

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

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

por

Ximena CARRAU GARCÍA
Fiorella MIETTO CARBALLO

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2019

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Sebastián Ramón Mazzilli Vanzini

Ing. Agr. Andrés Locatelli Fagúndez

Ing. Agr. Gastón Schenck

Fecha: 12 de setiembre de 2019

Autoras:

Ximena Carrau García

Fiorella Mietto Carballo

AGRADECIMIENTOS

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

Queremos también aprovechar este espacio para agradecer y reconocer la enorme labor de nuestro director de tesis, Ing. Agr. Sebastián Mazzilli, que con su permanente apoyo, predisposición y orientación permitió que el trabajo de tesis se llevara a cabo con fluidez y normalidad.

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

Finalmente destacar y reconocer a todos los profesores, compañeros e ingenieros que contribuyeron de distintas formas y participaron en todo este proceso, el cual culmina con la defensa del trabajo de tesis.

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. FACTORES AMBIENTALES QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO.....	2
2.2. COMPONENTES NUMÉRICOS DEL RENDIMIENTO	3
2.3. ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO	4
2.3.1. <u>Importancia del proceso de siembra</u>	4
2.3.1.1. Velocidad de siembra.....	5
2.3.1.2. Profundidad.....	6
2.4. ARREGLO ESPACIAL, UNIFORMIDAD Y COMPETENCIA	7
2.5. MÉTODOS DE ESTUDIOS DE UNIFORMIDAD	11
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	13
3.1. DETALLES EXPERIMENTALES	13
3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	13
3.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	14
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	16
4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL AÑO	16
4.1.1. <u>Caracterización climática de la zafra</u>	16
4.1.1.1. Precipitaciones	16
4.1.1.2. Temperatura	19
4.1.1.3. Radiación	19
4.2. RESULTADOS GENERALES.....	20
4.2.1. <u>Respuesta media a la población</u>	20
4.2.2. <u>Efecto medio de la variabilidad sobre el rendimiento</u>	21
4.2.3. <u>Efecto de la población sobre la uniformidad</u>	22

4.2.4. <u>Rendimiento individual en función del arreglo espacial</u>	23
4.2.5. <u>Efecto del área por planta sobre el rendimiento y número de vainas por planta</u>	24
4.2.6. <u>Efecto de los componentes numéricos de rendimiento</u>	25
4.2.6.1. Efecto del peso de grano	26
4.2.7. <u>Efecto del números y peso de granos sobre los granos por vaina</u>	28
5. <u>CONCLUSIONES</u>	29
6. <u>RESUMEN</u>	30
7. <u>SUMMARY</u>	31
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	32
9. <u>ANEXOS</u>	41

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Figura No.	Página
1. Precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo y la serie 2002-2016...	17
2. Temperaturas medias mensuales durante el desarrollo del cultivo en relación con la serie 2002-2016.....	19
3. Radiación media mensual durante el desarrollo del cultivo comparado con la serie 2002-2016.....	20
4. Rendimiento en función de la población y el área media individual.....	21
5. Rendimiento relativo en función del desvío estándar de la distancia entre plantas y del área media individual.....	22
6. Población en función del desvío estándar de la distancia entre plantas y desvío estándar del área media individual.....	23
7. Relación entre el número de vainas y el rendimiento individual.....	24
8. Efecto del área por planta sobre el rendimiento y número de vainas por planta.	25
9. Efecto del rendimiento sobre el número de granos y el peso de 1000 granos....	25
10. Efecto del peso de 1000 granos sobre el número de granos.....	26
11. Efecto del peso de 1000 granos sobre el rendimiento individual.....	27
12. Efecto del número de granos y peso de 1000 granos sobre los granos por vaina.....	27
Imagen No.	
1. Sitios y puntos de muestreo.....	14
2. Índice de balance hídrico para el período de noviembre 2017-abril 2018.....	18
3. Estimación de agua disponible (%) en los suelos del Uruguay por sección policial durante los momentos de menor contenido de agua.....	18

1. INTRODUCCIÓN

La soja [*Glycine max* (L.) Merr.] es una oleaginosa de ciclo estival, perteneciente a la familia Fabaceae subfamilia Papilionoideas. Es originaria de Asia y es la especie comercial más importante entre los cultivos de leguminosas de grano, representando también la fuente más importante de aceite y proteína vegetal del mundo. Tradicionalmente el grano de soja y sus subproductos (aceite y harina principalmente) se han utilizado para la alimentación humana y animal.

En el Uruguay, el cultivo de soja es el más extendido a nivel nacional. Comenzó su crecimiento en el año 2002, alcanzando 1,3 millones de hectáreas en las zafas 13/14 y 14/15. Según MGAP. DIEA (2017), en la zafra 17/18 ocupó el 92 % del área de verano, aproximadamente 1,1 millones de hectáreas y su producción fue estimada en 1,3 millones de toneladas. El rendimiento medio del cultivo en el país para dicha zafra fue de 1.214 kg/ha sembrada, lo que implica una disminución del 59 % comparado con el rendimiento de la zafra anterior que fue de 2.951 kg/ha (récord histórico registrado en Uruguay), debido al déficit hídrico ocurrido.

Además de sus características nutricionales (tanto para animales como seres humanos), la soja es una excelente alternativa para el sistema de rotación agrícola. Al tratarse de una leguminosa con capacidad de fijación biológica de nitrógeno, contribuye al balance de este nutriente en el suelo. A su vez, proporciona una ventaja al control de malezas gramíneas y se trata de una estrategia de diversificación dentro de la rotación (leguminosa vs. gramíneas).

En la actualidad existe una amplia variedad de cultivares, los cuales son clasificados en el Uruguay en tres grandes grupos de madurez (corto, medio y largo). Esta clasificación permite la adaptación del cultivo a las distintas fechas de siembra y regiones del país. La combinación de ambos factores junto con la rápida descomposición de su rastrojo hace posible mantener un sistema de doble cultivo anual.

La soja es una planta con respuesta al fotoperiodo de día corto y crecimiento indeterminado. Si bien tiene una alta capacidad de compensar variaciones en el número de plantas, la elección de la densidad de siembra y espaciado entre hileras es clave para optimizar rendimiento. La densidad que optimiza el rendimiento puede ser muy variable dependiendo del año, el genotipo, la fecha de siembra, entre otras variables.

El objetivo de este trabajo es cuantificar el impacto de los cambios en la uniformidad de la distribución de las plantas en la línea y la población sobre el rendimiento final del cultivo de soja.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. FACTORES AMBIENTALES QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO

Los factores determinantes del crecimiento y del rendimiento en el cultivo de soja son: el genotipo, la radiación solar y la temperatura del ambiente, dichos factores determinan el rendimiento potencial, los cuales son cambiantes año a año (Baigorri, 2004) Este rendimiento puede ser logrado minimizando las limitaciones de agua o nutrientes (factores limitantes) que pudieran presentarse, y disminuyendo la incidencia de plagas, enfermedades, malezas, vuelco (factores reductores, etc., Toledo, 2013). En un orden ascendente, son los reductores los primeros a cubrir a través de medidas de protección del cultivo, en segundo lugar, deberá regularse la entrega de los limitantes a través de medidas que promuevan el aumento del rendimiento (Baigorri, 2004).

En condiciones de rendimiento potencial (de temperatura y radiación) las variables que lo definen son: la fecha de siembra, la elección del genotipo y el arreglo espacial del cultivo (densidad de plantas y espaciamento entre hileras). El cultivo debe sembrarse en una fecha tal que la ocurrencia del período crítico (definido entre R3-R6) ocurra en condiciones ambientales favorables (Andrade et al., 2000), tanto de oferta de radiación, intercepción de esta y eficiencia de conversión en recursos para la planta. La disponibilidad de recursos determinará la tasa de crecimiento del cultivo (Rodríguez et al., 2015). Según Coll et al. (2011) una fecha de siembra temprana podría generar un rendimiento superior al de una fecha más tardía, expresado por el cambio en la radiación incidente durante el período crítico. A su vez Peltzer (2007) reafirma esta idea indicando que en los ambientes semejantes al de la EEA Paraná, los rendimientos declinan cuando la siembra se realiza a partir de mediados de diciembre. Se han encontrado rendimientos máximos y estables durante noviembre y la primera quincena de diciembre y, a partir de allí, reducciones a razón de 50 kg/ha por día de atraso en la siembra.

Por otra parte, el rendimiento potencial para cada sitio depende del genotipo. Esta variable está condicionada por la respuesta del cultivo al fotoperiodo, la cual condiciona el área de adaptación de cada genotipo. Cuanto mayor el grupo de madurez mayor será su sensibilidad, tiempo a inicio de floración y duración del ciclo para una condición fotoperiódica determinada (Toledo, 2013). A su vez, junto con la fecha de siembra, condiciona la ubicación del período crítico. Esto determina el número de nudos, el índice de área foliar (IAF) máximo alcanzado y las condiciones ambientales durante el llenado (Gaso et al., 2013). Si bien las estructuras reproductivas son muy sensibles al

estrés, el alto grado de indeterminación de la soja le confiere al cultivo una gran estabilidad ante situaciones de estrés temporarios (Baigorri, 2004).

La respuesta de la soja a la longitud del día se puede modificar por efecto de la temperatura. Esta influye significativamente en aquellos grupos de madurez de menor sensibilidad al fotoperiodo (ciclo corto), y los cultivares de maduración tardía (ciclo largo) en cambio, responden más al fotoperiodo. Según Whigham et al. (1983), temperaturas por debajo de los 25°C atrasan la floración independiente de la longitud del día, y según Jones et al., citados por Vega y Andrade (2002), la fijación de vainas se retarda con temperaturas menores a 22 °C y cesa con temperaturas menores a 14 °C, por lo tanto, la temperatura óptima para el desarrollo normal vegetativo y reproductivo del cultivo se encuentra entre los 25°C y 30°C.

El rendimiento final del cultivo está altamente influenciado por la disponibilidad de agua durante el período crítico. Por lo tanto el déficit hídrico es el principal factor responsable por la pérdida de rendimiento en los cultivos de verano. Según Baigorri (2003) más importante que la cantidad de precipitaciones, es la distribución de estas, en especial en los meses con mayor evapotranspiración (diciembre a marzo). El tipo y magnitud del efecto de este estrés sobre la planta depende del momento, intensidad y duración de su ocurrencia. El efecto del momento de ocurrencia de una deficiencia hídrica, para una misma intensidad, será distinto según el estado del cultivo (Álvarez, 2010).

2.2. COMPONENTES NUMÉRICOS DEL RENDIMIENTO

El rendimiento de la soja se puede dividir en componentes indirectos y directos. Entre los indirectos se encuentran el número de plantas, vainas por unidad de superficie y granos por vaina, y dentro de los directos el número de granos por unidad de superficie y el peso de los granos (Gutiérrez et al., 1998). Es importante puntualizar que para una región particular no habrá un solo rendimiento potencial, sino que existirá un rango de brechas de producción y máximos rendimientos alcanzables, el cual estará determinado por la ventana agroclimática (Lobell et al., 2009). Según Kantolic et al. (2004) en un rango amplio de condiciones agronómicas el número de granos es el componente que mejor explica las variaciones en la productividad del cultivo. Esto es reafirmado por el promedio de zafra 2002/03 al 2012/13 de Campo Escuela, UNC. FCA, donde Toledo (2013) afirma que la variación productiva está explicada en un 75% por modificaciones en el número de granos, y en un 25% por el peso de granos. Según el momento de ocurrencia de estrés, cuál será el componente del rendimiento más afectado; si ocurriere durante R3-R6 afecta significativamente la cantidad de granos, y si fuere entre R6-R6,5 influye principalmente en la acumulación de materia seca en los granos.

El número de granos se comienza a fijar desde las etapas vegetativas y la magnitud del mismo dependerá de la relación fuente-fosa, es por ello que existe una relación casi directa entre la tasa de crecimiento del cultivo y la generación y posterior supervivencia del componente numérico considerado (Kantolic et al. 2004, Toledo 2013). Según Kantolic y Slafer (2001), la mayor duración de las etapas fenológicas en los grupos indeterminados permite capturar mayor cantidad de radiación, consecuentemente lograran reducir las limitaciones por fuente, por lo que, si el periodo en el que se establecen los granos es más prolongado, más semillas serán cosechadas al final del ciclo. Por otra parte, Cox y Cherney (2011), muestran que el componente de rendimiento número de granos por vaina está más influenciado por el genotipo que por el entorno de producción.

El peso de granos depende del genotipo y de las condiciones ambientales que determinan la capacidad de fotosíntesis del canopeo y la duración de la etapa de llenado (Gutiérrez et al., 1998). La tasa y duración del llenado de granos entonces son afectados por la producción de fotoasimilados del cultivo y a su vez dependen de la temperatura (Egli y Wardlaw, 1980) y del fotoperiodo (Major et al., 1975) respectivamente (Toledo, 2013).

2.3. ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO

2.3.1. Importancia del proceso de siembra

La siembra es una de las prácticas agrícolas más antiguas realizadas por el hombre y su calidad condicionará el éxito y productividad de un cultivo agrícola (Castela et al., 2014). En la misma línea, Ballvé et al. (2015) respecto a la calidad de siembra sugieren que para lograr la densidad objetivo (pl/m^2) de cada lote es importante poder estimar correctamente cuántas semillas se deben sembrar, considerando las que no llegarán a ser una planta, ya sea por bajos valores de calidad de la partida de semillas, por el tipo de antecesor, la sembradora utilizada, la condición de siembra del lote, etc.

La densidad objetivo junto la con fecha de siembra, cultivares y espaciamentos según Bacigaluppo et al. (2011) son las técnicas de manejo más frecuentemente utilizadas en soja. Estas cuatro junto con otras, deben estar definidas en función de la oferta de los recursos y/o necesidades de los cultivos, ya que la falta de asociación correcta entre tecnologías adoptadas y la oferta ambiental, sería una de las causas que podrían explicar la brecha entre los rendimientos potenciales y los actuales y la gran variabilidad interanual aún en ambientes de alta calidad.

Por su parte, Masino et al. (2018) consideran que una mejor calidad de plantación puede lograrse mediante múltiples prácticas que tienen costos insignificantes. Por

ejemplo, sembrar con la humedad y volumen de rastrojo adecuado del suelo, a velocidades ajustadas y a una profundidad apropiada, proporcionando así un establecimiento más uniforme de la planta a un costo mínimo, algunos de los cuales serán explicados a continuación.

2.3.1.1. Velocidad de siembra

Uno de los factores que afectan a la calidad del proceso de siembra en el sistema de labranza cero es la velocidad de desplazamiento, ya que interfiere en la distribución longitudinal de las semillas. El aumento en el factor de velocidad actúa de manera inversamente proporcional a la distribución de semillas (Castela et al., 2014).

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 59,3%, 22,6% para espaciamientos fallidos y 18,6% 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 rango 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). Copetti (2015) coincide afirmando 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.

En otro trabajo llevado a cabo por Fialho dos Reis et al. (2007) evaluando tres velocidades de avance para soja (3,8; 7,7 y 9,5 km/h) con dosificadores de disco alveolado horizontal, concluían que a velocidades de 7,7 km/h se presentan mayores porcentajes de fallas. Para dichos autores la velocidad operativa ideal de siembra es aquella en que el surco se abre y se cierra sin remover exageradamente el suelo y que permite la distribución de las semillas con espaciamiento y profundidades constantes. Por su parte Reynaldo et al. (2016) observaron que el aumento gradual de la velocidad (2, 4, 6, 8, 10 y 12 km/h) de desplazamiento de la sembradora ocasionó una reducción del porcentaje de espaciamientos aceptables, o sea, se redujo el número de plantas dosificadas en el espaciamiento correcto entre semillas y contribuyó a la reducción de la productividad. La velocidad en la cual la sembradora evaluada presentó mejor desempeño y productividad fue de 4 km/h.

Contrariamente a lo presentado por los anteriores autores, Dias et al. (2009) aseguraron que velocidades de siembra de 4,3 a 11,0 km/h para el cultivo de soja no redujo significativamente la densidad de siembra como tampoco la distribución de las mismas, pero si, el aumento en la densidad de siembra de 8 a 20 para soja, redujo el porcentaje de espaciamientos aceptables, independientemente de la velocidad de trabajo. Jasper et al. (2011) concuerdan con dichos resultados y posteriormente son corroborados por Castela et al. (2014) en cuanto a la velocidad de siembra, donde el incremento de velocidad de hasta 12,0 km/h no afectó la productividad, el número medio de vainas por planta y el número de granos por planta de soja.

Como conclusión se puede decir que en promedio dentro de velocidades entre 3 y 7 km/h no se ve afectado el número medio de plantas, así como tampoco la distribución, sin embargo, con aumentos hasta 12 km/h hay discordancias entre autores.

2.3.1.2. Profundidad de siembra

La correcta y uniforme profundidad de siembra se consideran esenciales para el máximo rendimiento del cultivo (Cox, 2014) resultando en una mejor germinación y emergencia, aumentando el rendimiento al minimizar la competencia entre las plantas por la luz disponible, el agua y los nutrientes (Karayel y Özmerzi, 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, 2015). 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 el pronóstico del tiempo después de la siembra son aspectos que deben considerarse al fijar la profundidad de la siembra del cultivo. Las semillas están expuestas a las fluctuaciones de temperatura y humedad del suelo, y la magnitud de esta fluctuación puede verse influida por la profundidad de siembra. Las profundidades de plantación poco profundas (< 2,5 cm) suelen experimentar mayores fluctuaciones de humedad y temperatura del suelo (Licht, 2014).

Alkins et al. (2011) aseguran que la siembra demasiado superficial da como resultado una germinación pobre debido a la humedad inadecuada en la capa superior del suelo. Similares resultados fueron obtenidos por Cox (2014) quien explica que la soja debe absorber la mitad de su peso en agua antes de que germine. Sin embargo, la siembra demasiado profunda (> 5 cm) pone 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). Según Desbiolles (2004) dichas profundidades además de afectar significativamente la emergencia del cultivo, repercute en la producción final de granos. 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). Respecto a los resultados del trabajo de Cox (2014), la profundidad de siembra de 3,8 cm reflejó un excelente establecimiento de plántulas temprano y un rendimiento máximo en dos de los tres ambientes estudiados, en los que los rendimientos respondieron a la profundidad de siembra. Esto es coincidente con los datos presentados por Herbek y Bitzer, North Dakota State University Agriculture and University Extension, citados por Alkins et al. (2011), Licht (2014) donde la profundidad ideal para la siembra de soja para una mejor emergencia es de 2,5 a 3,8 cm en la mayoría de las condiciones. A su vez se debe comprender la influencia de la temperatura del suelo, la humedad y la textura, así como la labranza de cada campo en particular. En muchas situaciones hay lotes que pueden sufrir una pérdida de rendimiento del 5-10% como resultado de una profundidad de siembra inadecuada (Desbiolles, 2004).

2.4. ARREGLO ESPACIAL, UNIFORMIDAD Y COMPETENCIA

Como fue previamente discutido, el rendimiento en grano es función de la interacción entre los factores genéticos y ambientales. Entre las variables a manejar está el distanciamiento entre hileras y la densidad de siembra. Estas variables son también las que definen la estructura del cultivo. Dos conceptos generales frecuentemente son usados para explicar la relación entre el espaciamiento, la densidad y el rendimiento. Primero la productividad máxima puede lograrse solamente si la población de plantas genera un área foliar que permita la máxima intercepción de luz durante la etapa reproductiva; y segundo que el espaciamiento entre las plantas sea equidistante para maximizar el rendimiento, y minimizar la competencia entre plantas (Egli, 1988).

Bodrero (2003) asegura que la elección de una correcta densidad de plantas y espaciamiento entre hileras son claves para optimizar la productividad de los sistemas agrícolas. Las poblaciones apropiadas de plantas son un factor que influye en el

crecimiento, la inserción de las vainas y el número de ramas y vainas (Gaudencio et al., citados por Cantarelli et al., 2015).

Para Vega y Andrade (2002) la densidad óptima de un cultivo se define como el número mínimo de plantas que permite alcanzar los máximos rendimientos, en cambio según Toledo (2013), la densidad de plantas óptima es aquella que permite un buen crecimiento evitando el vuelco, reduce la incidencia a enfermedades y asegura una adecuada inserción de las vainas inferiores. Kurk et al. (2003) sostienen que la densidad que maximiza el rendimiento puede ser muy variable entre años dependiendo del genotipo, de la fecha de siembra y de las restricciones hídricas y nutricionales.

Según Baigorri et al., citados por Rodríguez et al. (2015), en Argentina para las diferentes zonas del país, la densidad de plantas óptima en soja se encuentra entre 24 y 36 pl/m², similar a lo encontrado por Petter et al. (2016). Ribeiro et al. (2017) afirman que independientemente del cultivar de soja, la densidad de planta de hasta 60 pl/m² no afecta el rendimiento en grano, la altura de la planta, el vuelco, el índice de cosecha y el número de granos por vaina. A su vez Ludwig et al. (2011) evaluaron diferentes cultivares de soja en tres poblaciones de plantas (25, 40 y 55 pl/m²), y obtuvieron mejores resultados para la población de 55 pl/m². Por último, Merroto Junior et al. (1999) afirman que, en cultivos con poblaciones de plantas altas, se debe tener más cuidado con los factores que causan una emergencia desigual porque hay una mayor posibilidad de pérdidas en el rendimiento de grano. En la actualidad, la tendencia es la siembra de soja a densidades menores, alrededor de 25 a 37,5 pl/m², porque además de no reducir significativamente la productividad, proporciona una reducción de los costos de producción reduciendo gastos de semilla (Tourino et al., 2002).

Experimentos llevados a cabo en la localidad de Balcarce, Argentina, demostraron que reducciones en la densidad cercanas al 75% a partir de 30 pl/m², resultaron en disminuciones en el rendimiento de solo un 24% (en condiciones de riego y fertilización óptima). Por el contrario, cuando la densidad de plantas aumento en un 100%, el rendimiento se mantuvo estable. Se observaron escasas variaciones en el rendimiento en densidades comprendidas entre 3 y 60 pl/m² (Egil, Valentinuz et al., Baigorri, citados por Vega y Andrade, 2002). Otros autores, en cambio, afirman que el cultivo de soja soporta variaciones de hasta el 15% en la densidad de siembra sin afectar el rendimiento (Copetti, 2015).

Según Peixoto (1998), las plantas compensan la reducción en la densidad, aumentando su producción individual, lo que contribuye a una mayor tolerancia a esta variación (Cavalheiro et al., 2002). Por su parte Ferreira et al. (2018) explican que, a bajas densidades, las plantas de soja aumentan el número de vainas por planta, compensando el menor número de individuos por área con mayor producción por planta. En contraste, a altas densidades de plantas, hay menos ramificaciones y la producción de cada planta es más baja y dependiente del tallo principal (Werner et al. 2016, Ferreira et

al. 2018). La mayoría de los cultivares de soja tienen características de alta plasticidad, es decir, capacidad para adaptarse a las condiciones ambientales y de manejo (Balbinot et al., 2013).

Según Endres, citado por Tourino et al. (2002) la población de plantas es el factor que menos afecta la productividad, siempre que las plantas estén distribuidas uniformemente en el área. Para Cavalheiro et al. (2002) reducciones de la uniformidad por encima del 50% pueden proporcionar pérdidas de alrededor de 103 kg/ha, lo que es una pérdida significativa. Nuevamente Tourino et al. (2002) explican que el aumento de la uniformidad proporcionó un aumento de hasta 400 kg/ha, y las mayores respuestas a la densidad de las plantas en las líneas ocurrieron cuando las plantas fueron plantadas a espacios uniformes. A su vez, Egli (1994), observó aumentos de 9 a 19% en la producción de soja, para el caso de espaciamientos uniformes. Estos resultados sugieren que la operación de siembra de soja con mayor precisión en la deposición de semillas en el suelo es un aspecto relevante, ya que puede contribuir al aumento de su productividad (Cavalheiro et al., 2002). Sin embargo, la uniformidad de siembra de soja por encima del 60% difícilmente es alcanzada por los sistemas dosificadores de las sembradoras tradicionales, con principios mecánicos, lo que indica la necesidad de perfeccionamiento de estos sistemas, o la utilización de sistemas más precisos (Tourino et al., 2002).

Para el caso de cultivos agrícolas, la uniformidad se refiere a la variabilidad de la distancia entre plantas en cultivos sembrados en hileras (Satorre et al., 2003). Es importante tener en cuenta que la uniformidad de distribución de plantas será diferente de la uniformidad de distribución de semillas, debido a que no todas las semillas se convierten en plantas (Kachman y Smith, citados por D'Amico et al. 2011, Ballvé et al. 2015).

Según lo informado por Rambo et al. (2003), la distribución de semillas en el suelo se convierte en un elemento clave dado que la mayor competencia ocurre entre plantas en la misma fila (Cantarelli et al., 2015). Schuch et al. (2008) informaron que, las fallas en las plantas pueden ser causadas por semillas de baja calidad, así como al mal proceso de siembra, por ejemplo, a través de la deposición de dos semillas en el mismo lugar, lo que da lugar a las llamadas plantas dobles, lo que aumenta la competencia entre ellas, resultando en una producción reducida. Masino et al. (2018) dicen que la variabilidad espacial es generalmente una consecuencia de la distribución no uniforme de los residuos de cultivos (Liu et al. 2004c, Andrade y Abbate 2005), sistema de plantación (Nielsen 1995, Liu et al. 2004c), compactación del suelo (Mahdi y Hanna, 2006), y encostrado del suelo debido a la fuerte lluvia (Nafziger et al. 1991, Elmore y Abendroth 2006).

Un adecuado manejo del arreglo espacial tiene como objetivo lograr una mejora en la cobertura del suelo para maximizar la captación de la radiación solar, reduciendo el vuelco, la altura, la emergencia tardía de malezas, el tiempo para alcanzar el IAF crítico,

la erosión del suelo y se distribuye más uniformemente el sistema radical (Toledo, 2013). En el arreglo donde la distancia entre filas es igual a la distancia entre plantas dentro de la línea, se observan aumentos en el rendimiento de soja (Moore 1991, Ikeda 1992, Egli 1994), sin embargo, la tasa de mecanización impide la adopción de este modelo de siembra. Por lo tanto, hay una necesidad de sembrar en filas, con espaciamientos bien definidos (Cavalheiro et al., 2002).

Según Kristensen et al. (2006), la mejor distribución espacial, es aquella que permite el mejor aprovechamiento de los recursos disponibles. Esto implica lograr generar polígonos cuya forma permita que la planta pueda captar nutrientes, agua y luz de toda la superficie que tiene para sí. Los espaciamientos reducidos promueven el aumento de la tolerancia vegetal a la defoliación (Fontoura et al., 2006), permite la reducción de las pérdidas de agua del suelo por evaporación (Çalışkan et al., 2007), mayor intercepción de la luz al inicio del ciclo de desarrollo de la planta (Edwards et al., 2005), además de influir positivamente en el control cultural de las malezas (Bianchi et al. 2010, Lima do Carmo et al. 2018). Caivano (2011) evaluó tres distancias entre hileras (21, 42 y 52,5 cm) buscando una densidad de 40 pl/m². Las parcelas con menor distancia entre surcos lograron adelantar la intercepción total de la radiación, pero todos los distanciamientos superaron el IAF crítico antes de R3. En lo referido al rendimiento con distancia entre hileras de 21 cm el autor detectó disminuciones de 783 kg/ha comparado con los demás distanciamientos, pero no se encontraron diferencias de rendimiento entre las mayores distancias.

En Brasil y en muchos otros países, el espaciado tradicional es de 45 cm (Rosa et al. 2015, Freitas et al. 2016). El espacio estrecho entre las filas posiblemente puede mejorar el rendimiento y la intercepción de la luz solar debido a una mejor distribución. Según lo informado por Moreira et al. (2015) un mayor espacio entre hileras aumenta la temperatura del suelo y disminuye la altura de la planta, el contenido de clorofila y las tasas de transpiración (Cedrick et al., 2016). A su vez, Tourino et al. (2002), encontraron que con un espaciamiento de 45 cm y densidad de 10 plantas metro lineal, ocurrió mayor productividad por área, posiblemente debido a la mejor distribución espacial de las plantas, lo que también contribuyó para el aumento del porcentaje de su supervivencia, cambios en la arquitectura, un mayor cierre entre líneas y, por lo tanto, mejor control de malezas, lo cual coincide plenamente con lo dicho por Cavalheiro et al. (2002). Sin embargo, con en el espacio de 45 cm, el aumento de la densidad de plantas provocó una reducción de la productividad, mientras que, en el espaciamiento de 60 cm, prácticamente no hubo respuesta a ese factor, lo que a su vez está de acuerdo con los resultados obtenidos por Rezende et al. (1985), donde establecen que la magnitud del incremento de rendimiento por la reducción de 70 a 35 cm alcanza valores máximos de hasta un 30 %. Bodrero (2003) reafirma esto tiempo después.

Cabe destacar que en las fechas de siembra de noviembre pueden utilizarse las distancias entre hileras recomendables de 52 cm, pero en octubre o diciembre, es mayor

la necesidad de reducir las mismas ya que en general las plantas alcanzan un menor crecimiento (menor cantidad de nudos, menor altura, menor IAF) para asegurar un buen cierre de entresurcos, producción de biomasa vegetativa y mejorar el control de malezas (Baigorri, 2003). Bacigaluppo et al. (2011) comprobaron que, bajo condiciones ambientales menos limitantes, el impacto del espaciamiento entre hileras fue menos importante. Estudios realizados por De Battista et al. (2008) no encontraron efecto de la distancia entre surcos para ninguna de las siguientes 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 su parte Board et al. (1992) determinaron que, con menores espaciamientos, en siembras tardías, se logra una mayor tasa de crecimiento del cultivo (TCC) relacionada positivamente con la cantidad total de materia seca, mayor número de nudos fértiles y un mayor número de vainas/nudo fértil, lo que incrementó el rendimiento en granos. Resultados similares fueron obtenidos por Bodrero et al. (1989), Andrade et al. (2002), Capurro et al. (2006) utilizando cultivares del GM III, IV y V. Con respecto a la densidad para siembras tempranas y/o tardías, Baigorri (1997) sugiere un aumento entre el 35% y el 50% con respecto a la cantidad de plantas a lograr en siembras normales (Pautasso, 2011). Stivers y Swearingin (1980) mostraron que el efecto de la distribución espacial de la planta en el rendimiento de soja interactúa con la duración del ciclo de cultivar. Los grupos de madurez más largos fueron menos susceptibles a la distribución espacial no uniforme en comparación con los cultivares de grupos de madurez anteriores (Masino et al., 2018).

En resumen, la información presentada muestra la variabilidad de la respuesta a la distancia entre hileras dependiendo del ambiente al cual se enfrenta el cultivo, como también a las diferentes poblaciones. Estas prácticas afectan la uniformidad del cultivo, limitando la captación de recursos por parte de las plantas, comprometiendo así su rendimiento.

2.5. MÉTODOS DE ESTUDIOS DE UNIFORMIDAD

Históricamente se han realizado varios estudios sobre el rendimiento de la maquinaria de siembra y los patrones de cultivo resultantes de las plántulas, pero la mayoría de estos se han centrado principalmente en la uniformidad de la separación de semillas dentro de la fila, y, por lo tanto, los análisis han sido unidimensionales (Panning et al., Pasternak et al., citados por Kristensen et al., 2006). El supuesto implícito es que un espaciado más uniforme dentro de la fila resultará en un patrón espacial bidimensional más uniforme (Griepentrog et al. 2009, 2011). No obstante, existen varios métodos dentro de los cuales los más difundidos en la bibliografía para cuantificar el efecto de la uniformidad sobre el rendimiento en el cultivo de soja son: polígonos de

Thiessen (Hühn 2003, Griepentrog et al. 2011) y M.I.D =Morisita's index of dispersión (Kristensen et al., 2006).

El primero de estos métodos se define 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.

En cuanto al método M.I.D. según Kristensen et al. (2006) se basa en recuentos de cuadrantes aleatorios o regulares, y está estrechamente relacionado con la relación media-varianza, así como otros índices de dispersión. Debido a que dicho método se puede calcular para diferentes tamaños de cuadrantes, la escala del análisis no es inherente, y se puede usar para investigar patrones en un rango de densidades y escalas. El M.I.D. tiene la ventaja de ser un valor único, mientras que los polígonos de Thiessen brindan información mucho más detallada a escala individual. Dicha información tiene que ver con el área del polígono, la forma general del polígono y la excentricidad (Kristensen et al., 2006). Experimentos más recientes, llevados a cabo por Ballvé et al. (2015), también coincidente con Copetti (2015) aseguran que un indicador de la uniformidad es el desvío estándar de la distancia entre plantas, que mide su variabilidad: cuanto mayor es este valor más variable 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 recursos ambientales.

En base a la bibliografía, se plantea como hipótesis del presente estudio que la falta de uniformidad afecta el rendimiento en grano de soja.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DETALLES EXPERIMENTALES

El trabajo de tesis se llevó a cabo en la zafra de verano de 2017, desde el 16 de abril hasta el 15 de mayo, en el 47 km de la ruta 1 en el paraje Costas del Tigre, próximo a la Ciudad de Libertad, departamento de San José. Mayormente el suelo corresponde a un Brunosol subéutrico, a veces éutricos, típicos o lúbricos aunque también en menor proporción se encuentran Planosoles subéutricos, a veces éutricos melánicos, pertenecientes a la unidad Kiyú. Dichos se caracterizan por ser muy aptos para la agricultura de verano.

El sitio 1 se sembró desde el 12 al 14 de noviembre y el sitio 2 el 30 de noviembre, con una densidad de siembra de 400.000 semillas por hectárea a una profundidad de 3 cm mediante una sembradora John Deere 1790 con dosificador neumático a una velocidad de 7 km/hora para ambos sitios. Se utilizó el cultivar DM 5.9i y una distancia entre hileras de 38 cm. En cuanto al manejo nutricional de las chacras se utilizó el fertilizante 5-30-10-5 y cloruro de potasio 0-0-60 a una dosis de 125 kg ha⁻¹ cada una.

3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se seleccionaron 2 sitios de una chacra comercial, realizando 4 muestreos en cada uno, contabilizando un total de 8 unidades muestrales (Imagen 1). El criterio para la elección de los sitios de muestreo fue buscar homogeneidad en cuanto a suelo, evitando zonas con problemas productivos visibles.



Imagen 1. Sitios y puntos de muestreo

En cada unidad de muestreo se delimitó un área constituida por 8 surcos de 4 metros de largo, utilizando como área de cosecha las dos líneas centrales. Se anotó la distancia entre filas. 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 donde 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.

Los granos de las vainas cosechas en las líneas 4 y 5 fueron a su vez colocados en bolsas de papel y secados en estufa a 40 °C hasta peso constante, obteniéndose así el rendimiento por planta (gr/pl). Por otra parte, en el sitio 1, en las repeticiones 1 y 2, se contabilizó también el número de granos por planta, permitiendo calcular los granos por vaina y el peso de mil granos.

3.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Se utilizaron dos variables principales con el fin de modelar y estimar los patrones de distribución de las plantas sobre el rendimiento, estas fueron la distancia

media entre plantas y el área individual por planta. Esta última se obtuvo por la utilización del programa ArcGis® mediante el cálculo de los polígonos de Thiessen, resultado de medir la distancia entre cada planta de interés y sus vecinas (ver Anexo 1). De esta manera se cuenta con una estimación del área por planta y por ende la superficie disponible para hacer uso de los recursos. Se asumió que las plantas nacieron todas el mismo día con el fin de eliminar la variabilidad temporal.

Por otro lado, fueron calculados los principales componentes numéricos del rendimiento, asociadas con el rendimiento absoluto y el rendimiento relativo. El rendimiento absoluto se refiere a la cantidad de grano por unidad de superficie, obtenido en cada sitio de muestreo, mientras que el rendimiento relativo es resultado del cociente entre el rendimiento absoluto de un punto, dentro del sitio de muestreo, y la media del rendimiento absoluto de todos los puntos que componen ese sitio de muestreo.

Tanto el tamaño del área asignada que presenta cada planta como los componentes numéricos del rendimiento permiten identificar el efecto de la uniformidad en el rendimiento individual. Como forma de analizar la uniformidad de plantas logradas, y su efecto en el rendimiento, las variables analizadas fueron la variación en el rendimiento en función del desvío estándar del área individual y distancia media entre plantas. Este indicador revela que tan dispersos se encuentran los datos con respecto a la media, por lo que permite una visión de los mismos más acorde con la realidad. Por último, el rendimiento por hectárea de cada punto fue calculado a partir de la suma de los rendimientos individuales de cada planta.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL AÑO

4.1.1. Caracterización climática de la zafra

Los datos para realizar la evaluación climática de la zafra fueron obtenidos de estación INIA Las Brujas, la cual se encuentra a 20 km del sitio dónde se realizaron los muestreos.

4.1.1.1. Precipitaciones

Las condiciones hídricas durante el ciclo del cultivo (12/11 al 18/05 y 30/11 al - 07/06, sitio 1 y 2 respectivamente) muestran haber sido deficitarias, no solo porque se presentan precipitaciones inferiores a las medias registradas en la serie 2002-2016, sino también porque los requerimientos de agua necesarios para el desarrollo del cultivo no estuvieron cubiertos durante todo el ciclo.

El verano de la zafra 2017/2018 se caracterizó por un clima muy seco, que contrastó con las condiciones “ideales”, principalmente las del ciclo 2016/2017. Desde octubre de 2017 a mayo de 2018 se registraron precipitaciones por un valor de 305 mm, cifra significativamente menor a los 500-600 mm que requiere la soja a lo largo de su ciclo. La caída de los rendimientos se apreció a nivel de todo el país, pero fue particularmente marcada en las chacras de Soriano y el litoral Norte y menos severas en chacras de Colonia, San José y la Zona Este (Deloitte, 2018).

Según el modelo de predicción fenológica de INIA (Fassio et al., 2014), el periodo crítico se ubicó entre el 10 de febrero y el 30 de marzo para el lote sobre el sitio 1, y entre el 21 de febrero y el 7 de abril para el del sitio 2. A partir del mes de enero, el cultivo inicia la etapa de floración (R1). Desde el inicio de formación de vainas (R3) hasta el desarrollo de la semilla (R6) es el período más sensible a la falta de agua. Se observan, en los meses de febrero y marzo, precipitaciones por debajo de la media, con valores de -88% y -41% respectivamente.

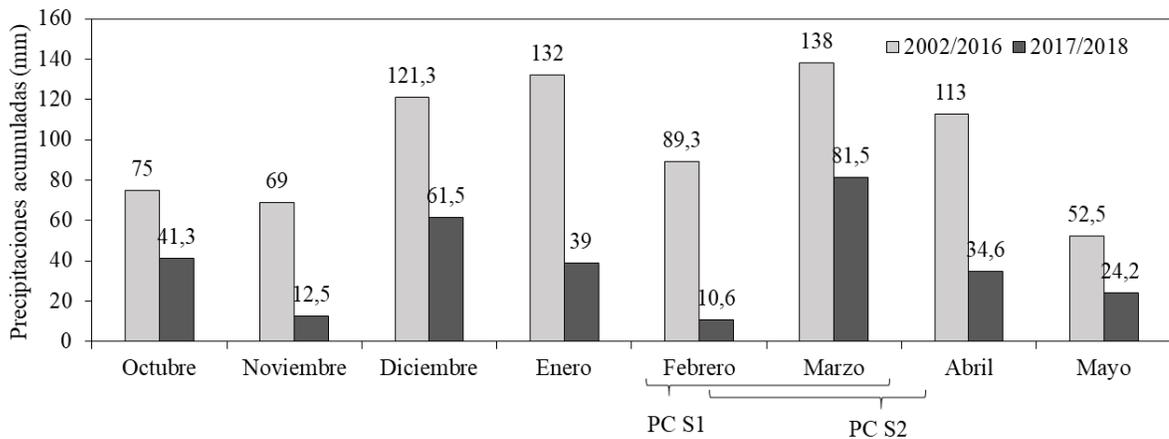


Figura 1. Precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo y la serie 2002-2016

En concordancia con lo mencionado anteriormente según el Índice de Bienestar Hídrico (IBH) registrado (INIA. GRAS, 2015) durante febrero y marzo (Imagen 2), el promedio estimado se ubicó entre los valores de 40% a 50% o inferiores próximos a la zona de estudio. En general se considera que valores de índice de bienestar hídrico por debajo de 50% indican condiciones de estrés en la vegetación, debido a que la transpiración se encuentra muy por debajo de la demanda potencial. Luego, en el mes de abril, dicho índice promedio estimado presentó valores de 50% o superiores en todo el país. Por otro lado, según la misma fuente, existen umbrales críticos de porcentaje de agua disponible en el suelo con valores por debajo de 40-50% en cultivos extensivos y valores por debajo de 30 - 40% en pasturas sembradas: porcentaje que según estimación de agua disponible en los suelos del Uruguay por sección policial (INIA. GRAS, 2015) fue inferior durante el período de la fase reproductiva, la cual es una de las más sensibles al déficit de agua (Imagen 3).

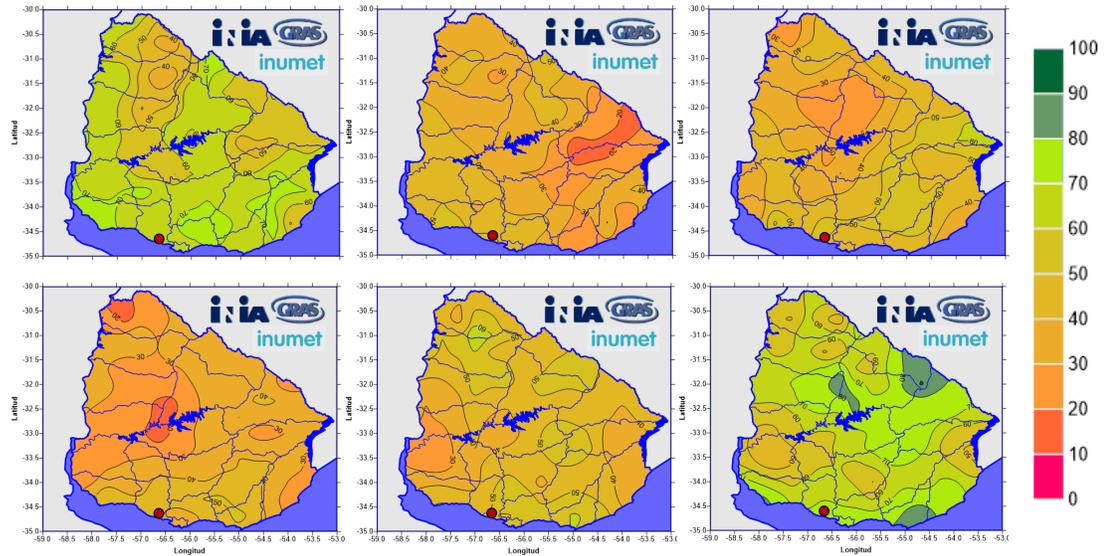


Imagen 2. Índice de balance hídrico para el período de noviembre 2017 - abril 2018

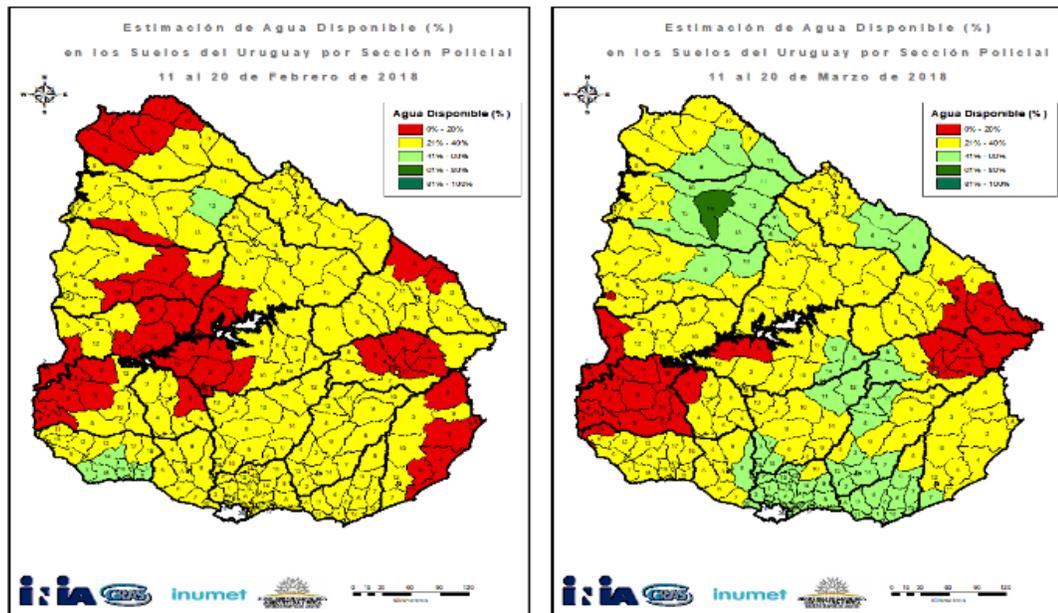


Imagen 3. Estimación de agua disponible (%) en los suelos del Uruguay por sección policial durante los momentos de menor contenido de agua

4.1.1.2. Temperatura

Durante el ciclo de desarrollo del cultivo las temperaturas, en general, presentaron un comportamiento similar a la media de la serie 2002-2016 pero existieron meses en los que se mostró una diferencia. Se destaca entonces el aumento en los meses de otoño siendo en abril +22% y en mayo +10%. Una variación de uno o dos grados con el promedio histórico, junto con el déficit hídrico en los meses estivales puede ser motivo de una posible merma en la producción.

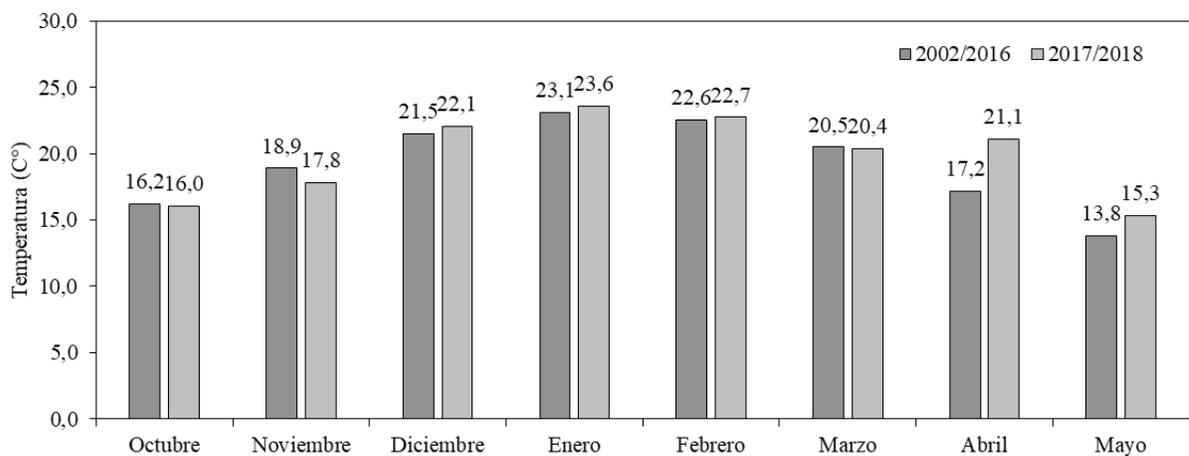


Figura 2. Temperaturas medias mensuales durante el desarrollo del cultivo (2017-2018) en relación con la serie 2002-2016

Si bien las temperaturas no se encuentran dentro de las temperaturas óptimas para el desarrollo de soja (más de 25 °C y menos de 30 °C, Vega y Andrade, 2002), las mismas se ubicaron por encima de 20°C en los meses estivales, lo cual es una temperatura aceptable para el desarrollo del cultivo.

4.1.1.3. Radiación

Las escasas precipitaciones registradas durante el período crítico llevaron a que la radiación registrada en dicho momento estuviera por encima de la media de la serie histórica. Por lo tanto, la radiación no fue limitante para alcanzar altas tasas de crecimiento del cultivo en el período crítico y lograr buenos rendimientos. Por otro lado, en tres de los ocho meses (enero, abril y mayo) los valores respectivos de radiación se encuentran por debajo de dicha media, siendo significativamente notorio en el mes de

abril. Más allá de que esto no es reflejado en la gráfica de precipitaciones medias por presentar valores menores a la media (Figura 3), ocurrió un periodo intenso de lluvias que afectó las labores de cosecha y calidad de la semilla.

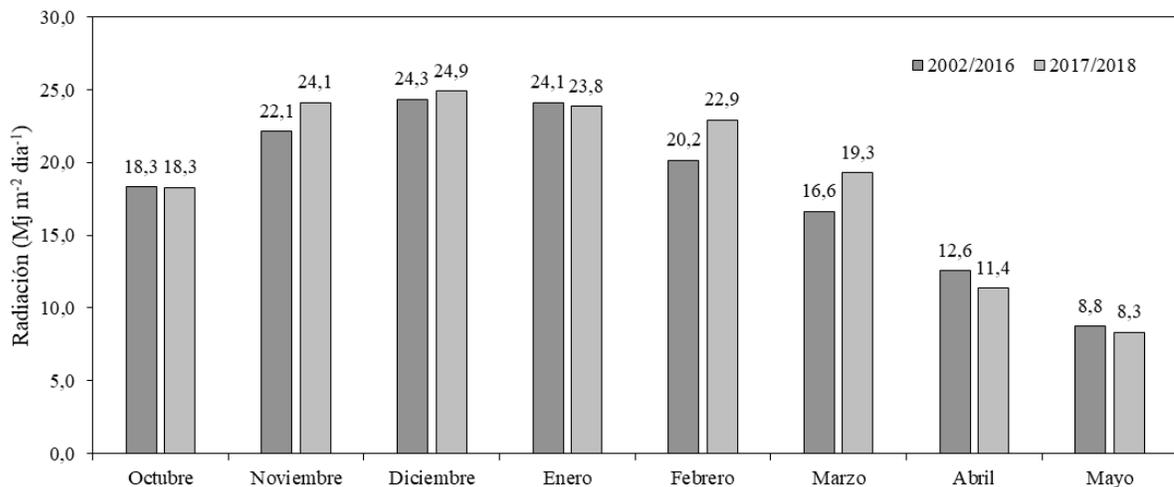


Figura 3. Radiación media mensual durante el desarrollo del cultivo comparado con la serie 2002-2016

4.2. RESULTADOS GENERALES

4.2.1. Respuesta media a la población

El área media individual depende de la densidad de plantas logradas, a menor densidad, mayor es el valor del área media individual, por lo que este resultado se corresponde con el análisis de población en función del rendimiento. Esto se ve reflejado al observar el sitio 1; tanto la variación de población ($R^2 = 0,7975$; $p < 0,0895$), como la de área media individual ($p < 0,0256$), tienen efecto negativo sobre el rendimiento logrado para un rango de población entre 25 y 30 pl/m². En cambio, el sitio 2, no responde ante dichas variables ($R^2 = 0,00064$; $p < 0,9748$ y $R^2 = 0,04$ $p < 0,7909$ respectivamente).

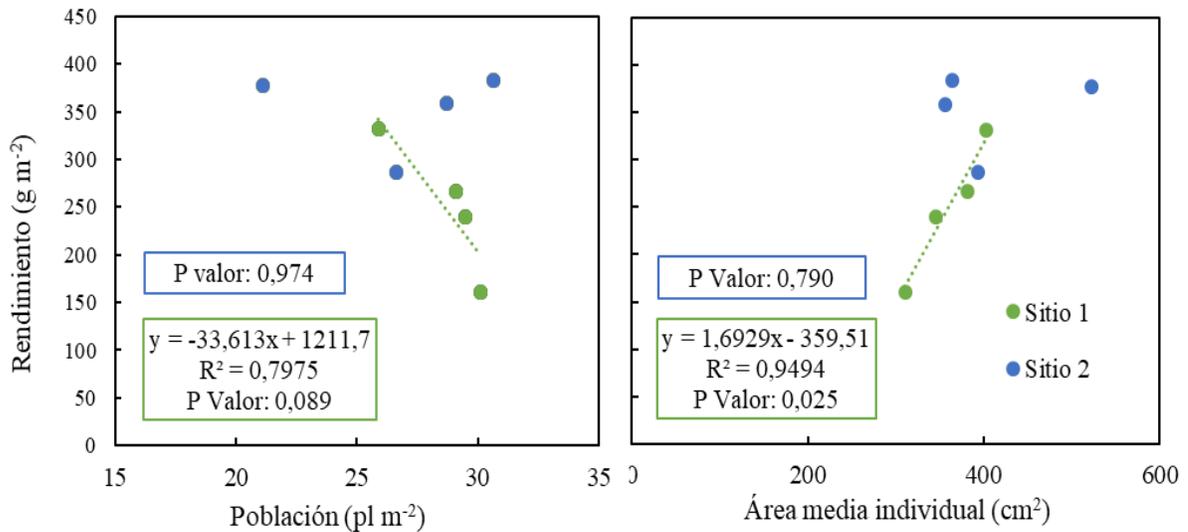


Figura 4. Rendimiento en función de la población y el área media individual

Estas diferencias en rendimientos y respuesta a la población entre sitios pueden estar explicadas por el momento donde se concentró el periodo crítico. A diferencia del sitio 1, la siembra más tardía del sitio 2 causó que parte de la etapa reproductiva más determinante del rendimiento coincidiera con el mes de abril, donde las lluvias ya no fueron tan limitantes (Figura 1). Otra causa puede deberse al tipo de suelo y su clasificación como muy apto para los cultivos de verano en comparación con los del sitio 1 que son de tipo apto según MGAP (2016).

4.2.2. Efecto medio de la variabilidad sobre el rendimiento

Un indicador de la uniformidad es el desvío estándar de la distancia entre plantas y/o el área media individual de cada planta, que mide su variabilidad, cuanto mayor es este valor, más variable es la distribución de las plantas y mayor la probabilidad de estar perdiendo rendimiento por efecto de la competencia intraespecífica, limitando la captación y uso de recursos ambientales (Ballvé et al. 2015, Copetti 2015). Sin embargo, se observa como la variabilidad, tanto de la distancia entre plantas como del área individual no explicó los cambios en el rendimiento (Figura 5).

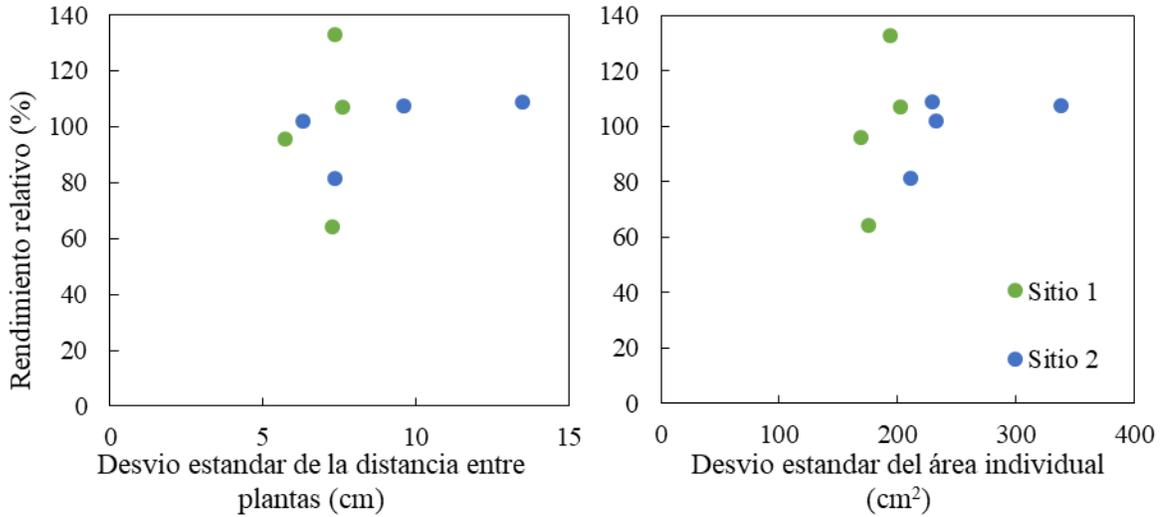


Figura 5. Rendimiento relativo en función del desvío estándar de la distancia entre plantas y del área media individual

Parcelas con altos desvíos estándar generaron los mismos rendimientos por unidad de superficie que parcelas más uniformes, concluyendo que el rendimiento no estuvo asociado al desvío estándar de la distancia entre plantas ($P < 0,636$), ni al desvío estándar del área media individual ($P < 0,433$). Esto coincide en parte con lo mencionado previamente por Egli (1994), quien observó aumentos únicamente de 9 a 19% en la producción de soja, para el caso de espaciamentos uniformes, sin embargo, en este experimento, la uniformidad no tuvo relación con el rendimiento.

4.2.3. Efecto de la población sobre la uniformidad

Tanto la distancia media entre plantas como el área media individual dependen de la población, es esperable que a mayor densidad menor es la variabilidad de éstas. Cuando la cantidad de elementos a analizar es mayor, el desvío estándar del parámetro debería ser menor, disminuyendo el porcentaje de error. No obstante, la evidencia muestra un comportamiento diferente al esperado (Figura 6) ya que se observó que la población no ejerció un efecto sobre la uniformidad, medido como desvío estándar de la distancia entre plantas y área media individual.

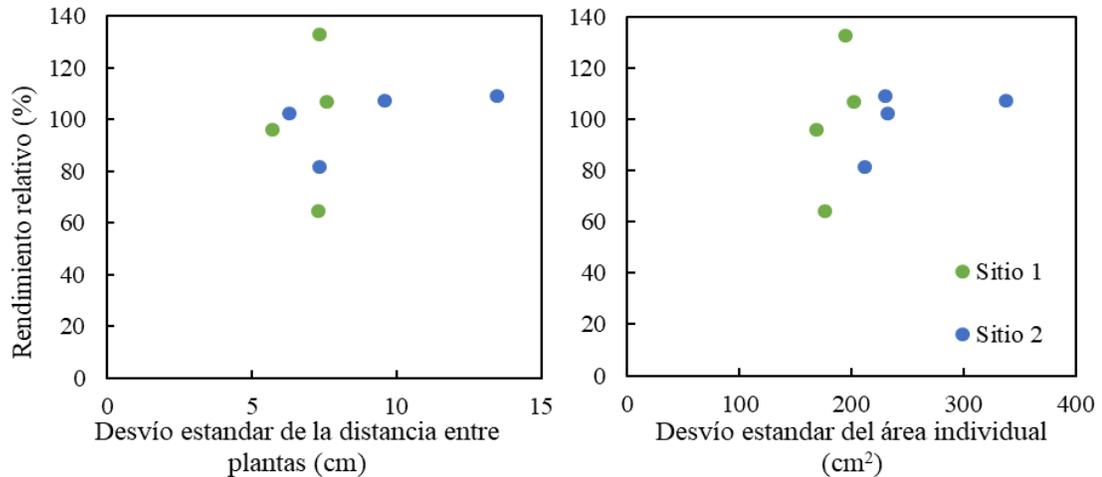


Figura 6. Población en función del desvío estándar de la distancia entre plantas y desvío estándar del área media individual

Esta nula respuesta a la población puede deberse a que la variabilidad entre la población de plantas objetivo y la población efectivamente lograda fue baja. En este experimento, para el rango acotado de población que se manejó, no hubo diferencias significativas en cuanto a la variabilidad del área media individual ($P < 0,544$ y $0,136$ para el sitio 1 y 2 respectivamente), así como tampoco para el desvío estándar de la distancia media entre plantas ($P < 0,802$ y $0,781$ para el sitio 1 y 2 respectivamente).

4.2.4. Rendimiento individual en función del arreglo espacial

Como fue explicado anteriormente, el número de granos por metro cuadrado es el componente que más peso tiene sobre el rendimiento. Este se encuentra sumamente ligado al número de vainas por metro cuadrado, lo que implica que aumentos en el número de vainas, se traduce en aumentos del rendimiento. Por otro lado, el número de vainas presentó un comportamiento variado, logrando valores que oscilan desde 1 a 211 vainas planta⁻¹, y una media de 34,4 vainas planta⁻¹ (Figura 7).

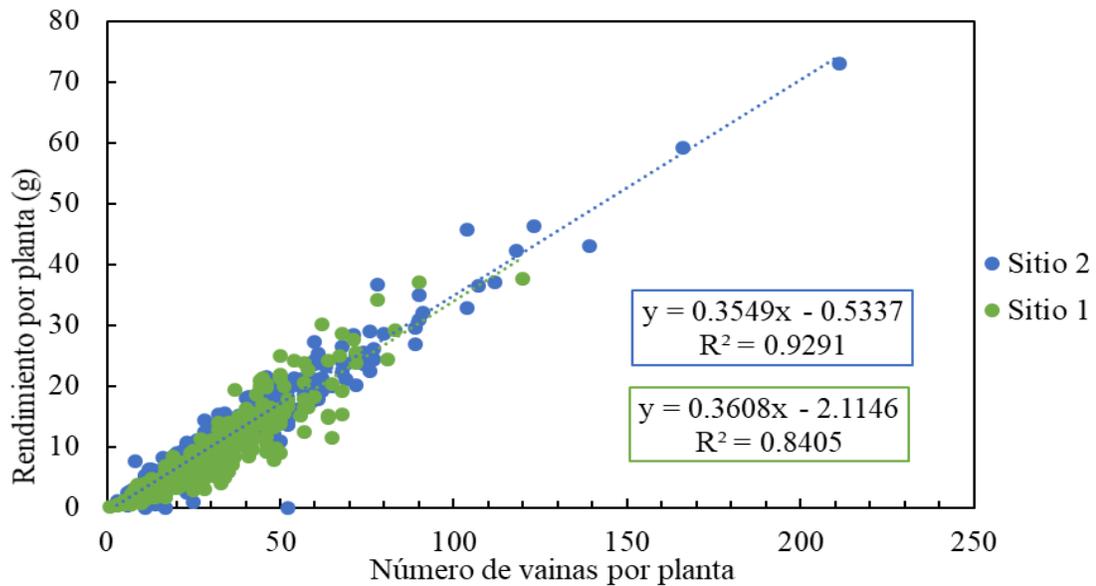


Figura 7. Relación entre el número de vainas y el rendimiento individual

4.2.5. Efecto del área por planta sobre el rendimiento y número de vainas por planta

En cuanto a la relación entre el área media individual y el rendimiento, no fue posible encontrar una asociación entre estas variables (Figura 8). Esto indica que plantas con áreas similares presentaron rendimientos muy variados, lo que indica que existieron otros factores no evaluados que afectaron la productividad por planta. Se concluye que el cultivo tiene la capacidad de lograr altos rendimientos por planta aún con áreas individuales bajas, pero no se observa una respuesta en rendimiento al aumentar el área individual de cada planta. En coincidencia, el número de vainas por planta en función del área media individual, tampoco mostró relación. Esto es razonable teniendo en cuenta la estrecha relación que tuvo el número de vainas sobre el rendimiento (Figura 7).

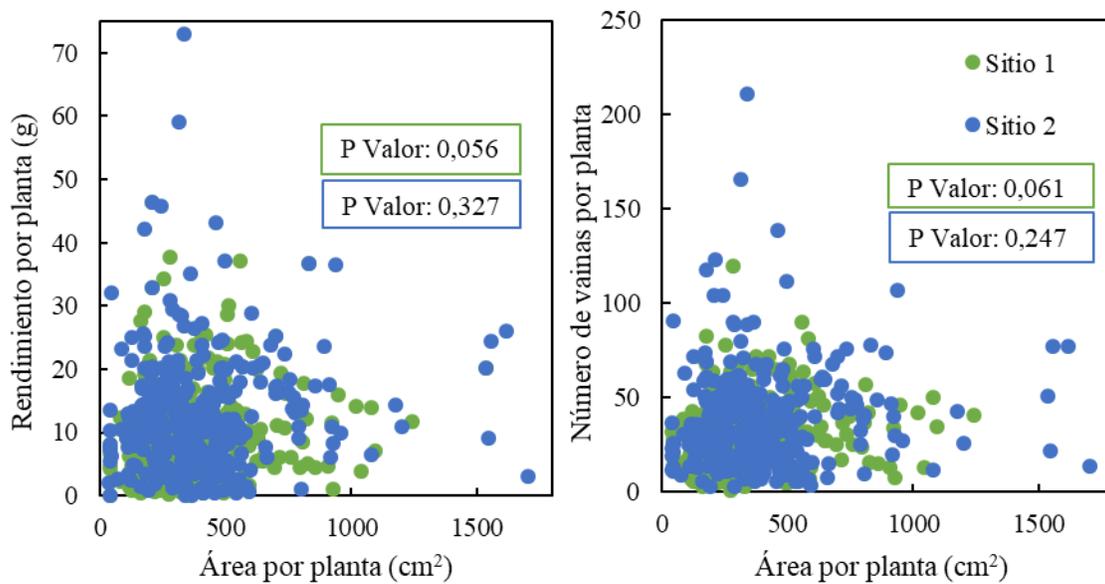


Figura 8. Efecto del área por planta sobre el rendimiento y número de vainas por planta

4.2.6. Efecto de los componentes numéricos de rendimiento

Tal como se mencionó, el número de granos por superficie y el peso de granos conforman los componentes numéricos directos del rendimiento. En las siguientes gráficas se observa que rendimientos más altos están asociados a un mayor número y peso de granos, aunque este último presenta una asociación menor. Esto coincide con lo mencionado anteriormente por Kantolic et al. (2004).

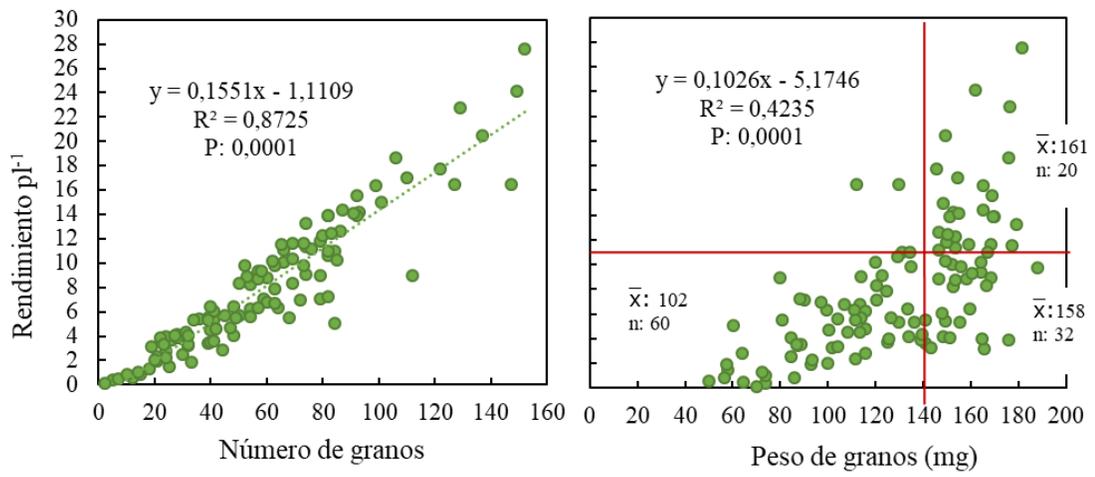


Figura 9. Efecto del rendimiento sobre el número de granos y el peso de 1000 granos

Al particionar la gráfica de la derecha se observa en cuanto al peso de granos que existe una relación directa hasta los 140 gr, donde un rendimiento bajo siempre estuvo asociado a menores pesos de grano. Esto significa que hasta cierto valor de rendimiento no solo importa el número de granos sino también el peso y estos dos componentes están directamente asociados. Por otro lado, pasados los 140 gr los valores de rendimientos son variables.

4.2.6.1. Efecto del peso de grano

En la siguiente figura (Figura 10) se observa que no existe efecto del peso de grano sobre el número de granos. Si bien puede existir compensación entre ambos componentes tal como se mencionó en revisión bibliográfica, el número de granos en este caso no hace variar al peso. Esto puede estar explicado por la presencia de una situación de estrés como lo fue el déficit hídrico en etapas reproductivas avanzadas, disminuyendo la compensación entre dichos componentes.

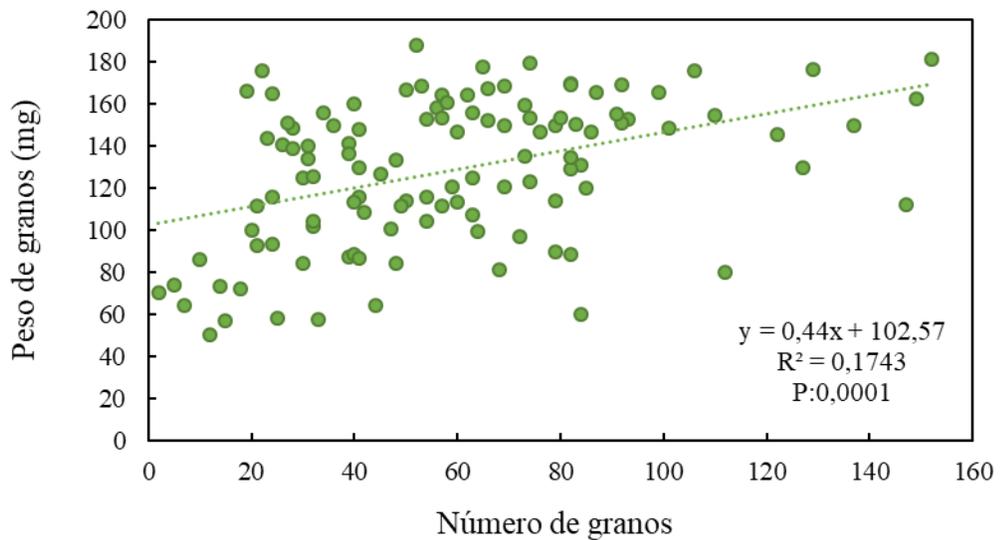


Figura 10. Efecto del peso de grano sobre el número de granos

Al fraccionar la siguiente gráfica (Figura 11) en 3 secciones, se pueden observar diferentes respuestas entre sí. Hasta 4 gr pl-1 la respuesta es positiva, mayor peso de grano determina mayores rendimientos, pero entre los 4 y 10 gr pl-1, la respuesta es variable y por encima de 10 gr pl-1 el peso se estabiliza, siendo el rendimiento determinado por otros factores.

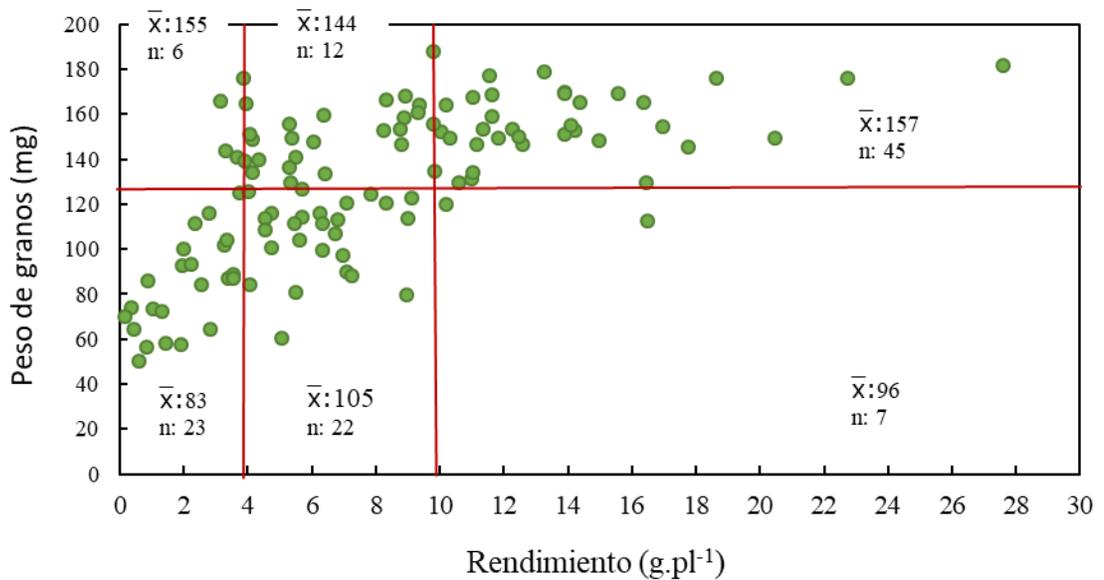


Figura 11. Efecto del peso de 1000 granos sobre el rendimiento individual

4.2.7. Efecto del número y peso de granos sobre los granos por vaina

El número de granos por vaina no afectó ni el número de granos por unidad de superficie ni tampoco el peso de grano. También se observa el carácter estable que presenta el número promedio de granos por vaina, coincidiendo con Cox y Cherney (2011), quienes señalan que es un componente genético y que no es modificado por factores ambientales o por el entorno de producción.

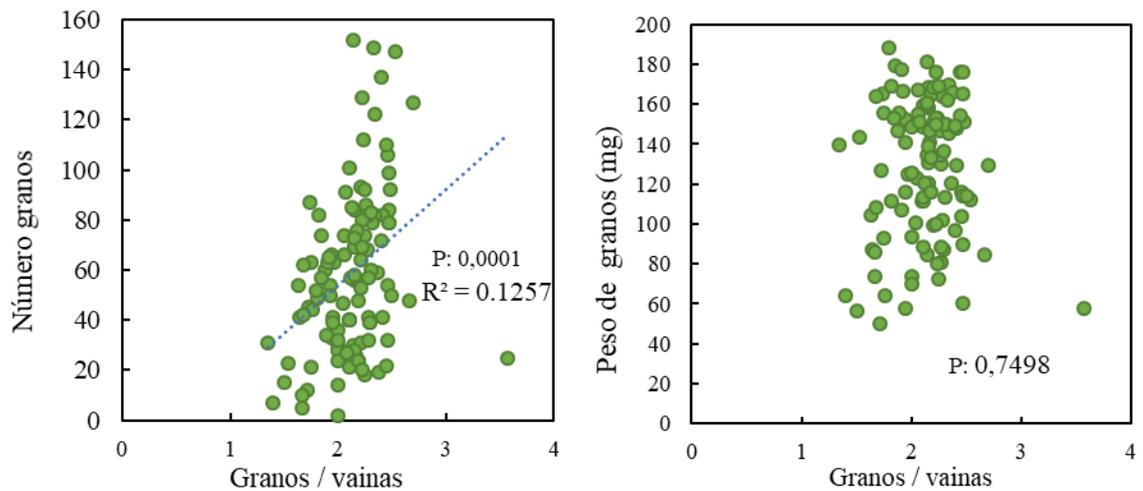


Figura 12. Efecto del número de granos y peso de grano sobre los granos por vaina

5. CONCLUSIONES

Para ninguno de los sitios estudiados fue posible encontrar respuesta en el rendimiento en función de la población. A su vez, no se encontró una relación entre la uniformidad de distribución de plantas y el rendimiento, calculada mediante el desvío estándar del área (%) de los polígonos y el desvío estándar (%) de la distancia entre plantas dentro de la hilera. Dichos resultados fueron obtenidos en el rango de población estudiado que se ubicó entre 25 y 30 pl m⁻².

Si bien el análisis de la uniformidad mediante los polígonos de Thiessen es una forma de estimar el área disponible por cada planta, no tuvo una correlación con el rendimiento, por lo que se debería para futuros experimentos seguir estudiando los distintos atributos del polígono, como excentricidad y forma.

Con respecto al peso grano, se comprobó una respuesta variable frente a los diferentes rendimientos por planta, donde el peso de granos se estabilizó en 160 mg, cuando se alcanzó un rendimiento por planta de 10 gr.

6. RESUMEN

El presente trabajo de tesis, llevado a cabo en la zafra de verano 2017-2018, tuvo como objetivo cuantificar el impacto de los cambios en la uniformidad de distribución de plantas en la línea sobre el rendimiento del cultivo de soja. Para ello se trabajó en chacras comerciales ubicadas en el departamento de San José, próximas a la ciudad de Libertad, donde se realizó un muestreo aleatorizado de los individuos. Se muestrearon 2 bloques de 8 parcelas cada uno, registrándose a cosecha el valor de los componentes numéricos de cada planta. A su vez, se determinó, a partir de la creación de los polígonos de Thiessen, el área individual por planta, para poder cuantificar el impacto sobre el rendimiento de poblaciones con distintos arreglos espaciales. En términos generales, los resultados fueron coincidentes para ambos ensayos y que las diferencias en rendimiento no están explicadas por las áreas de los polígonos. No se observó un aumento del rendimiento con el incremento de la uniformidad en la distribución espacial de los individuos. El efecto de la población coincidió con la bibliografía ya que en un determinado rango de poblaciones no hubo efecto en el rendimiento. Para la variable uniformidad, principal variable de este estudio, no hubo efecto en el rendimiento.

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

7. SUMMARY

The present thesis work, carried out in the 2017-2018 summer harvest, had as objective to quantify the impact of the changes in the uniformity of distribution of plants in the line on the yield of the soybean crop. For this, we worked in commercial farms located in the department of San José, near the city of Libertad, where a randomized sampling of the individuals was carried out. Two blocks of 8 plots each were sampled, the value of the numerical components of each plant being recorded at harvest. In turn, it was determined, from the creation of the Thiessen polygons, the individual area per plant, in order to quantify the impact on the performance of population with different spatial arrangements. In general terms, the results were coincident for both trials and that the differences in performance are not explained by the areas of the polygons. No increase in yield was observed with the increase of uniformity in the spatial distribution of the individuals. The effect of the population coincided with the literature since in a certain range of populations there was no effect on performance. For the variable uniformity, the main variable of this study, there was no effect on performance.

Keywords: Soybean; Yield; Area; Uniformity; Space 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 13 mar. 2019. Disponible en <http://scihub.org/ABJNA/PDF/2011/9/ABJNA-2-9-1273-1278.pdf>
2. Álvarez, C. A. 2010. Rendimiento de cultivares de soja de grupo de madurez V y VI con riego complementario. Tesis Ingeniero Agrónomo. Córdoba, Argentina. Universidad Nacional de Río Cuarto. Facultad de Agronomía y Veterinaria. p.11.
3. Andrade, F.; Cirilo, A. 2000. Fecha de siembra y rendimiento de los cultivos. In: Andrade, F.; Sadras, V. eds. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Buenos Aires, INTA, UNMP. pp. 135-150
4. _____.; 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
5. Bacigaluppo, S.; Enrico, J. M.; Martignone, R. A.; Bodrero, M. L. 2011. Respuesta al espaciamiento 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.
6. Baigorri, H. 2003. Desarrollo y crecimiento de cultivares de soja en función de la fecha de siembra y su importancia en la recomendación de manejo. In: Jornada Nacional de la Soja (2003, Colonia). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 101-114 (Actividades de Difusión no. 325).
7. _____. 2004. Criterios para la elección y el manejo de cultivares de soja. (en línea). Córdoba, INTA. 21 p. Consultado 15 abr. 2019. Disponible en http://agro.unc.edu.ar/~ceryol/documentos/soja/Eleccion_cultivares.pdf
8. Balbinot, A. A.; Oliveira, S.; Debiassi, H.; Franchini, J. C. 2013. Semeadura cruzada na cultura da soja. (en línea). EMBRAPA Soja. Circular Técnica no. 98. 8 p. Consultado 15 mar. 2019. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/17051187.pdf>

9. Ballvé, R.; Alonso, M.; Satorre, E. H. 2015. Controlando la densidad y uniformidad de siembra de los cultivos. (en línea). Decisiones. no. 87:1-4. Consultado 13 mar. 2019. Disponible en http://www.cultivaragro.com.ar/capacitaciones/87_ImplantacionSjMz_1438797231.pdf
10. 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).
11. 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.
12. Cantarelli, L. D.; Braga Schuch, L. O.; Rufino, C. A.; Tavares, L. C.; Fernandes Vieira, J. 2015. Physiological seeds quality: spatial distribution and variability among soybean plant population. (en línea). Uberlândia. 31 (2):344-351. Consultado 12 mar. 2019. Disponible en http://docs.bvsalud.org/biblioref/2018/11/964124/physiological-seeds-quality-spatial-distribution-and-variabilit_TwizvF4.pdf
13. Castela, M. A.; Carvalho, T.; Netto, Z.; Marinho, E.; Alves, D. 2014. Influência da velocidade da semeadora nasemeadura direta da soja. (en línea). Revista Enciclopedia Biosfera. 10 (19): 1199 - 1207. Consultado 27 feb. 2019. Disponible en <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2014b/AGRARIAS/influencia%20da%20velocidade.pdf>
14. 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 5 mar. 2019. Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100204X2002000800004&script=sci_arttext
15. Cedrick, C; Marchetti, 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 19 mar. 2019. Disponible en

<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/156830/1/Soybean-agronomic-performance.pdf>

16. Coll, L.; Caviglia, O. P.; Van Opstal, N. V. 2011. Rendimiento de soja de segunda sobre diferentes antecesores invernales. (en línea). INTA EEA. Actualización técnica de soja no. 62:75 - 82. Consultado 28 feb. 2019. Disponible en http://www.agrobin.com/wp-content/uploads/academico/paper3_62.pdf?iframe=true&width=800&height=800
17. Copetti, E. 2015. Los desafíos de la siembra. (en línea). Seednews, la Revista Internacional de Semillas. 19(1): s.p. Consultado 19 mar. 2019. Disponible en http://www.seednews.inf.br/html/site_es/content/reportagem_capa/imprimir.php?id=218
18. 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). Engenharia Agrícola. 26 (2): 502-510. Consultado 19 mar. 2019. Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162006000200019
19. 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 27 feb. 2019. Disponible en <http://blogs.cornell.edu/whatscroppingup/2014/12/05/soybean-planting-depth-affects-plant-populations-but-not-always-yield/>
20. 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.
21. 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 15 mar. 2019. Disponible en <http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-efecto-de-la-distancia-entre-surcos-en-3-fechas-.pdf>
22. Deloitte. 2018. Observatorio de oleaginosas Uruguay: situación y perspectivas para el complejo oleaginoso. (en línea). In: Encuentro Nacional de la Mesa Tecnológica de Oleaginosos (7º., 2018, Montevideo). Presentaciones. Montevideo, s.e. s.p. Consultado 02 may. 2019. Disponible en <http://7moencuentro.mto.org.uy/wp->

[content/uploads/2018/08/Observatorio-Oleaginosos-Uruguay_Zafra-2017-2018v3.pdf](http://www.msfp.org.au/wp-content/uploads/2018/08/Observatorio-Oleaginosos-Uruguay_Zafra-2017-2018v3.pdf)

23. Desbiolles, J. 2004. Paddock yield and seeding depth optimisation. (en línea). South Australia, Australia. 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>
24. 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). Ciência Rural. 39 (6): 1721-1728. Consultado 12 mar. 2019. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/cr/v39n6/a218cr1046.pdf>
25. Egli, D. 1988. Plant density and soybean yield. (en línea) Crop Science Abstract. 28 (6): 977-981. Consultado 15 abr. 2019. Disponible en <https://dl.sciencesocieties.org/publications/cs/abstracts/28/6/CS0280060977?access=0&view=pdf>
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 2 abr. 2019. Disponible en <http://www.inia.uy/gras/Alertas-y-herramientas/Utilidades>
27. Ferreira, A. S; Balbinot Junior, A. A; Werner, F; Franchini, J. C; Zucareli, C. 2018. Soybean agronomic performance in response to seeding rate and phosphate and potassium fertilization. (en línea). Revista Engenharia Agrícola. 22 (3): 151-157. Consultado 27 feb. 2019. Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662018000300151&script=sci_arttext
28. Gaso, D.; Sawchik, G.; Núñez, A. 2013. Soja: algunos aspectos a considerar para el logro de altos rendimientos. Programa Nacional de Cultivos de Secano. Revista INIA. no. 34: 34-37.
29. 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 mar. 2019. Disponible en

https://www.researchgate.net/publication/257147446_The_Influence_of_Row_Width_and_Seed_Spacing_on_Uniformity_of_Plant_Spatial_Distributions

30. _____.; 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 (8th., 2011, Czech Republic). Proceedings. Prague, s.e. pp. 180-190. Consultado 18 mar. 2019. Disponible en http://www.jacobweiner.dk/download/griepentrog_et_al_2011.pdf
31. Gutiérrez Boem, F. H.; Scheiner, J. D.; Lavado, R. S. 1998. Fertilización en soja. (en línea). In: Gutiérrez Boem, F. H.; Lavado, R. S.; Scheiner, J. D.; Urricariet, S. eds. Fertilidad y uso de fertilizantes. Buenos Aires, Argentina. Inpofos Cono Sur. v.6, p.39. Consultado 14 abr. 2019. Disponible en http://www.inta.gov.ar/rafaela/info/documentos/miscelaneas/112/misc112_092.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 27 mar. 2019. 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 27 mar. 2019. 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 27 mar. 2019. 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. Jasper, R.; Jasper, M.; Assunção, P. S. M.; Rocil, J.; Garcia, L. C. 2011. Velocidade de semeadura da soja. (en línea). Engenharia Agrícola. 31 (1): 102-110. Consultado 14 abr. 2019. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v31n1/v31n1a10>

37. Kantolic, A. G.; Slafer, G. A. 2001. Photoperiod sensitivity after flowering and seed number determination in indeterminate soybean cultivars. (en línea). *Field Crops Research*. 72:109-118. Consultado 28 feb. 2019. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037842900100168X>
38. _____.; Giménez, P. I.; De La Fuente, E. B. 2004. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y calidad en soja. *In*: Pascale, A. ed. *Producción de granos: bases funcionales para su manejo*. 2ª. ed. Buenos Aires, FAUBA. pp 167-195.
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 10 mar. 2019. 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 10 mar. 2019. Disponible en <https://crops.extension.iastate.edu/cropnews/2014/05/soybean-planting-depth-considerations-iowa>
41. Lima do Carmo, E.; Braga Pereira Braz, G.; Simon, G. A.; Guerra da Silva, A.; Carpin Rocha, A. G. 2018. Desempenho agronômico da soja cultivada em diferentes épocas e distribuição de plantas. (en línea). *Revista de Ciências Agroveterinárias*. 17 (1): 62-69. Consultado 11 mar. 2019. Disponible en <http://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/9684/pdf>
42. Lobell, D. B.; Cassman, K. G.; Field, C. B. 2009. Crop Yield Gaps: their Importance, Magnitudes, and Causes. (en línea). *Annual Review of Environment and Resources*. 34(1):179-204. Consultado 15 abr. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/224959750_Crop_Yield_Gaps_Their_Importance_Magnitudes_and_Causes
43. Marchetti Ribeiro, A. B.; Bruzi, A. T.; Zuffo, A. M.; Zambiazzi, E. V.; Oliveri Soares, I.; Dias Vilela, N. J.; Rezende Pereira, J. L. De A.; Guimarães Moreira, S. 2017. Productive performance of soybean cultivars grown in different plant densities. (en línea). *Ciência Rural (Santa Maria)*. 47 (07): 1-8. Consultado 12 mar. 2019. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20160928>

44. Masino, A.; Rugeroni, P.; Borrás, L.; Rotundo, J. L. 2018. Spatial and temporal plant-to-plant variability effects on soybean yield. (en línea). *European Journal of Agronomy*. 98: 12-24. Consultado 11 mar. 2019. Disponible en <http://www.sciencedirect.com>
45. Merotto Junior, A.; Sangoi, L.; Ender, M.; Guidolin, A. F.; Haverroth, H. S. 1999. A desuniformidade de emergência reduz o rendimento de grãos de milho. (en línea). *Ciência Rural (Santa Maria)*. 29 (4): 595-601. Consultado 15 abr. 2019. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84781999000400004>
46. MGAP (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, UY). 2016. Descripción de grupos de suelos CONEAT. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 11 abr. 2019. Disponible en http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/descripcion_de_grupos_de_suelos_coneat.pdf
47. _____. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2017. Encuesta agrícola invierno 2017. p. 15. Consultado 25 feb. 2019. Disponible en http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/enc_agricola_inv2017.pdf
48. Pautasso, J. M. 2011. Efecto del arreglo espacial en soja de segunda sobre el rendimiento. (en línea). INTA. Actualización Técnica de Soja. no. 62: 55 - 57. Consultado 10 mar. 2019. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_ser_ext_62.pdf
49. Peltzer, H. F. 2007. Efecto de la fecha de siembra sobre el rendimiento potencial de soja en Entre Ríos. (en línea). INTA. Actualización Técnica de Soja. no. 45:16-18. Consultado 5 mar. 2019. Disponible en http://www.agrobin.com/wp-content/uploads/academico/paper2_45.pdf?iframe=true&width=800&height=800
50. Petter, F. A.; Da Silva, J. A.; Zuffo, A. M.; Ribeiro Andrade, F.; Pereira Machado, L.; De Almeida, F. A. 2016. Elevada densidade de sementeira aumenta a produtividade da soja? Respostas da radiação fotosintéticamente ativa. (en línea). *Bragantia*. 75 (2):173-183. Consultado 15 abr. 2019. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.4477>

51. 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 10 mar. 2019. Disponible en <http://www.bibliotekevirtual.org/revistas/REVENG/v24n01/v24n01a06.pdf>
52. Rezende, P. M.; Vieira, M.; Fraga, A. C.; Favoreto, C. R. S. 1985. Efeitos da densidade de plantas, sobre a produção, qualidade das sementes e outras características da soja [*Glycine max*(L.) Merrill]. Ciência e Prática. Lavras. 9 (1): 30-38.
53. 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 mar. 2017. Disponible en http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_reduccion_de_la_densidad_de_siembra_en_soja.pdf
54. Santos, D. J. 2011. Caída de rendimiento ante el atraso en la fecha de siembra; comportamiento diferencial entre variedades. (en línea). INTA. Actualización Técnica de Soja no. 62: 49 -54. Consultado 27 feb. 2019. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_ser_ext_62.pdf
55. Satorre, E.; Benech, R.; Slafer, G.; De la Fuente, E.; Miralles, D.; Otegui, M.; Savin, R. 2003. Producción de granos: bases funcionales para su manejo. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. 783 p.
56. Schuch, L. O. B.; Peske, S. T. 2008. Aperfeiçoando o processo de semeadura. (en línea). Seednews, la Revista Internacional de Semillas. 12 (6): 22-27. Consultado 19 mar. 2019. Disponible en <https://maissoja.com.br/dimetro-de-sementes-e-velocidade-de-deslocamento-na-semeadura-da-soja/>
57. Souza, N. M.; Weirich Neto, P. H. 2015. Test for alternative indicator of soybean sowing depth. (en línea). Engenharia Agrícola. 35 (1):128-133. Consultado 28 feb. 2019. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n1p128-133/2015>
58. Toledo, R. E. 2013. Ecofisiología, rendimiento y calidad de soja. (en línea). s.l., UNC. FCA. 12 p. Consultado 26 feb. Disponible en <http://www.agro.unc.edu.ar/~wpweb/cereales/wp->

content/uploads/sites/31/2018/07/Ecofisiologia-rendimiento-y-calidad-en-soja-.pdf

59. Tourino Gentleman, M. C.; Milanez de Rezende, P.; Salvador, N. 2002. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agronômicas da soja. (en línea). Pesquisa Agropecuária Brasileira 37 (8): 1071 - 1078. Consultado 15 mar. 2019. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/pab/v37n8/11666.pdf>
60. Vega, C.; Andrade, F. H. 2002. Densidad de plantas y espaciamento 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.

9. ANEXOS

Anexo 1.

