4.2.EFECTO DE LOS DIFERENTES FACTORES EN EL RENDIMIENTO POR SITIO.....	20
4.2.1. <u>Componentes numéricos del rendimiento</u> .....	20
4.2.2. <u>Efecto de la población</u> .....	22
4.2.3. <u>Efecto de la profundidad al horizonte C</u> .....	23
4.2.4. <u>Efecto del arreglo espacial sobre la distribución de plantas</u> .....	24
4.2.5. <u>Efecto del área del polígono</u> .....	28
4.2.6. <u>Efecto de la distancia entre plantas en la fila</u> .....	29
4.3.EFECTO DE LOS DIFERENTES FACTORES EN EL RENDIMIENTO POR PLANTA.....	30
5. <u>CONCLUSIONES</u> .....	35
6. <u>RESUMEN</u> .....	36
7. <u>SUMMARY</u> .....	37
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	38

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Figura No.	Página
1. Sitios y puntos de muestreo .....	14
2. Comparación de precipitaciones de la zafra en estudio en la EEMAC y la serie histórica 2002 - 2014 vinculado al ciclo fenológico del cultivo .....	18
3. Comparación de temperaturas medias mensuales de la zafra en estudio para la EEMAC y la serie histórica 2002 – 2014 .....	19
4. Comparación de la radiación media mensual de la zafra en estudio en la EEMAC y la serie histórica 2002 - 2014 .....	20
5. Relación entre número de granos y rendimiento por superficie .....	21
6. Relación entre número de vainas y rendimiento por superficie .....	22
7. Relación entre población y rendimiento .....	23
8. Relación entre profundidad del suelo y rendimiento por superficie .....	24
9. Relación entre población y área promedio del polígono.....	25
10. Relación para las variables distancia entre plantas y área promedio del polígono .....	26
11. Relación entre población y CV del área de los polígonos .....	27
12. Relación entre población y CV de la distancia entre plantas en la línea.....	28
13. Relación entre área del polígono y rendimiento .....	29
14. Relación entre CV de distancia entre plantas dentro de la fila y rendimiento por superficie .....	30
15. Relación entre número de granos y rendimiento .....	31
16. Relación entre número de vainas por planta y rendimiento.....	32
17. Relación entre número de granos por vaina y número de granos por planta .....	33
18. Relación entre área de los polígonos y rendimiento relativo .....	34

## 1. INTRODUCCIÓN

La soja *Glycine max* (L.) Merrill pertenece a la familia Fabaceae subfamilia Papilionoideas, de ciclo estival, valorada por su alto contenido en proteína (40%) y medio en aceite (20%). Tradicionalmente el grano de soja y sus subproductos (aceite y harina principalmente) se han utilizado para alimentación humana y animal. Según la base de datos FAOSTAT de FAO (2016), la superficie total a nivel mundial ocupada por el cultivo durante el año 2016 fue de 121.532.432 has, con una producción de 334.894.085 Mg, lo que arroja un promedio de 2.756 kg ha<sup>-1</sup>. Para la zafra 2016-2017 se prevé una producción total mundial de 312.360.000 Mg. Esta producción es dominada por Estados Unidos, Brasil y Argentina, en ese orden respectivamente.

En Uruguay el cultivo ocupa actualmente un área de 1.140.000 has, con una producción total de 2.208.000 Mg y un rendimiento medio de 1.937 kg ha<sup>-1</sup> (MGAP. DIEA, 2016). El hecho de ser el cultivo extensivo de secano con mayor rentabilidad económica, lo ubica como cabeza de rotación a la hora de realizar la planificación a nivel de empresas.

La siembra es un proceso clave en todo cultivo, ya que mediante el arreglo espacial y densidad de semillas se asignan los recursos a cada planta, determinando así la disponibilidad de recursos para el cultivo. Por otra parte, un adecuado arreglo espacial de plantas debería disminuir efectos negativos de factores bióticos y abióticos sobre el cultivo, redundando finalmente en mayores rendimientos.

Para el cultivo en estudio no se encontraron antecedentes que hagan referencia a variaciones en rendimiento atribuidas a la falta de uniformidad en la línea de siembra. Sin embargo, es conocido que mejoras en la rectangularidad de muchos cultivos generan mejoras en los rendimientos.

El objetivo de este trabajo es cuantificar el impacto de los cambios en la uniformidad de la distribución de plantas en la línea y la población sobre el rendimiento final del cultivo de soja. Para esto, se trabajó en chacras comerciales de producción ubicadas en el departamento de Paysandú, en el área de influencia de la Estación Experimental Mario A. Cassinoni (EEMAC). En estos sitios de producción existía variabilidad tanto en la distribución de plantas como en las poblaciones alcanzadas a cosecha.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. IMPORTANCIA DEL PROCESO DE SIEMBRA

La siembra es uno de los factores claves que inciden en el éxito de cualquier establecimiento del cultivo y la productividad (Soratto et al., citados por Cedrick et al., 2016). A partir de la misma se define el ambiente en el que se va a desarrollar el cultivo ya que determina el inicio de un período que se prolonga durante varios meses. Aquí se determina el arreglo espacial y la densidad de plantas del cultivo, y se establece si la población y distribución es capaz de interceptar la mayor parte de la radiación incidente durante el período crítico (Tesouro et al., 2009), lograr una utilización eficiente de los recursos disponibles y reducir los efectos perjudiciales de factores bióticos y abióticos (Griepentrog et al., 2011). Son todos estos factores los que hacen que la siembra sea clave para determinar el éxito productivo del cultivo.

Una adecuada labor de siembra se define como aquella donde la diferencia entre la cantidad de plantas posibles de obtener y las emergidas es mínima, la separación entre ellas es uniforme y el tiempo transcurrido para emerger es el mínimo para el conjunto de la población (Maroni y Gargicevich, citados por D'Amico et al., 2011). Son múltiples los factores que explican la falta de uniformidad en la distribución de las plantas en el cultivo, entre ellas, la sembradora a utilizar, la velocidad de avance de la misma, el mecanismo dosificador de la semilla y el volumen de rastrojo presente sobre el suelo, entre otros. A continuación, se hará una breve reseña de algunos de los aspectos que explican o modifican la falta de uniformidad.

#### 2.1.1. Velocidad de siembra

Se puede afirmar que, en todos los sistemas de siembra conocidos, la calidad de la siembra disminuye cuando se aumenta la velocidad de trabajo. Independiente de si la máquina se encuentra equipada con dosificador de tipo disco alveolado o neumático, ambas sembradoras son sensibles al aumento de la velocidad de trabajo, al punto de afectar no solamente la población final de plantas, sino también los espaciamientos entre las semillas, y su coeficiente de variación (Copetti, 2015). En experimentos con diferentes velocidades del tractor durante la siembra de soja, la distribución longitudinal de semillas fue influenciada por la velocidad del mismo, donde el promedio general para espaciamientos aceptables fue 59,25%, 22,60% para espaciamientos fallidos y 18,60% para los múltiples; siendo definidos como espaciamientos aceptables a los que se encuentran en el rango de 0,5 a 1,5 veces el espaciamiento medio esperado, por encima de dicho escalafón son considerados espaciamientos fallidos, y por debajo espaciamientos múltiples. Por lo tanto, mayores velocidades, ocasionan reducciones en

la cantidad de espaciamientos aceptables y aumentos en la cantidad de espaciamientos fallidos (Cortez et al., 2006). En la misma línea, Fialho dos Reis et al. (2007), evaluando velocidades de siembra en soja de 3,8 a 9,5 km h<sup>-1</sup> con dosificadores de disco alveolado horizontal, concluían que a velocidades de 7,7 km h<sup>-1</sup> se presentan mayores porcentajes de fallas.

Por su parte, Neto et al. (2008) combinando en dos ensayos, dos mecanismos dosificadores (mecánico de disco horizontal y neumático) con diferentes condiciones de cobertura de suelo y velocidades de avance de la sembradora, encontraron que al aumentar la velocidad (de 4,74 km h<sup>-1</sup> a 7,24 km h<sup>-1</sup> en disco horizontal, y de 5,56 km h<sup>-1</sup> a 10,21 km h<sup>-1</sup> en dosificador neumático), la población de plantas y el porcentaje de distancias aceptables se redujeron, además de hacerse más variables, siendo el mecanismo dosificador neumático el que más se aproxima al valor objetivo de semillas ha<sup>-1</sup>.

En otro trabajo llevado a cabo por Reynaldo et al. (2016) evaluando seis velocidades de avance (2, 4, 6, 8, 10 y 12 km h<sup>-1</sup>) para la siembra de soja, observaron que el incremento en la velocidad de desplazamiento de la sembradora, aumentó los espaciamientos defectuosos y múltiples, y disminuyó las distancias aceptables, causando disminuciones en la productividad del cultivo. La velocidad en la cual la sembradora evaluada presentó mejor desempeño y generó mayor productividad fue 4 km h<sup>-1</sup>.

Rinaldi et al. (2010), observaron en sus estudios que, por cada unidad de cambio en velocidad, hay un cambio en el espaciamiento de las plántulas de 0,0039 m. Tal comportamiento puede ser justificado por las características propias de cada dosificador, presentado fallas, que son resultado de la disminución en el tiempo para llenar las celdas del disco con semillas.

Contrariamente a lo presentado por los anteriores autores, Dias et al. (2009) lograron asegurar mediante su trabajo que velocidades de siembra de 4,3 a 11,0 km h<sup>-1</sup> para el cultivo de soja y 3,5 a 7,0 km h<sup>-1</sup> para maíz, no redujeron significativamente las densidades finales de semillas así como tampoco la distribución de las mismas, pero sí, el aumento de la densidad de siembra en ambos cultivos (8 a 20 semillas m<sup>-2</sup> para la soja y de 3 a 7 semillas m<sup>-2</sup> para maíz) logró reducir el porcentaje de espaciamientos aceptables de forma independiente a la velocidad de avance de la sembradora. Estos resultados coinciden con los presentados por Jasper et al. (2011) y luego corroborados por Castela et al. (2014) en cuanto a la velocidad de siembra, los que aseguran que incrementos en la velocidad hasta valores de 12 km h<sup>-1</sup> afectan la distribución de las semillas dentro del surco, pero no la productividad, número medio de vainas y granos por planta.

Analizando la información presentada se puede decir que dentro de velocidades entre 3 y 7 km h<sup>-1</sup> no se ve afectada la población ni distribución de plantas, en cambio cuando las velocidades siguen en aumento hasta los 12 km h<sup>-1</sup> las distribuciones y

poblaciones, así como la productividad, presentan discordancias entre los distintos autores.

### 2.1.2. Profundidad de siembra

La profundidad de siembra puede influir en la habilidad de emergencia de la plántula de soja y en el establecimiento uniforme del cultivo (Herbek y Bitzer, citados por Alkins et al., 2011). En la emergencia de la plántula de soja, así como en muchas otras especies, la parte aérea se retira del suelo encerrada por los cotiledones. Tal mecanismo se basa en el crecimiento inicial rápido y vigoroso del eje hipocótilo / raíz, mientras que el epicótilo y las hojas primarias, que están dentro de los cotiledones, no muestran casi crecimiento. Esto hace que sea difícil determinar la distancia recorrida por el hipocótilo hasta que llega a la superficie del suelo, que es la profundidad de siembra verdadera (De Souza y Weirich, 2008). Estos autores intentaron buscar una metodología que permitiera la medición de la profundidad de siembra en el cultivo de soja. La zona de diferenciación y la curva de la raíz parecían ser las metodologías más interesantes, las cuales presentaban una alta correlación con la profundidad de siembra teórica. Aunque sus valores de coeficientes de correlación estuvieron próximos, la zona de diferenciación parecería ser la referencia más eficiente y con menos sobreestimación en la profundidad de siembra.

La humedad, temperatura y textura del suelo, junto con las previsiones meteorológicas posteriores a la fecha de siembra son factores que deben ser considerados a la hora de definir la profundidad de siembra del cultivo. Las semillas, ya sean de soja o maíz, están expuestas a fluctuaciones tanto de la temperatura del suelo como de la humedad, y la magnitud de esta fluctuación puede verse influida por la profundidad de siembra. Siembras poco profundas (<2,5 cm) suelen experimentar mayores fluctuaciones de la humedad y temperatura del suelo (Licht, 2014).

La semilla de soja debe absorber la mitad de su peso en agua antes de que germine. Los suelos cultivados pueden secarse en los primeros 2,5 cm después de la siembra, dando como resultado el inicio del proceso de emergencia, pero no la culminación del mismo.

Por el contrario, siembras profundas (> 5 cm) ponen a la semilla de soja en riesgo de quedarse sin reservas de carbohidratos antes de la emergencia y aumenta el riesgo de infección por patógenos del suelo (Licht, 2014). La siembra a más de 5 cm, también puede resultar en el establecimiento de un mal soporte. El hipocótilo de soja, la parte de la planta que atraviesa la superficie del suelo durante la emergencia, es algo frágil. Las fuertes lluvias después de la siembra pueden dar lugar a costras en el suelo, resultando en daño del hipocótilo y una emergencia sin éxito, especialmente para las sojas profundamente sembradas que luchan para romper esa corteza de suelo gruesa (Cox, 2014).

Desbiolles (2004) asegura que la siembra profunda (mayor de 5-6 cm) puede afectar significativamente la emergencia del cultivo y la producción de grano. Un punto de partida para definir la profundidad de siembra, debe ser 3,8 cm, pero comprendiendo la influencia que tienen en el proceso de germinación la temperatura, la humedad y la textura del suelo, así como la labranza. Se debe estar dispuesto a ajustar la profundidad de plantación para una germinación ideal para cada campo en particular (Licht, 2014).

Por lo tanto, una profundidad de siembra de 3,8 cm, logra excelentes establecimientos tempranos del cultivo de soja para las condiciones del condado de Livingston, Estados Unidos (Cox, 2014). Desbiolles (2004) asegura que en muchas situaciones hay lotes que pueden sufrir una pérdida de rendimiento del 5-10% como resultado de una profundidad de siembra inadecuada, con situaciones más extremas que sugieren penalizaciones de rendimiento de 15-20% o más.

## 2.2. COMPETENCIA, ARREGLO ESPACIAL DE PLANTAS Y RESPUESTA EN RENDIMIENTO

La estructura del cultivo es uno de los mayores determinantes en la habilidad del mismo para capturar recursos y producir así altos rendimientos. La misma es un atributo complejo, ya que se encuentra determinada por el genotipo del cultivo, su fecha de siembra, densidad (número de plantas por unidad de área) y la disposición espacial de las plantas. Sin embargo, el componente espacial determinado por la densidad y la disposición de las plantas se considera en gran parte el modificador principal de la captura de los recursos y el uso por parte del cultivo, por lo tanto, es un factor determinante del rendimiento (Satorre, 2013). Dicho autor concuerda con lo estudiado por Bodrero (2003) donde asegura que la elección de una correcta densidad de plantas y espaciamiento entre hileras son claves para optimizar la productividad de los sistemas agrícolas.

A diferencia del cultivo de maíz, el cultivo de soja tiene la capacidad de poder compensar cierto nivel de densidades sub-óptimas a través de su capacidad de ramificación y es relativamente poco sensible a densidades supra-óptimas (aunque esto puede influir sobre el mayor riesgo de vuelco e incidencia de enfermedades, Alonso et al., 2015). Las ramas de la soja son las encargadas de darle al cultivo plasticidad vegetativa cuando es sembrada en bajas densidades (Satorre, 2013). Moore (1991), Wells (1991, 1993), aseguran que, en ambientes poco productivos durante la primera mitad del ciclo del cultivo, la plasticidad vegetativa no se expresa adecuadamente, por lo que la densidad óptima debe ser entre un 25% a 28% superior que la utilizada en ambientes favorables (Baigorri, citado por Vega y Andrade, 2002).

Trabajos llevados a cabo por Gaso y Núñez (2015) en cuatro zonas del país (bajos arroceros, lomadas del este, centro y La Estanzuela) donde se buscó cuantificar el efecto de distintas poblaciones (de 10 a 60 pl m<sup>-2</sup>) en fechas de siembra tempranas y tardías, arrojaron que existe respuesta en rendimiento hasta poblaciones de 18 pl m<sup>-2</sup>. Por encima de esta densidad el rendimiento logra estabilizarse, salvo en situaciones donde el ambiente determina una situación de crecimiento restringido para el cultivo como ser el caso de sequía terminal, donde se sigue encontrando respuesta por encima de este umbral de población. En los ambientes representados por suelos de alto potencial, como el sitio en La Estanzuela, aun con poblaciones tan bajas como 15 pl m<sup>-2</sup> el cultivo logró compensar a través de la ramificación para conformar un rendimiento similar al cultivo que tuvo más de 45 pl m<sup>-2</sup>.

Investigaciones sobre densidades de siembra llevadas a cabo por De Bruin y Pedersen (2008) en la Universidad Estatal de Iowa, Estados Unidos, compararon una amplia gama de densidades de siembra en las cuales los máximos rendimientos fueron obtenidos con densidades de siembra que estaban entre 432.434 y 555.986 plantas ha<sup>-1</sup>. Sin embargo, para obtener aproximadamente un 95 % de rendimiento máximo solamente se necesitaban 185.329 a 308.881 plantas ha<sup>-1</sup>. Por lo tanto, concluyeron que las poblaciones de soja de más de 247.105 plantas ha<sup>-1</sup> a la cosecha no lograron aumentos significativos en el rendimiento. Dichos autores culminan afirmando que los rangos óptimos de plantación son específicos de cada campo y las densidades de siembra se encontrarán más próximas al extremo inferior del rango cuando estemos frente a un ambiente altamente productivo.

Estudios realizados en Argentina por Rodríguez et al. (2015) y en Brasil por Cavalheiro et al. (2002), concuerdan que densidades entre 20 y 22 plantas m<sup>-2</sup> no deprimen el rendimiento en relación a mayores poblaciones (alrededor de 2790 kg ha<sup>-1</sup>), y a la vez ayuda a disminuir los costos de semilla. Además, pudieron observar que la disminución del rendimiento no se comportó linealmente con la reducción del stand de plantas, viendo de esta manera como la soja compensa por medio de la generación de mayor número de granos por planta. Siguiendo en el sentido de la compensación, Cox y Cherney (2011) aseguran que la soja en bajas densidades de siembra (32 plantas m<sup>-2</sup>) es capaz de producir un 20% más de ramas.

En cuanto al arreglo espacial, una medida de manejo que influye en gran parte sobre el mismo es la distancia entre hileras. El rendimiento de una misma variedad, sembrada en una misma fecha de siembra y a igual densidad puede modificarse al variar la distancia entre surcos. Esto debido a que el cambio de distribución que se produce cuando las plantas se aproximan entre hileras y se distancian dentro de cada una de ellas modifica la relación entre eficiencia de interceptación y el IAF, lo que genera que por cada unidad de IAF, se intercepte una mayor proporción de radiación y se establezca un menor valor de IAF crítico. Dichas consideraciones presentadas son compartidas en la bibliografía teniendo en cuenta que la disminución de la distancia entre surcos puede

tener mayor importancia en siembras tardías (Shibles y Weber 1966, Bodrero et al. 1989, Board et al. 1996, Martignone et al. 2011). Para nuestras condiciones Gaso y Núñez (2015), demostraron que el acercamiento entre hileras hasta valores de 0,19 m es una medida de manejo que podría mostrar respuesta favorable en el rendimiento en aquellas situaciones donde el crecimiento vegetativo del cultivo presenta restricciones, como es el caso de las siembras muy tempranas (con problemas de implantación y emergencias lentas) o los cultivos de segunda donde el período de crecimiento vegetativo es más estrecho. En ambientes de segunda se observó respuesta positiva al acercamiento entre hileras aun en una situación de alto potencial de rendimiento.

Cuando las condiciones ambientales (suelo, clima, malezas) limiten el crecimiento del cultivo, la reducción de la distancia entre surcos contribuye a mejorar el aprovechamiento de la radiación solar (Giorda, 1997). En este mismo trabajo se afirma que el espaciamiento entre surcos óptimo se reduce con el incremento de la latitud. Esto debido a que, a mayores latitudes, la estación de crecimiento más corta limita la producción de biomasa, por lo cual es necesario reducir la distancia para anticipar la cobertura del suelo e incrementar así la producción.

La magnitud del incremento de rendimiento por reducir la distancia entre hileras de 70 a 35 cm alcanzó valores máximos de hasta un 30% en el trabajo llevado a cabo por Bodrero et al., citados por Caivano (2011). Por su parte, Cavalheiro et al. (2002), estudiando el espaciamiento (60 cm vs. 45 cm) y la densidad de siembra sobre la productividad y características agronómicas de la soja observó que no hubo efecto de los factores por separado. Pero con espaciamientos de 45 cm y densidades de 10 plantas  $m^{-1}$ , aumenta la productividad por área, posiblemente debido a una mejor distribución espacial de las plantas, lo que también contribuye a un aumento en el porcentaje de sobrevivencia de las mismas. Sin embargo, trabajos anteriores presentados por Moore (1991), no encontraron interacción espaciamiento-densidad en el rendimiento con lo que el autor había llegado a la conclusión de que la densidad óptima para soja no depende de los espaciamientos. Mientras que los resultados obtenidos por Cavalheiro et al. (2002) se lograron en condiciones de suelos Latosol púrpura distrófico del sureste de Brasil (Lavras, MG), los de Moore (1991) se dieron en Norwood, en el estado de Louisiana, sobre un suelo franco limoso.

En este sentido, Capurro et al. (2006) afirmaron que es más importante reducir el espaciamiento entre surcos en un ambiente de baja productividad, calificando a éste a chacras con más de 35 años de Agricultura. Por otra parte, en siembras tardías, en general las plantas alcanzan un menor crecimiento (menor cantidad de nudos, menor altura, menor IAF) por lo tanto si la siembra se realiza a un menor espaciamiento se logra una mejor intercepción de la radiación, y por lo general un mayor rendimiento. En cambio en fechas de siembra tempranas la respuesta es más confusa (Board et al., Bodrero et al., Rocchi et al., Capurro et al., citados por Bacigaluppo, 2011).

Sin embargo, estudios realizados por De Battista et al. (2008) no encontraron efecto de la distancia entre surcos para ninguna de las tres fechas de siembra analizadas (23/10/2007; 26/11/2007; 11/1/2008), tampoco interacción cultivar (diez grupos de madurez IV y V) por espaciamiento (26 o 52 cm); solamente se observaron diferencias significativas de rendimiento entre cultivares. Por otra parte, Caivano (2011), el cual evaluó tres distancias entre hileras (21, 42 y 52,5 cm) sembradas el 25 de noviembre de 2009 buscando una densidad de 40 plantas  $m^{-2}$ , las parcelas con menor distancia entre surcos lograron adelantar la intercepción total de la radiación, pero todos los distanciamientos superaron el IAF crítico (IAF donde se alcanza el 95% de la radiación) antes del estado de R4 (vainas completamente desarrolladas). En lo referido a rendimiento con distancia entre hileras de 21 cm el autor detectó disminuciones de 783  $kg\ ha^{-1}$  comparado con los demás distanciamientos. No se encontraron diferencias de rendimiento entre las mayores distancias. Esto puede ser atribuido a que en esa zafra (2009-2010) estuvo caracterizada por temperaturas elevadas, precipitaciones frecuentes y muchas horas de rocío, sumado a menores espaciamientos, dichas condiciones favorecieron la expresión de la enfermedad “mancha de ojo de rana” causada por *Cercospora sojina* la cual afectó varias provincias de Argentina, además de que el cultivar utilizado se comportaba como susceptible a dicha enfermedad. Cabe aclarar que si bien, De Battista et al. (2008), Caivano (2011) trabajaron en Argentina, ambos lo hicieron en provincias distintas, lo que determina condiciones variadas para el desarrollo de los cultivos. Mientras el primero trabajó en condiciones similares a las nuestras en la provincia de Entre Ríos (Villa Mantero), Caivano lo hizo en la zona de La Pampa.

En resumen, la información presentada muestra que la ventaja asociada a la disminución de la distancia entre hileras depende, en mayor grado, del ambiente al cual se enfrenta el cultivo en comparación con la densidad de población. Se puede agregar que la disminución de la distancia entre hileras cobra importancia cuando las características del ambiente hacen poco probable que en distancias “normales” el cultivo llegue a su IAF crítico.

### 2.3. UNIFORMIDAD

La mayor parte de los trabajos sobre densidades de siembra han estudiado el comportamiento del cultivo con plantas distribuidas uniformemente en la hilera, sin embargo, lo común es que el productor que sufre una merma en el stand de plantas de alguno de sus lotes, encuentre también una distribución despereja de las mismas (Ferraris et al., 2003). Copetti (2005) asegura que la uniformidad de espaciamiento entre las plantas ha influenciado en la productividad de los cultivos. Plantas distribuidas de forma no uniforme, implica un ineficiente aprovechamiento de los recursos disponibles, como luz, agua y nutrientes. Este mismo autor afirma que la acumulación de plantas en

algunos puntos puede provocar el desarrollo de plantas más altas, menos ramificadas, con menor producción individual, diámetro de tallo reducido, por lo tanto más propensas al vuelco. Por otro lado, que espacios vacíos dejados en la línea, además de facilitar el desarrollo de malezas, llevan al establecimiento de plantas de soja con porte reducido.

Gargicevich et al., citados por D'Amico (2011) para el cultivo de maíz, informan que la ocurrencia de plantas apareadas sin que sea modificada la densidad poblacional del cultivo, produce disminuciones significativas de rendimiento. Por su parte, para el cultivo de colza hay estudios realizados por Yang et al. (2014) que avalan que se pueden lograr aumentos de un 32% de rendimiento por tener un arreglo espacial uniforme en sitios de bajos rendimientos y de hasta un 20% en los sitios de alto rendimiento en comparación con arreglos no uniformes. Por eso la mayor importancia de la correcta siembra para dicho cultivo.

El cultivo de soja se caracteriza hasta ahora por ser muy poco exigente en la uniformidad de distribución, dado que los cultivares de la década pasada, poseían mecanismos de compensación con ramificaciones laterales, que cubrían las irregularidades ocasionadas por las sembradoras, esto llevó a la Argentina a adoptar las sembradoras a chorrillo en forma masiva. Hoy la tendencia cambió y es pertinente mejorar la distribución en la línea, y ello implica un retorno de las sembradoras monograno con trenes de siembra muy perfeccionados y capaces de trabajar a baja profundidad de siembra como lo exige la soja, aun con suelos húmedos y con abundante rastrojo en superficie (Bragachini et al., 2003).

Experimentos realizados en Argentina por Ferraris et al. (2003), confirman que los rendimientos de soja disminuyen en mayor medida cuando la distribución entre plantas no es uniforme, y ésta diferencia es más marcada a medida que la distancia entre plantas va en aumento, es decir, la distribución uniforme de plantas se vuelve más crítica a densidades bajas.

Ikeda (1992), encontró en experimentos con soja grupo de madurez VII sembrado a 25 pl m<sup>-2</sup> en Japón, que debería ser posible aumentar el rendimiento con patrones de distribución equidistantes. Investigaciones posteriores realizadas en Brasil por Cavalheiro et al. (2002), corroboraron los resultados anteriores respecto a que cuando el arreglo o espaciamiento entre líneas es igual al espaciamiento entre las plantas dentro de la misma línea, han sido observados aumentos de productividad en el cultivo.

Experimentos realizados por Egli (1994), con dos variedades de soja grupo de madurez IV, una de crecimiento determinado y la otra indeterminado, comparando siembras a 76 cm entre filas contra patrón equidistante (cada planta a 20 cm de las vecinas) observó que la intercepción de luz en R2 (floración completa) fue 14% mayor en el patrón equidistante para ambos cultivares, y en R5 (inicio de formación de semillas) no hubo diferencias. En cuanto a rendimiento, éste fue entre un 9 y 19% mayor en los espaciamientos equidistantes en la variedad de crecimiento determinado.

Cuanto menor es el espaciamiento entre hileras, la producción de soja aumenta debido a mayor aprovechamiento de los recursos disponibles, teniendo como una de las ventajas, dejar menos recursos para malezas y así suprimirlas. Según trabajos realizados por Cavalheiro et al. (2002), para densidades de 10 plantas por metro lineal en espaciamientos de 45 cm, se observan mayores productividades por área, posiblemente explicado a una mejor distribución espacial de las plantas, lo que también contribuye a un aumento del porcentaje de sobrevivencia.

A modo de resumen, los autores citados anteriormente concuerdan en la importancia de la uniformidad de distribución de las plantas al momento de captar los recursos disponibles. Analizando los rendimientos, dicha uniformidad se vuelve más relevante para los cultivos de colza y maíz, no encontrándose datos tan concluyentes para soja, lo que deja nuevamente a la vista el significativo efecto del proceso de compensación sobre el rendimiento final del cultivo.

#### 2.4. MÉTODOS DE ESTUDIO DE LA UNIFORMIDAD DEL CULTIVO

Históricamente, el efecto de la distribución de plantas sobre la productividad ha tenido poca relevancia en el área de investigación (Kristensen et al. 2006, Yang et al. 2014). No obstante, existen varios métodos para medir uniformidad en los cultivos, entre ellos medir la ortogonalidad, el desvío estándar de la separación de semillas y el área por planta. A continuación, se dará una breve descripción de los métodos y se enfocará el texto sobre el área ocupada por planta que es el método seleccionado en el presente trabajo.

La disposición de siembra de los cultivos se describe a menudo por su ortogonalidad o rectangularidad, es decir, la relación de la distancia entre las filas a la distancia entre plantas dentro de una fila. En general, el rendimiento del cultivo tiende a ser mayor, en cualquier densidad, si las plantas están dispuestas regularmente, es decir, la ortogonalidad es 1 (Satorre, 2013).

En cuanto al desvío estándar entre plantas en la línea, es conocido el hecho que cuanto mayor es éste, más variable es la distribución de las semillas y/o plantas del cultivo y mayor la probabilidad de estar perdiendo rendimiento por una ineficiente captura y uso de los recursos ambientales. Por ejemplo, en maíz existen trabajos que muestran importantes reducciones de rendimiento con desvíos estándar mayores a 13 cm entre plantas (Alonso et al., 2015). En contraparte, Gargicevich, citado por D'Amico (2011), afirma que el desvío estándar no es una medida confiable para predecir y/o caracterizar diferencias de rendimientos atribuibles a la falta de uniformidad espacial en el cultivo de maíz.

Diversos estudios encabezados por Hühn (1999, 2000a, 2000b, 2003) tuvieron como objetivo la cuantificación de la depresión en rendimiento (Y) causada por patrones de distribución espacial de plantas no uniformes. Para dicha cuantificación, utiliza dos variables: el rendimiento individual por planta (S) y el área disponible por individuo (A), relacionados de la siguiente manera:  $Y=S/A$ . El área individual por planta se estimó a partir del método de Polígonos de Thiessen. Éstos se definen como los polígonos más pequeños que pueden obtenerse por la unión de las perpendiculares de los puntos medios de las rectas, que unen una planta determinada con cada una de sus competidoras vecinas. El polígono alrededor de una planta incluye todos los puntos más cercanos a la misma que a cualquier otra (Hühn, 2003). En este modelo, el área del polígono representa el área potencialmente disponible para el crecimiento de la planta. Su magnitud numérica simula la disponibilidad de recursos para crecimiento y factores esenciales del ambiente (luz, agua, nutrientes, espacio físico) para cada planta individualmente. Estos polígonos son mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivos de la superficie total (Hühn, 2003).

Los procesos involucrados en el crecimiento de una población y formación del rendimiento son mucho más complejos de lo que puede describirse a través de consideraciones netamente espaciales. Sin embargo, los Polígonos de Thiessen son al menos, una medida razonable y comparable del área bidimensional disponible y pueden proveer variables independientes útiles para predecir el crecimiento de plantas (Hühn, 2003). El efecto de patrones de distribución espacial no uniformes sobre el rendimiento se puede expresar, en parte a través de la varianza del área de los Polígonos de Thiessen. Este parámetro, sin embargo, depende fuertemente de la precisión de la tecnología de siembra utilizada (Hühn, 2003). En sus diversos trabajos, Hühn llega, a partir de la utilización de diversas herramientas de la matemática y estadística, a una aproximación teórica, que provee una estimación cuantitativa de la reducción en rendimiento causada por patrones de distribución de plantas no uniformes. La misma está representada por la siguiente ecuación:

$$Y \cong \frac{1}{k_1+k_2 A} - \frac{k_1+k_2}{(k_1+k_2 A)^3} \sigma^2_A$$

El rendimiento (Y) depende del área media de los polígonos ( $\bar{A}$ ) y de la varianza de las áreas individuales por planta ( $\sigma^2_A$ );  $k_1$  y  $k_2$  son constantes determinadas a partir de la información de múltiples experimentos. El rendimiento por unidad de área es compuesto de dos términos aditivos: el primero depende solo del área media individual por planta, mientras que el segundo, de la media y la varianza del área individual por planta simultáneamente. Este último término, es proporcional a la varianza del área individual por planta, es decir que tiende a cero cuando ésta tiende a cero. El segundo término en dicha ecuación puede ser interpretado como el efecto de la variabilidad en el área individual de plantas sobre el rendimiento. En esta interpretación, el rendimiento (Y) se reduce frente a incrementos en la variabilidad de A. La ecuación

provee una estimación cuantitativa de la pérdida en rendimiento causado por patrones de distribución espacial de plantas no uniformes. A menor  $\sigma^2A$  (mayor uniformidad), el rendimiento aumenta y tiende a ser igual al primer término de la ecuación.

Los resultados demuestran que aumentos en la uniformidad espacial de individuos en un área, determinan incrementos en el rendimiento, explicados por menores interferencias entre los mismos con igual reparto de recursos. A su vez, se sugiere que el patrón de distribución ideal es aquel representado por hexágonos equiláteros que reducen a cero la varianza de los Polígonos de Thiessen. Otros factores a considerar para medir el grado de competencia, además del área disponible por planta son: el número, tamaño y proximidad de los competidores vecinos. Tales mejoras deberían incluir conceptos de espacio tridimensional disponible por planta. A su vez, parece ser necesario la introducción de medidas dinámicas, modelos de interferencias de las comunidades de plantas, en lugar de descripciones estáticas con representaciones del estado del sistema en un solo momento. El análisis por lo tanto, debe considerar cambios temporales y tendencias a lo largo del tiempo (Hühn, 2003).

Según Griepentrog et al. (2009, 2011), el área del polígono no se espera sea el único factor del mismo que influye sobre el crecimiento de las plantas. La forma y posición de la planta dentro del mismo, deberían estar afectando también. Si bien la soja tiene capacidad de adaptarse a diversas condiciones de espaciamiento dada su plasticidad, la utilización de recursos, probablemente, sea limitada para polígonos excesivamente alargados y posicionamientos excéntricos dentro del mismo, que pueden ser comunes a elevados valores de rectangularidad y coeficiente de variación. Estos autores propusieron como objetivo de trabajo investigar el efecto potencial de la uniformidad, desde una óptica bidimensional sobre el rendimiento en el cultivo de canola. Utiliza para medir el área disponible por planta, el método de Polígonos de Thiessen, corrigiendo por excentricidad y forma de dichos polígonos. Las áreas de estos polígonos fueron utilizadas para investigar la influencia de dos de las determinantes más relevantes de la uniformidad espacial de la siembra: distancia entre hileras y distanciamiento de plantas dentro de una misma hilera, sobre el rendimiento por unidad de área y preguntarse cómo cambios en la tecnología de siembra pueden afectar la performance del cultivo. La primera, es expresada por la rectangularidad ( $q$ ), definida como la distancia entre hileras dividida entre la distancia media entre plantas dentro de la hilera. El segundo parámetro está expresado por el coeficiente de variación ( $CV$ ) del espaciamiento entre plantas adyacentes dentro de una misma hilera. El uso de la rectangularidad hace que el análisis sea independiente de la densidad de plantas.

Los diferentes patrones de distribución espacial fueron generados a partir de variaciones en rectangularidad en el rango de 0 a 6 y  $CV$  en el rango de 0 a 1,5. Estos rangos fueron sugeridos como corrientes y posibles patrones alcanzados comúnmente en el establecimiento de cultivos (Griepentrog et al., 2009). La relación entre el rendimiento de una única planta  $m$  (g) y el área disponible  $A$  ( $\text{mm}^2$ ), para estos ensayos, puede ser

descrita por una ecuación derivada de un análisis de regresión (Hühn 2003, Griepentrog et al. 2011):

$$m = k_1 + k_2 \ln(A)$$

siendo los valores de k los siguientes:  $k_1 = -84,8$  y  $k_2 = 9,707$

Si bien los valores de  $k_1$  y  $k_2$  utilizados en este estudio no son los mismos que los utilizados por Hühn (2003), son muy similares. Cabe destacar que Griepentrog et al. (2011), a diferencia de Hühn (2003) no solo enfoca el análisis en el cálculo del área, sino que además agrega la compactación (C) y la excentricidad (E) de cada polígono. Por otra parte, en situaciones de formas de polígonos o posicionamientos extremos dentro de los mismos, el autor utiliza dos variables de ajustes: forma y excentricidad.

Los resultados indicaron que un patrón agregado de plantas dentro de la hilera (CV>1.0) y alta rectangularidad ( $q > 4.0$ ) dieron lugar a los rendimientos más bajos estimados. Rendimientos estimados basados únicamente en las áreas de los polígonos fueron mayores para bajas rectangularidades y alta uniformidad dentro de la hilera. La uniformidad de las plantas dentro de la hilera generalmente tuvo un efecto mayor que la rectangularidad. Altos coeficientes de variación produjeron bajos rendimientos. Dado un coeficiente de variación, el efecto por variar la rectangularidad parece ser menos importante. Altos rendimientos fueron logrados por bajos coeficientes de variación (CV<0.4) y una rectangularidad entre 0.5 y 4.0. A su vez, el autor sugiere que la corrección por la forma del polígono es importante con altos valores de rectangularidad. Esto es razonable ya que para elevados valores de esta variable se puede asumir que, a pesar de la alta plasticidad del cultivo de canola, el área disponible en un polígono elongado puede ser utilizado únicamente a través de un costo energético extra para la planta. Por otra parte, la corrección por excentricidad se vuelve importante para altos valores de CV y bajos de rectangularidad. Esto es porque altos valores de  $q$  resultan en polígonos con forma muy elongada, con plantas con posicionamientos centrados y son prácticamente independientes de la uniformidad dentro de la hilera.

Si bien los estudios realizados por Griepentrog et al. (2009, 2011) para el método de estudio de la uniformidad fue realizado para el cultivo de canola, lo importante es el método *per se* y no tanto el cultivo, que se puede tomar como un ejemplo de aplicación del método.

La hipótesis principal del siguiente trabajo de tesis, es que existe relación entre la uniformidad de distribución de plantas, la población y el rendimiento final.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LOCALIZACIÓN Y DISEÑO DE MUESTREO

El trabajo de tesis fue realizado en chacras de producción al estado de madurez fisiológica (figura No. 1) desde el 28 de abril al 5 de mayo de 2016 en el km 336 de ruta 3, próximo a Colonia La Paz, departamento de Paysandú, aproximadamente a unos 30 km de la Estación Mario A. Cassinoni (EEMAC).

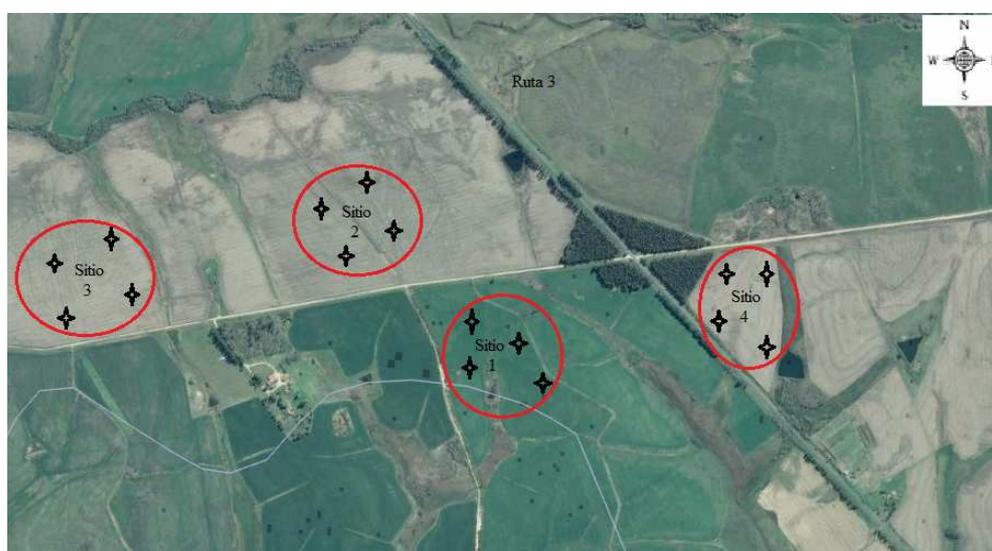


Figura No. 1. Sitios y puntos de muestreo.

##### 3.1.1. Etapa de campo

Se seleccionaron 4 sitios, realizando 4 muestreos en cada uno, contabilizando un total de 16 unidades muestrales. Los criterios para la elección de los sitios de muestreo fueron buscar homogeneidad en cuanto a suelo, evitando zonas con problemas productivos visibles. La variabilidad que se encontró en los distintos sitios por ser mediciones a nivel de campo, fue la variabilidad generada por las sembradoras comerciales utilizadas.

En cada sitio se delimitó un área de 8 surcos, por 4 metros de largo. Se anotó la distancia entre filas, la cual varió de 35 cm a 52 cm. Las filas fueron nombradas de izquierda a derecha. Para las 8 filas se midió la distancia al cero que se ubicaba cada planta. Se armó una grilla en la cual la primera planta en la primera fila a la izquierda era la ubicación 0/0 (X/Y), siendo el primer número la distancia desde esa planta de las

distintas filas (eje X) y el segundo valor la distancia de cada planta dentro de la fila (eje Y). Además, para las filas 4 y 5 se contabilizó las vainas por planta, se las cosechó y se las colocó en bolsas individuales utilizando como rótulo de cada bolsa la identificación del sitio, la distancia que permanecía del cero dicha planta y la fila (4 o 5) a la que correspondía. Para culminar el trabajo en campo, con el taladro holandés se midió la profundidad al horizonte C en cada sitio.

#### 3.1.1.1. Manejo de las chacras

En cuanto a la siembra, en los sitios 2, 3 y 4 se utilizó la variedad A5509, a razón de 67-70 kg de semilla por hectárea, sembrados los dos primeros a 0,35 m de distancia entre hilera, y el tercero a 52 cm. Esta variedad pertenece al grupo de madurez V intermedio, con potencial de rendimiento muy alto y un hábito de crecimiento indeterminado.

Por otra parte, en el sitio 1, la siembra se realizó con semilla de la variedad A5258, a 67 kg por hectárea, con una distancia entre hilera de 0,35 m. Esta variedad pertenece al grupo de madurez V corto, y al igual que la sembrada en las otras chacras, tiene un potencial de rendimiento muy alto y un hábito de crecimiento indeterminado.

El manejo de la fertilización en los sitios 1 y 4, se realizó con fosfato monoamónico (MAP), fertilizante complejo granulado que aporta un 11% de nitrógeno y 52% de fósforo, a razón de 61 y 52 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente. En cambio, los sitios 2 y 3 no recibieron ningún tipo de fertilización.

#### 3.1.1.2. Etapa de laboratorio

Las vainas contadas en las líneas 4 y 5, fueron a su vez cortadas de las plantas colocadas en bolsas de papel y secadas en estufa a 40 °C hasta peso constante. Por último, se contabilizaron los granos por planta, para luego obtener los componentes de rendimiento más relevantes en soja: número de vainas planta<sup>-1</sup>, número de granos planta<sup>-1</sup> y rendimiento en grano por planta.

#### 3.1.1.3. Determinaciones

A partir de los datos generados en la etapa de campo, se confeccionó una grilla en donde las plantas vecinas a cada planta de interés se ubicaron en un eje x/y donde el 0/0 correspondía a cada planta de interés. Con esta información se estimó el área de cada Polígono de Thiessen mediante el programa ArcMap®.

### 3.1.2. Análisis de la información

En el presente trabajo se utilizaron dos variables aleatorias que permiten el modelado y la estimación de los patrones espaciales regulares y no regulares de la distribución individual de las plantas sobre el rendimiento, dichas variables son el rendimiento y el área individual por planta. El área individual por planta se estimó utilizando el área de los Polígonos de Thiessen, los cuales se definen como los polígonos más pequeños que se pueden obtener mediante la construcción de bisectrices perpendiculares a las líneas horizontales que unen el centro de una planta a los centros de sus competidoras vecinas.

Para el estudio de los distintos factores que hacen al rendimiento, se asociaron las variables calculadas con el rendimiento relativo y rendimiento absoluto. Se entiende por rendimiento absoluto a la cantidad de grano obtenida por unidad de superficie, mientras que el rendimiento relativo es la relación entre el rendimiento absoluto de determinado punto dentro del sitio y el rendimiento medio de todos los puntos integrantes de dicho sitio.

Para cuantificar la variabilidad existente en la distancia entre plantas, área de polígonos y rendimientos para cada punto muestreado, se utilizó el coeficiente de variación. Este indicador muestra la relación entre la desviación típica de una muestra y su media, expresado en porcentaje. Permite así comparar las dispersiones de dos distribuciones distintas, siempre que sus medias sean diferentes.

Se asumió que todas las plantas nacieron el mismo día, eliminando de esta manera el efecto de la variabilidad temporal. Igualmente, el tamaño de la semilla de soja hace que el cultivo tenga una mayor independencia de las condiciones ambientales durante su emergencia, si se los compara con otros cultivos, permitiendo de esta forma un establecimiento más homogéneo en el tiempo.

Para llegar al dato de rendimiento final por hectárea de cada punto, se partió del rendimiento individual de cada planta, calculado en la etapa de laboratorio y se sumaron los rendimientos de todas las plantas en el área de muestreo.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

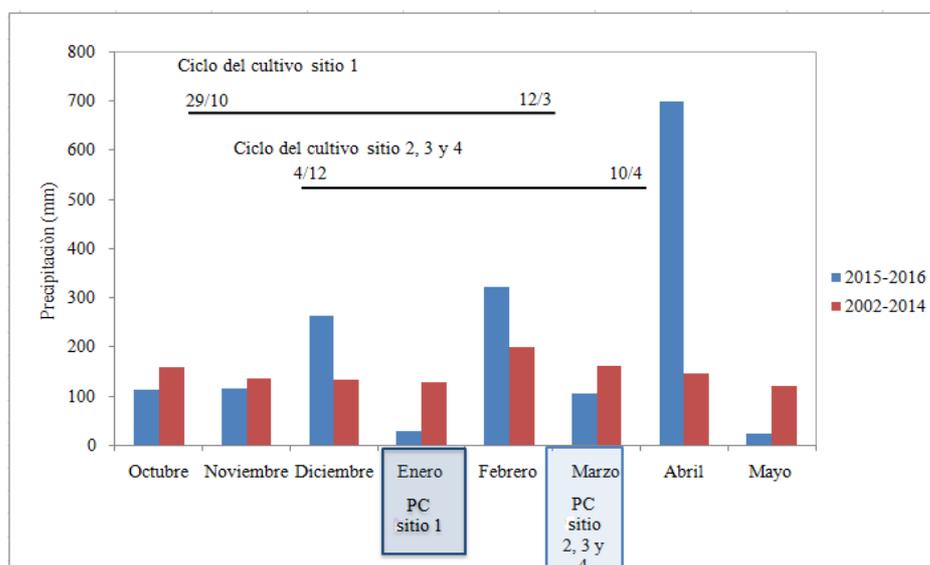
### 4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL AÑO

#### 4.1.1. Caracterización climática de la zafra

Son presentados los registros climáticos de la EEMAC, ya que los sitios en los cuales se realizaron las evaluaciones se encuentran en el área de influencia de la estación experimental.

##### 4.1.1.1. Precipitaciones

Si bien los requerimientos de agua necesarios para el desarrollo del cultivo estuvieron cubiertos durante todo el ciclo, la condición hídrica a la que estuvo expuesto el mismo durante este período fue muy variada. Desde octubre del 2015 a mayo del 2016 se registraron precipitaciones por un valor de 1591.mm, cifra significativamente mayor a los 530-570 mm que requiere la soja durante todo su ciclo. Este volumen se acumuló principalmente durante el mes de abril cuando los cultivos estaban llegando a madurez fisiológica, sólo en este mes se registraron 700 mm, más de 300% superior a la media de este mes para la serie histórica 2002-2014. Sin embargo, en los meses de enero y mayo, fundamentalmente, las precipitaciones se ubicaron por debajo de la media para dichos años (-76% y -80% respectivamente). Esta acumulación de lluvias sucesivas durante el mes de abril generó daños en la calidad del cultivo y atrasos en las fechas previstas de cosecha a nivel comercial.



PC: Período crítico

Figura No. 2. Comparación de precipitaciones de la zafra en estudio en la EEMAC y la serie histórica 2002 - 2014 vinculado al ciclo fenológico del cultivo.

Según el modelo de predicción fenológica de INIA (Fassio et al., 2014), el período crítico se ubicó entre el 6 de enero y el 4 de febrero para el sitio 1, y del 29 de febrero al 22 de marzo para los sitios 2, 3 y 4. Para el primer sitio, el período crítico para determinación del rendimiento coincide con un momento de escasas precipitaciones (solo 4 mm), situación que se ve atenuada por el volumen de precipitaciones del mes de diciembre, las que se ubicaron un 97% por encima del promedio de la serie histórica 2002-2014.

Situación contraria fue la del mes de febrero, donde las abundantes lluvias sirvieron para recargar el perfil y revertir así el balance hídrico. En este mes se registraron 323 mm de precipitación, valor 60% superior al promedio del mismo mes para los 12 años de la serie histórica. De esta forma los restantes tres sitios (2, 3 y 4), registraron valores de precipitación mayores durante el período crítico, ya que las lluvias de febrero fueron complementadas con 107 mm más durante el mes de marzo.

#### 4.1.1.2. Temperatura

Las temperaturas presentaron un comportamiento similar al de la media histórica, en donde los meses más calurosos del año, como lo son enero y febrero, se localizaron muy por encima de dicha media (figura No. 3).

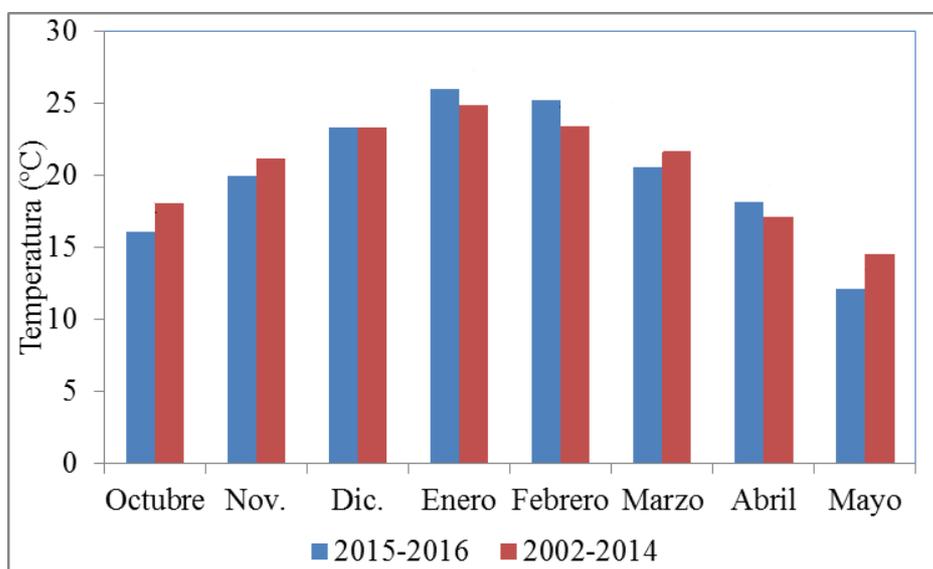


Figura No. 3. Comparación de temperaturas medias mensuales de la zafra en estudio para la EEMAC y la serie histórica 2002 – 2014.

#### 4.1.1.3. Radiación

Al igual que para la temperatura, la radiación presentó un comportamiento similar al de la media histórica, con excepción del mes de abril, mes que coincide con el mes de mayor volumen de precipitaciones. Enero y febrero son los meses con diferencias marcadas en radiación a favor del año en evaluación, meses en los que también se registraron las mayores temperaturas.

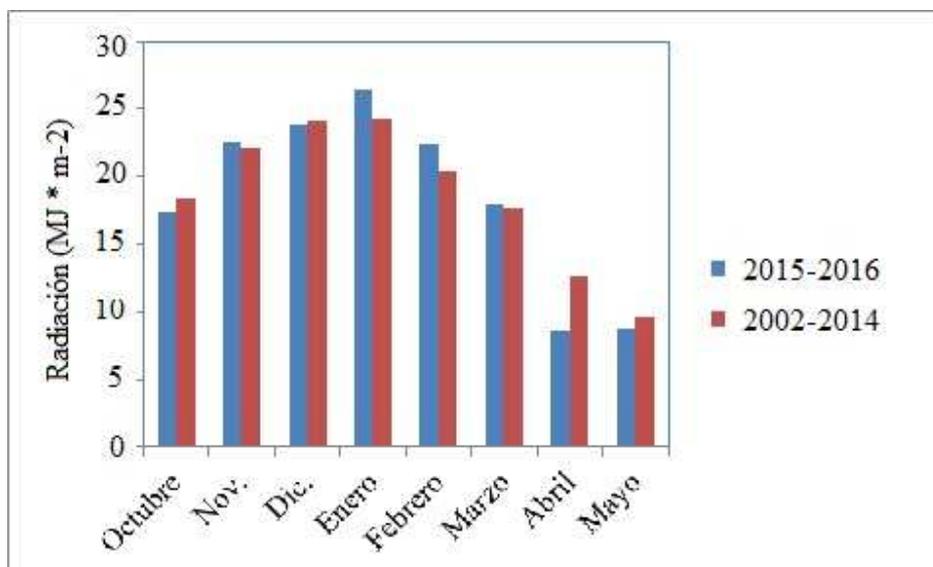


Figura No. 4. Comparación de la radiación media mensual de la zafra en estudio en la EEMAC y la serie histórica 2002 – 2014.

#### 4.2. EFECTO DE LOS DIFERENTES FACTORES EN EL RENDIMIENTO POR SITIO

##### 4.2.1. Componentes numéricos del rendimiento

Como es de esperar para los cultivos de grano, el peso individual de los granos y el número de granos por unidad de área, son los componentes numéricos de mayor relevancia a la hora de definir el rendimiento, siendo este último de mayor importancia. Según Cárcova et al. (2003), dicho componente tiene alto grado de dependencia de las condiciones ambientales reinantes durante todo el ciclo del cultivo, aunque especialmente con la tasa de crecimiento del cultivo en el período posterior a la floración.

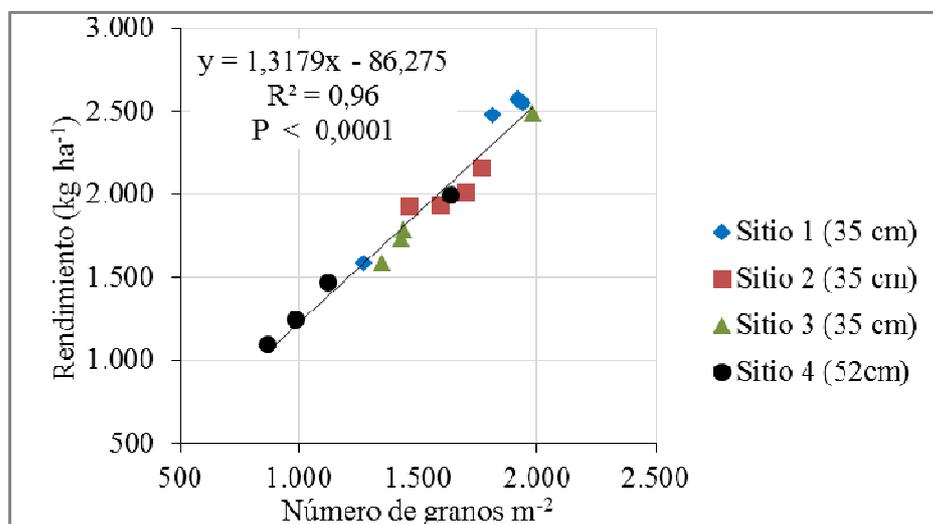


Figura No. 5. Relación entre número de granos y rendimiento por superficie. Cada punto es un sitio de muestreo.

Los datos muestran que las variaciones en el número de granos están estrechamente relacionadas con cambios en el rendimiento por unidad de superficie (figura No. 5). Se puede percibir además, que en espaciamientos de 35 cm el promedio de granos por superficie fue de 1.641 granos m<sup>2</sup>, siendo este dato superior a los contabilizados para espaciamientos de 52 cm (1.152 granos m<sup>2</sup>). El sitio 1, si bien logró los rendimientos más elevados, fue el que recibió menor volumen de precipitaciones durante su período crítico, pero a su vez éste coincidió con las condiciones de mayor radiación y temperatura del mes de enero. Situación opuesta fue la que se dio para los restantes sitios, donde se registraron mayores lluvias en el período crítico, pero el ambiente en cuanto a radiación y temperatura en el que se desarrolló el mismo fue menos favorable.

El principal componente determinante del número de granos fueron las vainas por unidad de superficie (figura No. 6). A mayor número de estructuras reproductivas en los rangos estudiados, mayor es el rendimiento observado, al igual que lo sucedido para el número de granos por unidad de superficie. En promedio, en espaciamientos de 52 cm se contabilizaron 208 vainas menos por m<sup>2</sup> que en espaciamientos más estrechos, donde el promedio fue de 747 vainas m<sup>-2</sup>.

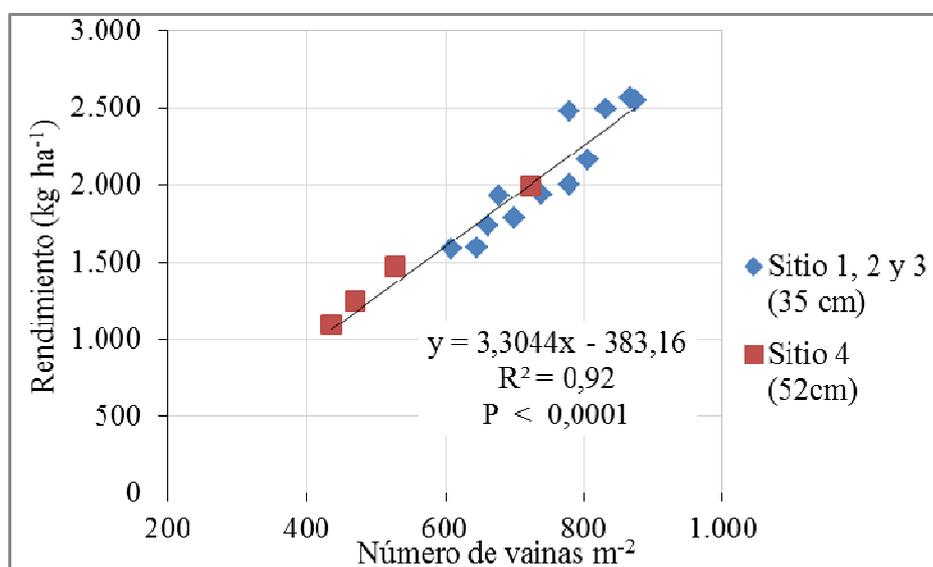


Figura No. 6. Relación entre número de vainas y rendimiento por superficie.

El rendimiento es explicado en un 96% ( $R^2 = 0,96$ ) y un 92% ( $R^2 = 0,92$ ) por las variables número de granos y número de vainas por superficie respectivamente. Por último, cabe destacar que los rendimientos para los sitios con distancias entre hileras de 52 cm, fueron en promedio de  $1.450 \text{ kg ha}^{-1}$ , en cambio con espaciamiento menores (35 cm) el rendimiento se incrementó en un 43 % aproximadamente, hecho que concuerda con lo presentado por Bodrero et al., citados por Caivano (2011), de que a menores distancias entre hileras (70 cm vs. 35 cm) el rendimiento se ve incrementado.

#### 4.2.2. Efecto de la población

Siguiendo una lógica de esquema para explicar algo complejo como lo es el rendimiento, otro de los sub-componentes del número de granos por unidad de área, es la población de plantas por unidad de superficie. Dentro de un amplio rango de situaciones y para la mayoría de las condiciones ambientales incluyendo las agronómicas, el número de plantas por unidad de superficie tiene nulo efecto sobre el número de granos y sobre el rendimiento, ya que la soja tiene capacidad de compensar bajas poblaciones, por ejemplo por una variación en las ramificaciones, variaciones por un mayor o menor número de nudos en las mismas, o por variabilidad en la fertilidad de cada nudo, ubicando así mayor o menor número de vainas por nudo (Kantolic et al. 2003, Cox y Cherney 2011, Satorre 2013, Alonso et al. 2015).

Se observó un mayor número de plantas por superficie para la distancia de 35 cm en relación a las de 52 cm ( $27 \text{ planta m}^{-2}$  vs.  $22 \text{ plantas m}^{-2}$ , respectivamente), y en el rango de población trabajado, no se detectaron cambios en los rendimientos. Esto es

coincidente con los datos presentados por Cavalheiro et al. (2002), De Bruin y Pederson (2008), Rodríguez et al. (2015), de donde los mismos aseguraban que incrementos por encima de las 20 plantas  $m^{-2}$  no se traducían en mejoras en rendimiento. A su vez, se puede observar una tendencia de que a 52 cm entre filas la población se vuelve relevante.

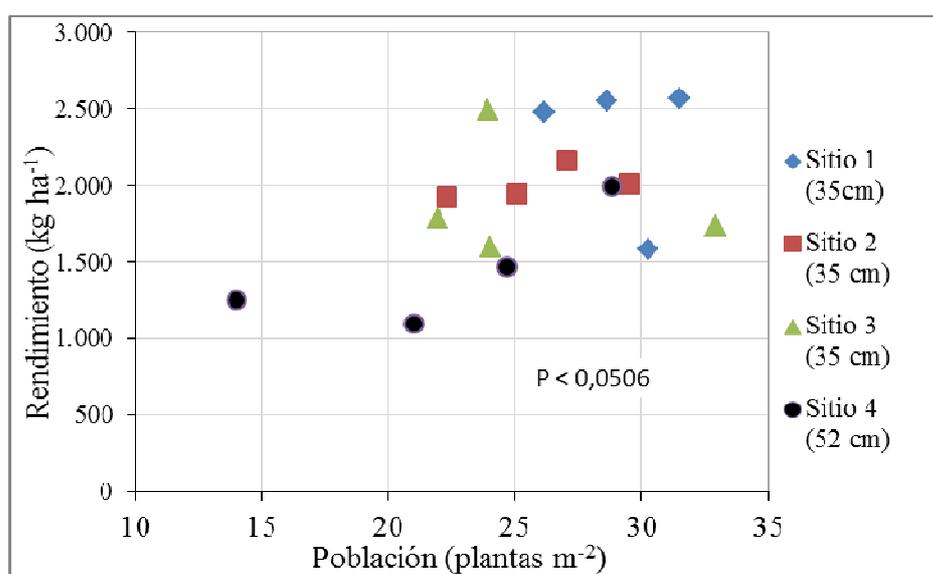


Figura No. 7. Relación entre población y rendimiento.

#### 4.2.3. Efecto de la profundidad al horizonte C

Si se consideran los efectos ambientales capaces de explicar el rendimiento, aparece la profundidad del suelo al horizonte C, que sería el compartimento donde va a estar ubicado el sistema radicular. Este parámetro no se relacionó con los rendimientos obtenidos (figura No. 8).

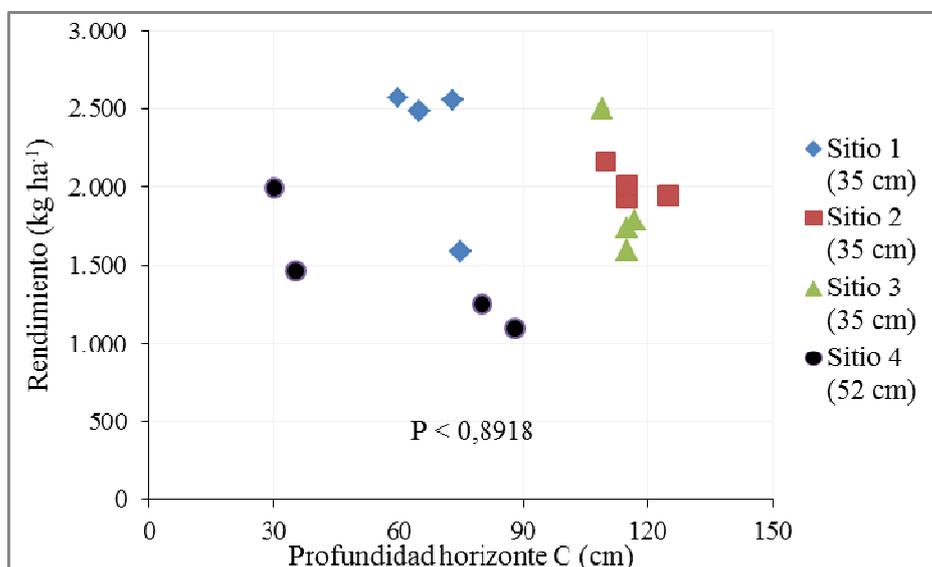


Figura No. 8. Relación entre profundidad del suelo y rendimiento por superficie.

#### 4.2.4. Efecto del arreglo espacial sobre la distribución de plantas

Cuando se habla de arreglo espacial, se refiere a dado un número de plantas, como se encuentran asignadas dichas plantas en la superficie. La asignación dependerá de la distancia entre las líneas de siembra y entre cada una de las plantas dentro de la línea. Los resultados mostraron una relación netamente espacial, entre la población de plantas por unidad de superficie y el espacio que ocupará cada una de ellas (figura No. 9).

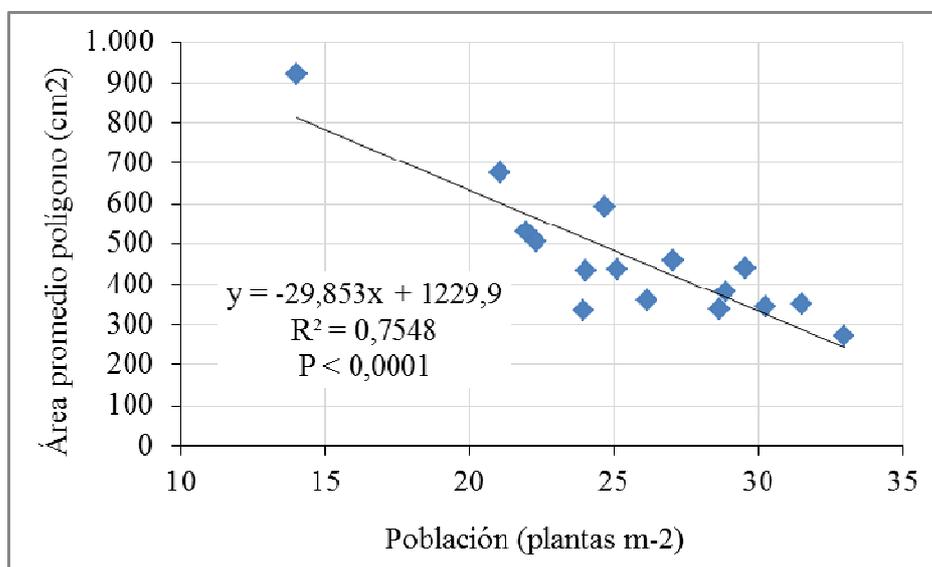


Figura No. 9. Relación entre población y área promedio del polígono que ocupa cada planta.

Se puede apreciar que existe una relación significativa entre plantas  $m^{-2}$  y el área de los polígonos, donde un aumento en el número de plantas  $m^{-2}$  se traduce en áreas de polígonos menores. Esto concuerda con la lógica de que cuantas más plantas tengo en  $1 m^2$  queda un menor espacio disponible para asignarlas en el mismo.

Otra de las variantes capaz de explicar el área ocupada por los polígonos, es la distancia entre cada una de las plantas dentro de la línea de siembra. Existe una relación lineal positiva, expresando que cuanto mayor sea la distancia entre las plantas, mayor será el área asignada a cada una. La variable distancia entre plantas, osciló entre valores de 6,25 y 13,53 cm, con un promedio para todos los sitios de 9,97 cm. Asimismo, a igual distancia entre plantas, el área del polígono será mayor si la distancia entre líneas se aumenta (figura No. 10).

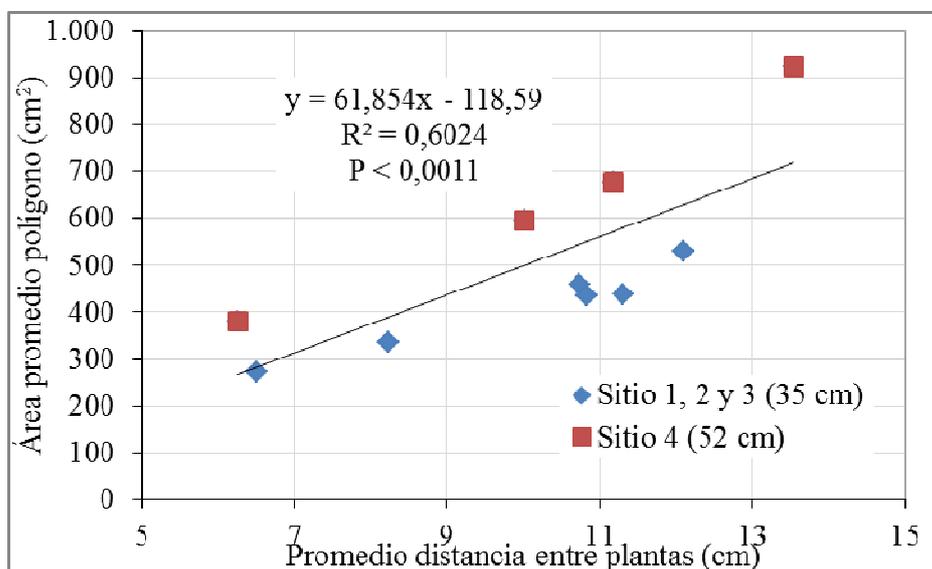


Figura No. 10. Relación para las variables promedio distancia entre plantas y área promedio del polígono.

La figura No. 11 muestra una información distinta a la esperada, donde se suponía que, a mayores poblaciones, la variabilidad de las áreas sería menor (%CV de áreas), consecuencia esto de una probabilidad de distribución más uniforme de las plantas dentro de un área determinada. Sin embargo, se observó que el CV de las áreas, no fue afectado por la población, lo que indica que, para este grupo de sitios, la uniformidad no estuvo asociada a la población.

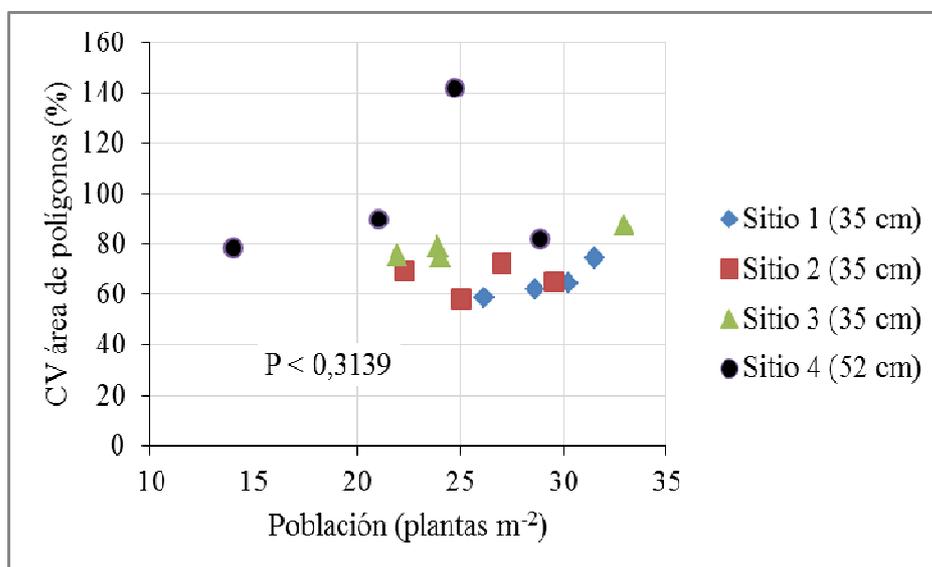


Figura No. 11. Relación entre población y CV del área de los polígonos.

Como fuera presentado en la revisión, otra forma de analizar la uniformidad de un cultivo es por la variabilidad de plantas dentro de los surcos. Es de esperar que, dentro de las filas con espaciamentos mayores, la distribución de plantas dentro de las mismas presente mayor uniformidad, debido al hecho de tener un mismo número de plantas para distribuir en menos surcos y en este caso, por el hecho que la sembradora a 52 cm es neumática, en relación a la sembradora a 35 cm que es a chorrillo.

No obstante, la evidencia muestra un comportamiento diferente al esperado (figura No. 12), ya que, en los espaciamentos entre hileras de 52 cm, donde se deben ubicar en promedio 11,4 plantas por metro lineal, la probabilidad de que estén mejor distribuidas es mayor que en los espaciamentos entre filas de 35 cm, donde se deben de reacomodar en promedio 9,45 plantas en 1 m<sup>2</sup>. Pero ello no sucede en este trabajo, en el que claramente la distribución de plantas dentro de fila se comporta de manera independiente a la población dentro del rango estudiado.

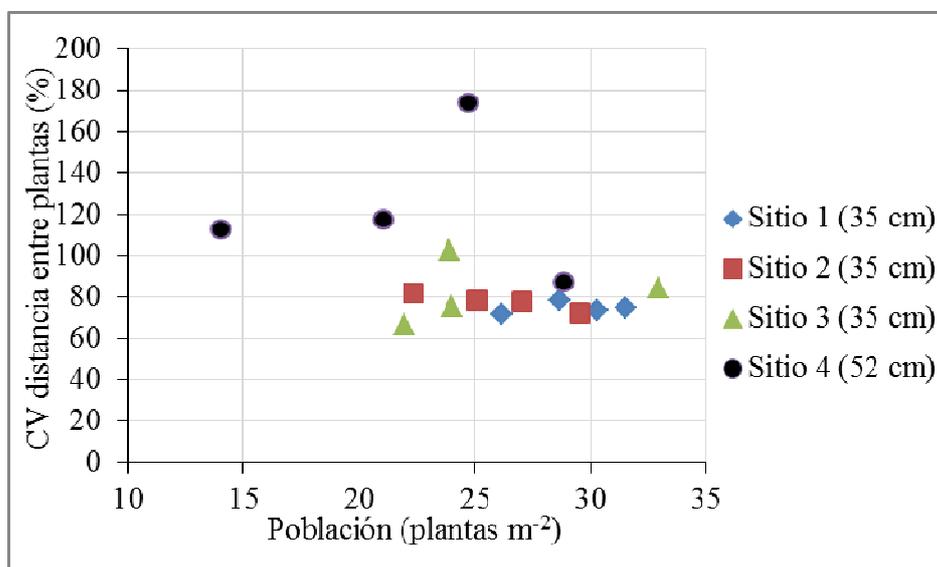


Figura No. 12. Relación entre población y CV de la distancia entre plantas en la línea.

#### 4.2.5. Efecto del área del polígono

El área del polígono representa el área potencialmente disponible para el crecimiento de cada una de las plantas (Hühn, 2003). Su magnitud numérica simula la disponibilidad de recursos para poder crecer, así como factores esenciales del ambiente (luz, agua, nutrientes, espacio físico) para cada planta individualmente. Estos polígonos son mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivos de la superficie total. A nivel general, estos datos muestran que las diferencias en rendimiento no están explicadas por las áreas de los polígonos. Sin embargo, en un espaciamiento entre hileras de 52 cm se observa una tendencia a que, a mayor área el rendimiento por superficie es menor. Esto puede ser explicado a razón de que, como se mostró en la figura No. 9, a mayor área de los polígonos, el número de plantas m<sup>2</sup> disminuye, pero con este distanciamiento el menor número de plantas por superficie no es capaz de compensar la pérdida de rendimiento.

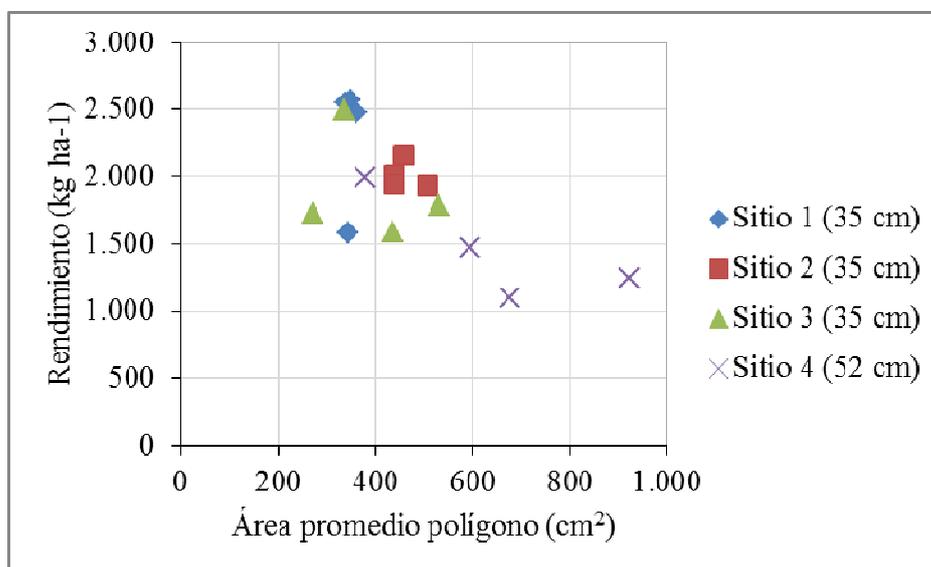


Figura No. 13. Relación entre área promedio del polígono y rendimiento.

También se puede visualizar que, las áreas de los polígonos pueden ser agrupadas por sitios según su espaciamento entre filas. Es así que para los espaciamentos de 35 cm, en promedio, el área de los polígonos estuvo en el entorno de los 400 cm<sup>2</sup>, en cambio para los espaciamentos de 52 cm fue de 643 cm<sup>2</sup>.

#### 4.2.6. Efecto de la distancia entre plantas en la fila

Además de verse el efecto de la variación de la distancia entre hileras, a continuación, se muestra el efecto de la variación en la distancia entre las plantas dentro de la fila sobre el rendimiento (figura No. 14).

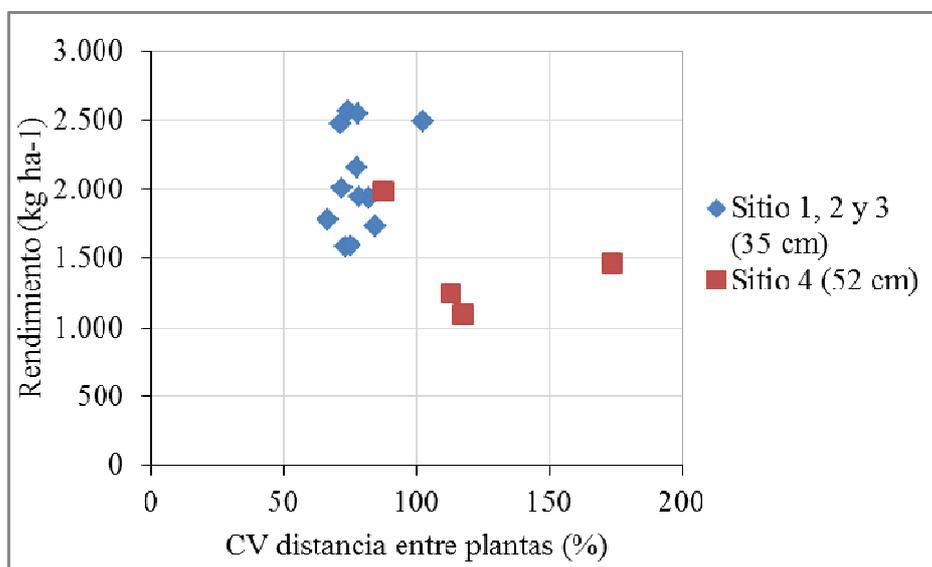


Figura No. 14. Relación entre CV de distancia entre plantas dentro de la fila y rendimiento por superficie.

Se observa que en promedio la variación de las distancias entre plantas de la misma fila es mayor para los espaciamientos de 52 cm ( $CV = 122\%$ ), comparado con espaciamientos entre filas de 35 cm ( $CV = 78\%$ ). Esto se puede explicar por medio de lo mencionado párrafos anteriores que en los sitios con mayores distancias entre hileras en promedio se observó menor número de plantas por unidad de área, lo que conlleva a tener mayor lugar de ordenamiento entre las plantas para una misma área.

Solo se detectó una tendencia de que a mayor  $\%CV$ , disminuyen los rendimientos, pero no puede ser confirmado, ya que solo el sitio sembrado a 52 cm presentó altos coeficientes de variación.

#### 4.3. EFECTO DE LOS DIFERENTES FACTORES EN EL RENDIMIENTO POR PLANTA

En esta sección, se estudia el comportamiento individual de cada planta, y como éstas en forma colectiva hacen al rendimiento del sitio, estableciendo así cuales son las variables que estuvieron involucradas en la construcción del rendimiento.

El número de granos puede subdividirse en varios subcomponentes. Estos subcomponentes representan la cantidad de sitios potenciales para el establecimiento de los granos (número de nudos por unidad de superficie), la fertilidad de estos sitios

(número de vainas por nudo), y la fertilidad de los frutos o estructuras reproductivas (número de granos por vaina). El número de granos por vaina se encuentra controlado, en mayor medida, por la genética utilizada. Algunos genotipos tienen una alta proporción de vainas con tres lóculos fértiles, mientras en otros predominan las vainas con dos lóculos.

A nivel de planta, los componentes numéricos como número de granos y número de vainas por planta, son los gestores del rendimiento de cada individuo, los que en conjunto con la población lograda, nos dará el rendimiento por superficie. En este caso, el número de granos, presentó una correspondencia directa con el rendimiento individual, con un comportamiento variado, logrando valores que oscilan desde los 2 a los 222 granos planta<sup>-1</sup>, y una media de 56,9 granos planta<sup>-1</sup>.

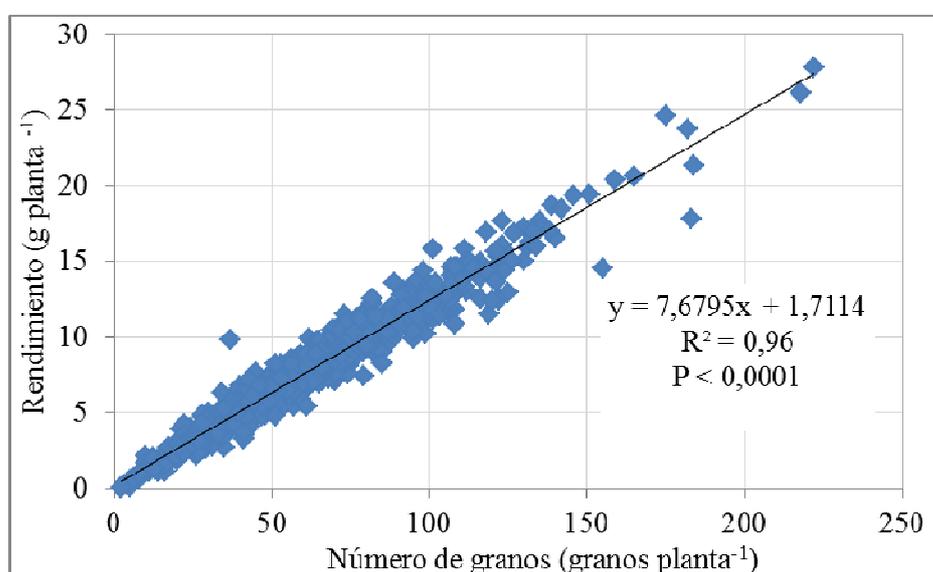


Figura No. 15. Relación entre número de granos y rendimiento por planta.

Al igual que lo citado en revisión bibliográfica, donde se aseguraba la existencia de una dependencia entre el número de vainas por plantas y el rendimiento individual de las mismas, se observó aquí también esta relación, directa y positiva entre ambas variables.

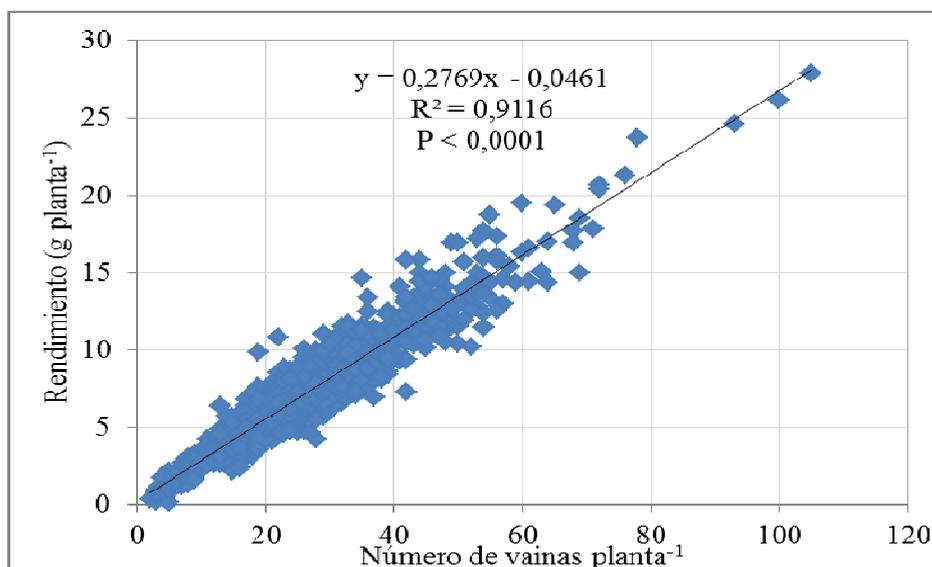


Figura No. 16. Relación entre número de vainas y rendimiento por planta.

Es de esperar entonces que aumentos en el número de vainas por planta generen incrementos en el rendimiento. En este caso particular, el número de vainas por planta presentó un comportamiento variado, con un promedio que ronda las 26,57 vainas planta<sup>-1</sup>. A partir de la figura que se presenta a continuación, se puede afirmar que el número de granos por planta no se vio influenciado por el número de granos por vaina. Resulta interesante destacar el valor que toma dicho dato fue de 2,18 granos vaina<sup>-1</sup>, para el promedio de todas las plantas cosechadas.

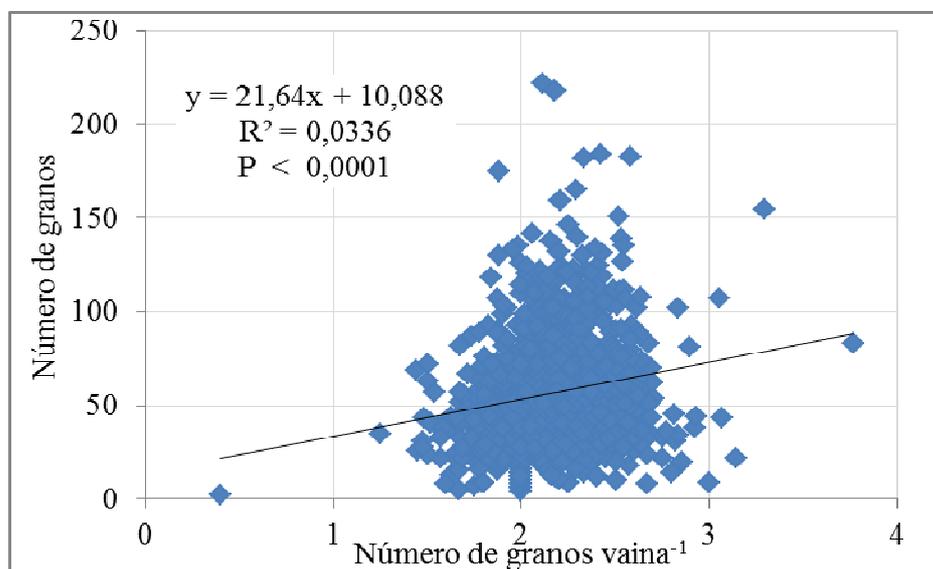


Figura No. 17. Relación entre número de granos por vaina y número de granos por planta.

Para esta variable no se constató un efecto sitio, ya que el valor osciló entre 2,11 y 2,21 granos vaina<sup>-1</sup> para el promedio de los cuatro sitios, lo que confirma lo dicho párrafos anteriores sobre el componente número de granos por vaina, el cual se encuentra determinado en mayor medida por componentes genéticos.

Integrando estos últimos dos datos, número de vainas por planta y número de granos por vaina, se obtiene el número de granos por planta, valor próximo a los 58 granos planta<sup>-1</sup>, que en promedio tienen un peso de 7,18 gramos. Este dato multiplicado por la población de plantas promedio (promedio todos los sitios = 26 plantas m<sup>-2</sup>), arroja el valor de rendimiento, que se ubicó en 1.867 kg ha<sup>-1</sup>. Es así entonces, que ambos datos pueden ser utilizados para hacer estimaciones de rendimiento previo a cosecha.

En la última etapa, se buscó representar la relación entre el área individual de cada planta, a través del área del polígono, y el rendimiento relativo de cada una de ellas, intentando así revelar el comportamiento en la productividad de las mismas frente a variaciones en el espacio disponible.

Si bien inicialmente se pensaba lograr una buena asociación, entre el área por planta y el rendimiento, y a partir de esa asociación generar un modelo de respuesta a la población en función de la población y la uniformidad, los resultados logrados muestran la gran capacidad de compensación de las plantas de soja, mediante el mecanismo de ramificación (figura No. 18).

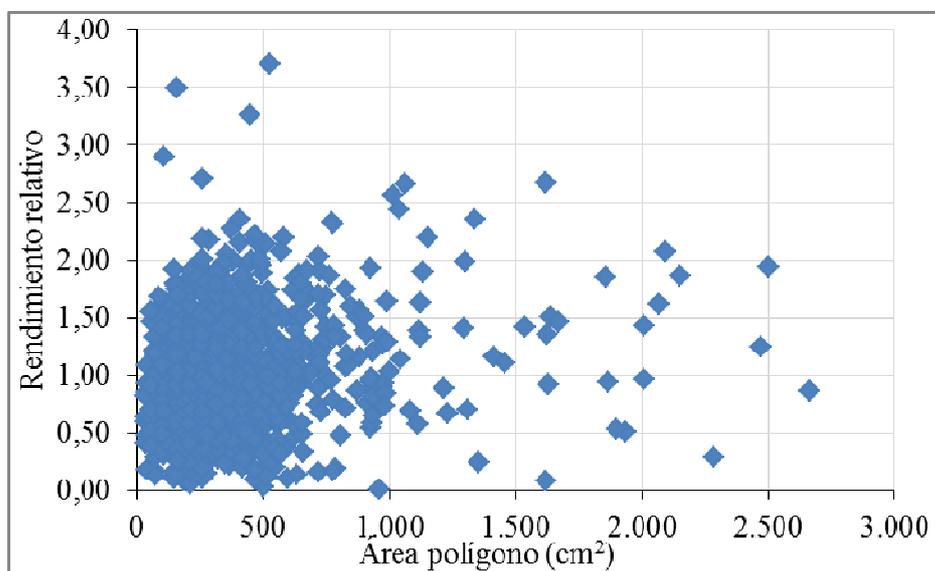


Figura No. 18. Relación entre área de los polígonos y rendimiento relativo.

## 5. CONCLUSIONES

En concordancia con la bibliografía, los componentes que mayormente explicaron las variaciones en el rendimiento fueron: número de granos y número de vainas por planta explicando un 96% y 92% respectivamente.

Con respecto a la población, no se encontró una asociación entre el rendimiento del cultivo y dicha variable, corroborando así lo explicitado anteriormente en la bibliografía. A su vez, no se encontró una relación entre la uniformidad de distribución de plantas y el rendimiento, medida mediante el CV (%) del área de los polígonos y el CV (%) de la distancia entre plantas dentro de la hilera. Dichos resultados fueron obtenidos en el rango de población estudiado que se ubicó entre 14 y 33 pl m<sup>-2</sup>, lo que no asegura, que por fuera de dicho rango no surja efecto.

Si bien el área ocupada por cada planta no tuvo una correlación con el rendimiento, se debería seguir estudiando si los distintos atributos del polígono, como excentricidad y forma, guardan algún tipo de relación con los rendimientos individuales.

Finalmente, se pudo evidenciar la importancia que tiene el proceso de compensación sobre el crecimiento del cultivo, frente a distintas condiciones del ambiente.

## 6. RESUMEN

El presente trabajo de tesis, llevado a cabo durante la zafra de verano de 2015-2016, tuvo como principal objetivo cuantificar el impacto de los cambios en la uniformidad de la distribución de plantas en la línea sobre el rendimiento final del cultivo de soja. Para ello se trabajó en chacras comerciales ubicadas en el departamento de Paysandú, precisamente sobre el kilómetro 336 de la ruta 3, próximo a Colonia La Paz (aproximadamente a unos 30 km de la EEMAC), donde se pretendía explicar la relación entre la uniformidad de distribución, la población y el rendimiento en grano. La metodología de trabajo consistió en un muestreo aleatorio donde se seleccionaron 4 sitios, y 4 muestreos por cada sitio, contabilizando un total de 16 unidades muestrales, registrándose a cosecha el valor de sus componentes numéricos y no numéricos de rendimiento. A su vez, se determinó, a partir de la creación de los Polígonos de Thiessen, el área individual por planta, permitiendo así crear modelos que permitieran relacionar dicha variable con el rendimiento. A nivel general, se observó que las diferencias en rendimiento entre los distintos sitios no están explicadas por las áreas de los polígonos. Sin embargo, en un espaciamiento entre hileras de 52 cm se observa una tendencia a que a mayor área, el rendimiento por superficie sea menor. También se constató que el CV de las áreas, no fue afectado por la población, información distinta a la esperada. La distribución de plantas dentro de fila también se comportó de manera independiente a la población en el rango estudiado. En lo que refiere al comportamiento individual de cada planta, se observó que los rendimientos de cada una de ellas se construyeron de forma independiente al área de los polígonos, ya que aquí el proceso de ramificación de las plantas descripto anteriormente, cobra importancia generando una nivelación de los mismos.

Palabras clave: Soja; Rendimiento; Uniformidad; Arreglo espacial.

## 7. SUMMARY

The main objective of this thesis, carried out during the summer of 2015/16, was to quantify the impact of the changes in the uniformity of the distribution of plants in the line on the final yield of the soybean crop. For this purpose, we worked on commercial farms located in the department of Paysandú, precisely on the 336 kilometer of route 3, near Colonia La Paz (about 30 km from the EEMAC) where it was intended to explain the relationship between uniformity of distribution, population and grain yield. The work methodology consisted of a random sampling where 4 sites were selected, and 4 samples were selected for each site, counting a total of 16 sample units, harvesting the value of its numerical and non - numerical yield components. In turn, it was determined, from the creation of the Polygons of Thiessen, the individual area per plant, allowing to create models that allowed to relate this variable with the performance. At the general level it was observed that the differences in yield between the different sites are not explained by the areas of the polygons. However, at a spacing between rows of 52 cm, there is a tendency for a larger area to yield less surface area. It was also found that the CV of the areas was not affected by the population, different information than expected. The distribution of plants within row also behaved independently of the population in the studied range. Regarding the individual behavior of each plant, it was observed that the yields of each of them were constructed independently of the area of the polygons, since here the process of branching of the plants described above becomes important, generating a leveling of the same.

Keywords: Soybean; Performance; Uniformity; Spatial arrangement.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. Alkins, S. H. M.; Afuakwa, J. J.; Nkansah, E. O. 2011. Effect of different sowing depths on soybean growth and dry matter yield. (en línea). Agriculture and Biology Journal of North America. 2 (9): 1273 – 1278. Consultado 24 ago. 2016. Disponible en <http://scihub.org/ABJNA/PDF/2011/9/ABJNA-2-9-1273-1278.pdf>
2. Alonso, M.; Ballvé, R.; Satorre, E. H. 2015. Controlando la densidad y uniformidad de siembra de los cultivos. (en línea). Cultivar. Conocimiento agropecuario. Decisiones. no. 87. 4 p. Consultado 16 ago. 2016. Disponible en [http://agroconsultasonline.com.ar/documento.html?op=v&documento\\_id=628](http://agroconsultasonline.com.ar/documento.html?op=v&documento_id=628)
3. Andrade, F. H.; Aguirrezábal, L. A. N.; Rizzalli, R. H. 2002. Crecimiento y rendimiento comparados. In: Andrade, F. H.; Sadras, V. eds. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Buenos Aires, Argentina, INTA Balcarce/UNMP. Facultad de Ciencias Agrarias. cap. 3, pp. 57-96.
4. Bacigaluppo, S.; Enrico, J. M.; Martignone, R. A.; Bodrero, M. L. 2011. Respuesta al espaciamento entre hileras en soja; rendimiento y sus componentes. In: Congreso de la Soja del MERCOSUR (5°), Foro de la Soja Asia-MERCOSUR (1°, 2011, Rosario, Argentina). Trabajos presentados. s.n.t. pp. 53 – 56.
5. Board, J. E.; Harville, B. G. 1996. Growth dynamics during the vegetative period affects yield of narrow-row, late-planted soybean. (en línea). Agronomy Journal. 88: 567-572. Consultado 15 jul. 2016. Disponible en <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US9744403>
6. Bodrero, M. 2003. Algunos factores genéticos y ambientales que influyen sobre el rendimiento de la soja. In: Jornada Nacional de la Soja (2003, Colonia). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 1-13 (Actividades de Difusión no. 325).
7. Bragachini, M.; Méndez, A.; Peiretti, J.; Scaramuzza, F. 2003. Sembradoras para siembra directa. (en línea). Córdoba, INTA. 11 p. Consultado 8 ago. 2016. Disponible en <https://es.scribd.com/document/289141227/Sembradoras-Para-Siembra-Directa>
8. Caivano, J. P. 2011. Efectos de la distancia entre hileras, sobre el rendimiento y sus componentes en el cultivo de soja. Tesis Ingeniero en Producción Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina. Pontificia Universidad Católica Argentina. 29 p.

9. Capurro, J.; Bodrero, M. L.; Andriani, J. 2006. Espaciamento en soja de segunda época de siembra en Cañada de Gómez, Argentina, en lotes de alta y baja productividad. *In*: Congreso de soja del MERCOSUR (3°. Rosario, Argentina). Trabajos presentados. s.n.t. pp. 586-589.
10. Cárcova, J.; Abeledo, L. G.; López Pereira, M. 2003. Análisis de la generación del rendimiento; crecimiento, partición y componentes. *In*: Satorre, E. H.; Benech Arnold, R. L.; Slafer, G. A.; De la Fuente, E. B.; Mirralles, D. J.; Otegui, M. E.; Savin, R. eds. Producción de granos; bases funcionales para su manejo. Buenos Aires, Argentina, UBA. Facultad de Agronomía. cap. 6, pp. 73 – 98.
11. Castela, M. A.; Carvalho, T.; Netto, Z.; Marinho, E.; Alves, D. 2014. Influência da velocidade da semeadora na semeadura direta da soja. (en línea). Revista Enciclopedia Biosfera. 10 (19): 1199 - 1207. Consultado 1 jul. 2016. Disponible en <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2014b/AGRARIAS/influencia%20da%20velocidade.pdf>
12. Cavalheiro, M. C.; Milanez, P.; Salvador, N. 2002. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agronômicas da soja. (en línea). Pesquisa Agropecuaria Brasileira. 37 (8): 1071-1077. Consultado 11 oct. 2016. Disponible en [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2002000800004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2002000800004&script=sci_arttext)
13. Cedrick, C; Marchetti1, M.; Pereira, A.; Ferreira, L.; Ensinas, S.; Da Silva, E.; Pinheiro, E.; Dupas, E.; Mello, E.; Araujo, F.; Andrade, M.; Conrad, V.; Cazeiro, T.; Vieira, M. 2016. Soybean agronomic performance in narrow and wide row spacing associated with NPK fertilizer under no-tillage. (en línea). African Journal of Agricultural Research. 11 (32): 2947-2956. Consultado 21 jul. 2016. Disponible en <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/156830/1/Soybean-agronomic-performance.pdf>
14. Copetti, E. 2015. Los desafíos de la siembra. (en línea). Seednews, la Revista Internacional de Semillas. 19(1): s.p. Consultado 22 jul. 2016. Disponible en [http://www.seednews.inf.br/\\_html/site\\_es/content/reportagem\\_capa/impri mir.php?id=218](http://www.seednews.inf.br/_html/site_es/content/reportagem_capa/impri mir.php?id=218)
15. Cortez, J. W.; Furlani, C.; Da Silva, R.; Lopes, A. 2006. Distribuição longitudinal de sementes de soja e características físicas do solo no plantio direto. (en línea). Revista Engenharia Agrícola. 26 (2): 502-510. Consultado 8 jun. 2016. Disponible en

[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162006000200019](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162006000200019)

16. Cox, B. 2014. Soybean planting depth affects plant populations but not always yield. (en línea). Livingston, USA, Cornell University. College of Agriculture and Life Sciences. 5 p. Consultado 12 ago. 2016. Disponible en <http://blogs.cornell.edu/whatscroppingup/2014/12/05/soybean-planting-depth-affects-plant-populations-but-not-always-yield/>
17. Cox, W. J.; Cherney, J. H. 2011. Growth and yield responses of soybean to row spacing and seeding rate. *Agronomy Journal*. 103 (1): 123-128.
18. D'Amico, J. P.; Tesouro, M. O.; Romito, A.; Paredes, D.; Roba, M. A. 2011. Desuniformidad de distribución espacial; caracterización de su impacto sobre el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.). (en línea). *Revista de la Facultad de Agronomía (La Plata)*. 110 (1): 50-62. Consultado 29 ago. 2016. Disponible en [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/15713/Documento\\_completo\\_.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/15713/Documento_completo_.pdf?sequence=1)
19. De Battista, J. J.; Arias, N.; Koch, R.; Dieci, A. 2008. Efecto de la distancia entre surcos en tres fechas de siembra. (en línea). Concepción del Uruguay, Argentina, INTA. 8 p. Consultado 29 may. 2017. Disponible en <http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-efecto-de-la-distancia-entre-surcos-en-3-fechas-.pdf>
20. De Bruin, J. L.; Pedersen, P. 2008. Effect of row spacing and seeding rate on soybean yield. *Agronomy Journal*. 100 (3): 704-710.
21. Desbiolles, J. 2004. Paddock yield and seeding depth optimisation. (en línea). FarmTalk. Malle Sustainable Farm. Fact Sheet. no.14. 2 p. Consultado 3 jul. 2016. Disponible en <http://www.msfp.org.au/wp-content/uploads/Farmtalk-no14-Paddock-Yield-and-Seeding-Depth-Optimisation.pdf>
22. De Souza, N. M.; Weirich, P. H. 2008. Determination of planting depth of soybean seeds. Brasil. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (37º., 2008, Brazil)*. Trabalhos apresentados. s.n.t. pp. 1-4.
23. Dias, O. V.; Alonço, A. S.; Baumhardt, U. B.; Bonotto, G. J. 2009. Distribuição de sementes de milho e soja em função da velocidade e densidade de semeadura. (en línea). *Revista Ciência Rural*. 39 (6): 1721-1728. Consultado 10 jun. 2016. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/cr/v39n6/a218cr1046.pdf>
24. Egli, D. B. 1994. Mechanisms responsible for soybean yield response to equidistant planting patterns. (en línea). *Agronomy Journal*. 86 (6): 1046-1049. Consultado 25 ago. 2016. Disponible en

<https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/86/6/AJ0860061046?access=0&view=pdf>

25. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2016. FAOSTAT 2016. (en línea). Rome. 205 p. Consultado 29 jul. 2016. Disponible en <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>
26. Fassio, A.; Ibáñez, W.; Rodríguez, M.; Ceretta, S.; Pérez, O.; Rabaza, C.; Vergara, G.; Cesán, A.; Restaino, E. 2014. Predicción de estados fenológicos de soja y otros cultivos de verano. (en línea). Montevideo, INIA. s.p. Consultado 11 jul. 2016. Disponible en <http://www.inia.uy/gras/Alertas-y-herramientas/Utilidades#>
27. Ferraris, G.; González, N.; Rivoltella, A. 2003. Densidad y distribución de plantas en soja; en qué caso es conveniente resembrar?. (en línea). Pergamino, INTA. 7 p. Consultado 9 ago. 2016. Disponible en [http://econoagro.com/images/stories/pdf/agricultura/cuando\\_resembrar\\_sj.pdf](http://econoagro.com/images/stories/pdf/agricultura/cuando_resembrar_sj.pdf)
28. Fialho dos Reis, E.; De Moura, J. R.; Gomes J; Arantes, J. P. 2007. Características operacionais de uma semeadora-adubadora de plantio direto na cultura da soja (*Glycine Max* (L.) Merrill). (en línea). Revista Ciências Técnicas Agropecuarias. 16 (3): 70-75. Consultado 8 jun. 2016. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/932/93216315.pdf>
29. Gaso, D.; Núñez, A. 2015. Herramientas de manejo para el cultivo de soja. (en línea). Revista INIA. no. 42: 13-18. Consultado 15 jul. 2017. Disponible en [http://www.inia.uy/Publicaciones/Paginas/revista-INIA\\_42.aspx](http://www.inia.uy/Publicaciones/Paginas/revista-INIA_42.aspx)
30. Griepentrog, H.; Olsen, J.; Weiner, J. 2009. The influence of row width and seed spacing on uniformity of plant spatial distributions. (en línea). In: International Conference on Agricultural Engineering: Land-Technik (67th., 2009, Hannover). Innovations to meet future challenges. Düsseldorf, VDI Verlag GmbH. pp. 265-270. Consultado 18 ago. 2016. Disponible en [http://www.jacobweiner.dk/site/Publications\\_files/Griepentrog\\_et\\_al\\_2009.pdf](http://www.jacobweiner.dk/site/Publications_files/Griepentrog_et_al_2009.pdf)
31. \_\_\_\_\_; Nielsen, J.; Olsen, J.; Weiner, J. 2011. Simulating the influence of crop spatial pattern on canola yield. (en línea). In: European Conference on Precision Agriculture (8<sup>th</sup>., 2011, Prague). Proceedings. Prague, s.e. pp. 180-190. Consultado 19 ago. 2016. Disponible en [http://www.jacobweiner.dk/site/Publications\\_files/Griepentrog\\_et\\_al\\_2011.pdf](http://www.jacobweiner.dk/site/Publications_files/Griepentrog_et_al_2011.pdf)

32. Hühn, M. 1999. Experimental results on the effects of non-regular spatial patterns of plants on yield per area. (en línea). *Journal of Agronomy and Crop Science*. 182: 89-97. Consultado 14 jul. 2016. Disponible en <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1439-037x.1999.00262.x/epdf>
33. \_\_\_\_\_. 2000a. Non-regular spatial patterns of plants and their effect on several agronomic traits per area. (en línea). *European Journal of Agronomy*. 12: 1-12. Consultado 14 jul. 2016. Disponible en <http://www.sciencedirect.com>
34. \_\_\_\_\_. 2000b. Notes on the effect of non-regular spatial patterns of plants on yield per area based on a logarithmic relationship between single plant yield and individual area. (en línea). *Journal of Agronomy and Crop Science*. 184: 133-136. Consultado 29 may. 2016. Disponible en <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1439-037x.2000.00374.x/epdf>
35. \_\_\_\_\_. 2003. Estimating yield depression caused by nonuniformity of spatial plant patterns. *Crop Science*. 43: 421-425.
36. Ikeda, T. 1992. Soybean planting patterns in relation o yield and yield components. (en línea). *Agronomy Journal*. 84 (6): 923-926. Consultado 26 jun. 2016. Disponible en <https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/84/6/AJ0840060923?access=0&view=pdf>
37. Jasper, R.; Jasper, M.; Assunção, P. S. M.; Rocil, J.; Garcia, L. C. 2011. Velocidade de semeadura da soja. (en línea). *Revista Engenharia Agrícola*. 31 (1): 102-110. Consultado 26 jun. 2016. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v31n1/v31n1a10>
38. Kantolic, A. G.; Giménez, P. I.; De la Fuente, E. B. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en soja. *In: Satorre, E. H.; Benech Arnold, R. L.; Slafer, G. A.; De la Fuente, E. B.; Mirralles, D. J.; Otegui, M. E.; Savin, R. Producción de granos; bases funcionales para su manejo. Buenos Aires, Argentina, UBA. Facultad de Agronomía. cap. 9, pp. 239-272.*
39. Kristensen, L.; Olsen, J.; Weiner, J.; Griepentrog, H. W.; Nørremark, M. 2006. Describing the spatial pattern of crop plants with special reference to crop-weed competition studies. (en línea). *Field Crops Research*. 96: 207-215. Consultado 20 ago. 2016. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429005001516>
40. Licht, M. 2014. Soybean planting depth considerations for Iowa. (en línea). Ames, Iowa, USA, Iowa State University. Department of Agronomy. 1 p.

Consultado 12 ago. 2016. Disponible en

<https://crops.extension.iastate.edu/cropnews/2014/05/soybean-planting-depth-considerations-iowa>

41. Martignone, R. A.; Bacigaluppo, S.; Enrico, J. M.; Bodrero, M. L. 2011 Respuesta al espaciamiento entre hileras en soja: Intercepción de radiación y parámetros de crecimiento. *In*: Congreso de la Soja del MERCOSUR (5°.), Foro de la Soja Asia-MERCOSUR (1°., 2011, Rosario, Argentina). Trabajos presentados. s.n.t. pp. 1-5.
42. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2016. Anuario 2016. (en línea). Montevideo. 198 p. Consultado 15 ago. 2016. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/unidad-organizativa/oficina-de-programacion-y-politicas-agropecuarias/publicaciones/anuarios-diea/anuario2016>
43. Moore, S. H. 1991. Uniformity of plant spacing effect on soybean population parameters. (en línea). *CropScience*. 31 (4): 1049-1051. Consultado 29 jun. 2016. Disponible en <https://dl.sciencesocieties.org/publications/cs/abstracts/31/4/CS0310041049?access=0&view=pdf>
44. Neto, R.; Braccini, A.; Scapim, C.; Bortolotto, V.; Pinheiro, A. 2008. Desempenho de mecanismos dosadores de sementes em diferentes velocidades e condições de cobertura do solo. (en línea). *Acta Scientiarum Agronomy*. 30: 611-617. Consultado 17 set. 2016. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/26595568>
45. Reynaldo, E. F.; Machado, T. M.; Taubinger, L.; De Quadros, D. 2016. Influência da velocidade de deslocamento na distribuição de sementes e produtividade de soja. (en línea). *Engenharia na Agricultura*. 24 (1): 63-67. Consultado 16 set. 2016. Disponible en <http://www.bibliotekevirtual.org/revistas/REVENG/v24n01/v24n01a06.pdf>
46. Rinaldi, P. C. N.; Fernandes, C. H.; Teixeira, M. M.; Modemel, J. C.; Júnior, R. G. 2010. Influência da profundidade de abubação e da velocidade de uma sembradora no estabelecimiento inicial da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.). (en línea). *Engenharia na Agricultura*. 18 (2): 123-130. Consultado 16 set. 2016. Disponible en <http://www.seer.ufv.br/seer/index.php/reveng/article/view/201/102>
47. Rodríguez, H.; De Battista, J.; Arias, N.; García, E.; Sosa, F.; Alaluf, C.; Rochás, M. 2015. Efectos de la reducción de la densidad de siembra en soja. (en línea). Concepción del Uruguay, Argentina, INTA. 4 p. Consultado 16

- ene. 2017. Disponible en [http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_reduccion\\_de\\_la\\_densidad\\_de\\_siembra\\_en\\_soja.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_reduccion_de_la_densidad_de_siembra_en_soja.pdf)
48. Satorre, E. H. 2013. Spatial crop structure in agricultural systems. (en línea) In: Christou, P.; Savin, R.; Costa-Pierce, B.; Misztal, I.; Whitelaw, C. eds. Sustainable food production. s.l., Springer. cap. 72, pp. 1513-1528. Consultado 13 may. 2016. Disponible en [https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4614-5797-8\\_223#page-1](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4614-5797-8_223#page-1)
49. Shibles, R. M.; Weber, C. R. 1966. Interception of solar radiation and dry matter production by various soybean planting patterns. *Crop Science*. 6 (1): 55-59. Consultado 12 oct. 2016. Disponible en <https://dl.sciencesocieties.org/publications/cs/abstracts/6/1/CS0060010055?access=0&view=pdf>
50. Tesouro, M.; Casartelli, M.; D´amico, J.; Loyde, G.; Paredes, D.; Roba, M.; Romito, A. 2009. Desuniformidad de distribución de girasol (*Helianthus annuus L.*); impacto sobre la producción individual y el rendimiento del cultivo. (en línea). Buenos Aires, Argentina, INTA. 8 p. Consultado 17 nov. 2016. Disponible en [http://inta.gob.ar/documentos/desuniformidad-de-distribucion-de-girasol-helianthus-annuus-l.-impacto-sobre-la-produccion-individual-y-el-rendimiento-del-cultivo/at\\_multi\\_download/file/desuniformidad.pdf](http://inta.gob.ar/documentos/desuniformidad-de-distribucion-de-girasol-helianthus-annuus-l.-impacto-sobre-la-produccion-individual-y-el-rendimiento-del-cultivo/at_multi_download/file/desuniformidad.pdf)
51. Vega, C. R.; Andrade, F. H. 2002. Densidad de plantas y espaciamiento entre hileras In: Andrade, F. H.; Sadras, V. eds. Bases para el manejo de maíz, girasol y la soja. Buenos Aires, Argentina, INTA Balcarce/UNMP. Facultad de Ciencias Agrarias. cap. 4, pp. 97-135.
52. Wells, R. 1991. Soybean growth response to plant density: relationships among canopy photosynthesis, leaf area, and light interception. (en línea). *Crop Science*. 31: 755-761. Consultado 12 jul. 2016. Disponible en [https://www.researchgate.net/profile/Randy\\_Wells2/publication/260001121\\_Soybean\\_Growth\\_Response\\_to\\_Plant\\_Density\\_Relationships\\_among\\_Canopy\\_Photosynthesis\\_Leaf\\_Area\\_and\\_Light\\_Interception/links/0a85e52efe16fb5430000000/Soybean-Growth-Response-to-Plant-Density-Relationships-among-Canopy-Photosynthesis-Leaf-Area-and-Light-Interception.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Randy_Wells2/publication/260001121_Soybean_Growth_Response_to_Plant_Density_Relationships_among_Canopy_Photosynthesis_Leaf_Area_and_Light_Interception/links/0a85e52efe16fb5430000000/Soybean-Growth-Response-to-Plant-Density-Relationships-among-Canopy-Photosynthesis-Leaf-Area-and-Light-Interception.pdf)
53. \_\_\_\_\_. 1993. Dynamics of soybean growth in variable planting patterns. (en línea). *Agronomy Journal* 85 (1): 44-48. Consultado 21 jul. 2016. Disponible en <https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/85/1/AJ0850010044>

54. Yang, C.; Gan, Y.; Gulden, R.; Harker, N.; Irvine, B.; Kutcher, R.; May, W. 2014. Up to 32 % yield increase with optimized spatial patterns of canola plant establishment in western Canada. (en línea). *Agronomy for Sustainable Development*. 34: 793-801. Consultado 10 jul. 2016.  
Disponibile en  
[https://www.researchgate.net/publication/271662439\\_Up\\_to\\_32\\_yield\\_increase\\_with\\_optimized\\_spatial\\_patterns\\_of\\_canola\\_plant\\_establishment\\_in\\_western\\_Canada](https://www.researchgate.net/publication/271662439_Up_to_32_yield_increase_with_optimized_spatial_patterns_of_canola_plant_establishment_in_western_Canada)