

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

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

por

Franco INVERNIZZI NAVILIAT
Agustín HERNÁNDEZ GRAÑA
Fernando SEGÚ GRAÑA

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2020

Tesis aprobada por:

Director:

Ing.Agr. Sebastián Ramón Mazzilli Vazini

Ing.Agr. Oswaldo Ruben Ernst Benech

Ing.Agr. Andrés Locatelli Fagúndez

Fecha: 15 de enero de 2020

Autores:

Franco Leonardo Invernizzi Naviliat

Agustín Ignacio Hernández Graña

Fernando Segú Graña

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos dar las gracias a nuestros familiares por ser el principal apoyo que recibimos a lo largo de la carrera de Ingeniero Agrónomo, quienes con esfuerzo nos dieron la oportunidad de realizar dicha carrera universitaria. En segundo lugar, agradecer a cada uno de los compañeros y amigos que fueron un pilar fundamental en el transcurso de estos años.

Queremos también reconocer el apoyo de nuestro director de tesis Ing. Agr. Sebastián Mazzili, que siempre tuvo muy buena disposición y nos orientó en dicho trabajo.

Y por último y no menos importante, agradecer a todo el equipo de laboratorio por prestarnos el espacio y colaborar en la etapa postcosecha. Junto a ellos retribuir al personal de biblioteca que con su valioso apoyo pudimos dar por finalizada esta 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. <u>COMPETENCIA</u>	2
2.2. <u>SIEMBRA</u>	3
2.2.1. <u>Fecha de siembra</u>	3
2.2.2. <u>Población de plantas</u>	4
2.2.3. <u>Distancia entre hileras</u>	5
2.2.4. <u>Tipos de sembradoras</u>	6
2.2.5. <u>Velocidad de siembra</u>	6
2.3. <u>UNIFORMIDAD</u>	7
2.3.1. <u>Métodos de estudio de la uniformidad</u>	7
2.4. <u>HIPÓTESIS</u>	10
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	11
3.1. <u>LOCALIZACIÓN Y DISEÑO DE MUESTREO</u>	11
3.2. <u>ETAPA DE CAMPO</u>	11
3.3. <u>ETAPA DE LABORATORIO</u>	13
3.4. <u>DETERMINACIONES</u>	13
3.5. <u>ANÁLISIS DE INFORMACIÓN</u>	13
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	15
4.1. <u>CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA ZAFRA 17/18</u>	15
4.1.1. <u>Precipitaciones y temperatura</u>	15
4.1.2. <u>Radiación</u>	16
4.2. <u>EFFECTO DE DIFERENTES VARIABLES SOBRE EL RENDIMIENTO POR UNIDAD DE SUPERFICIE</u>	18
4.2.1. <u>Respuesta a tipo de suelo</u>	18
4.2.2. <u>Componentes numéricos del rendimiento</u>	19
4.2.3. <u>Respuesta a la población</u>	21
4.2.4. <u>Efecto del área del polígono sobre el rendimiento</u>	24

4.2.5. <u>Efecto de la dispersión de plantas sobre rendimiento</u>	24
4.2.6. <u>Efecto de las variables sobre el rendimiento por planta</u>	26
5. <u>CONCLUSIONES</u>	28
6. <u>RESUMEN</u>	29
7. <u>SUMMARY</u>	30
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	31

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Resumen de manejo de chacras.....	11
Figura No.	
1. Ubicación de predio y sitios muestrados.....	10
2. Croquis de cada zona de muestreo.....	11
3. Temperatura y precipitación media mensual periodo 17/18.....	15
4. Radiación media mensual de la serie 90/09 en relación a la zafra estudiada.....	16
5. Porcentaje de agua disponible en suelos de Uruguay	16
6. Rendimiento medio en cada lote	17
7. Rendimiento medio según tipos de suelo.....	17
8. Relación entre rendimiento y número de vainas por unidad de superficie según suelo.....	18
9. Sitios muestreados sobre imagen NDVI.....	19
10. Relación entre rendimiento y porcentaje de implantación.....	20
11. Relación rendimiento y población.....	20
12. Relación entre rendimiento relativo y población.....	20
13. Coeficiente de variación área polígonos por población.....	21
14. Rendimiento en función de área promedio de polígono para cada planta....	22
15. Rendimiento en función de dispersión de plantas según índice de Morisita.....	22
16. CV área polígonos en función de dispersión de plantas según índice de Morisita.....	23
17. Rendimiento por planta en función de área promedio de polígono para cada una.....	24

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de soja *Glycine max* (L.) perteneciente a la familia Fabaceae, se caracteriza por tener una semilla con elevados contenidos de aceite y proteínas, componiendo 20 % y 40 % del peso seco respectivamente. También sus proteínas tienen un buen balance de aminoácidos esenciales como lisina y leucina. Dado estas características, el grano de soja y sus subproductos como el aceite y la harina de soja son ampliamente utilizados en el mundo para la alimentación, tanto humana como animal.

Según el USDA. NASS (2018) en 2016/2017 en el mundo se sembraron un total de 33,7 millones de hectáreas. Con una producción de 349 millones de toneladas según lo indicado en el Consejo Internacional de Cereales (IGC). Según las mismas fuentes, la estimación para el 2017/2018 será una producción de 338 millones de toneladas sobre 36,4 millones de hectáreas sembradas. Los principales productores del cultivo son Estados Unidos, Brasil y Argentina, produciendo más del 80 % del grano a nivel mundial. El principal consumidor del mismo es China.

En Uruguay, si bien la mayor producción se ubica concentrada en el litoral Sur-Oeste, en los últimos años se ubicó como el cultivo más rentable económicamente y por lo tanto el principal en el rubro agrícola del país. El área sembrada para el 2016/2017 fue de 1,09 millones de hectáreas con una producción de 3,2 millones de toneladas. El promedio para el año fue de 2943 kilogramos por hectárea (MGAP. DIEA, 2018).

Se cree que una característica fundamental para una buena implantación y posterior desarrollo y desempeño de los cultivos es una buena distribución de plantas. Permitiendo así, que cada planta pueda desarrollar su potencial debido a una menor competencia por recursos, lo que permitiría concretar un mayor rendimiento por unidad de superficie a fin de ciclo. Es decir, que un momento clave sería la siembra, al asignar una población deseada y una determinada uniformidad dependiendo de la maquinaria utilizada y así estar condicionando el área y competencia que tendrán las plantas a medida que se desarrollen.

La presente investigación, se realiza con el objetivo de evaluar el comportamiento del cultivo de soja, en relación a la uniformidad de la distribución de plantas sobre el rendimiento final, a nivel de predios comerciales. El trabajo se realizó en chacras en el departamento de Soriano, en la zafra 2017-18.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. COMPETENCIA

La competencia se define como la interacción negativa que genera que dos individuos que comparten el mismo ambiente se vean desfavorecidos. Esto tiene efectos negativos sobre la supervivencia, crecimiento y rendimiento de las plantas del cultivo. El comportamiento productivo de plantas individuales en una comunidad depende del nivel de competencia por los recursos con las plantas vecinas (Uriarte et al., citados por Yang et al., 2014). La interferencia que se da entre diferentes especies es conocida como competencia interespecífica, mientras que aquella que se da entre individuos de la misma especie se la conoce como competencia intraespecífica. La cual es la competencia que se toma en cuenta en el presente estudio.

La competencia en sistemas agrícolas es considerada el proceso a través del cual las plantas comparten recursos provistos en forma insuficiente para satisfacer su demanda combinada (Satorre, 2003a). Durante el crecimiento de un cultivo, las plantas no solo interactúan o compiten por la captura de recursos del suelo (agua, nutrientes), sino que también censan y responden a señales del ambiente, que son modificadas por la densidad de plantas y su arreglo espacial. Cuantitativamente el efecto de este tipo de interacciones es menor al causado por la competencia, pero existen resultados experimentales que demuestran que pueden causar distorsiones en la morfología y la arquitectura de la planta, por ejemplo, la calidad de la luz medida como relación rojo/rojo lejano (R/RL), que puede ser afectada por la presencia de plantas vecinas muy cercanas (Satorre, 2003a).

La estructura del cultivo de soja 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).

A diferencia del cultivo de maíz, el cultivo de soja tiene la capacidad de 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). Andrade (1995), observó que la estabilidad del rendimiento frente a cambios en la densidad de plantas depende de la capacidad de los individuos para expresar los mecanismos de compensación cuando el número de plantas m^{-2} es bajo, y para producir

granos cuando en situaciones de recursos limitados por planta. Moore (1991), Wells (1991), 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.

2.2. SIEMBRA

La siembra es uno de los factores claves que influyen en el éxito de cualquier establecimiento y productividad de un cultivo (Cedrick et al., 2016). 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, 1998). El objetivo es asegurar la obtención de coberturas vegetales adecuadas previo a los momentos críticos para la determinación del rendimiento (Andrade y Sadras, 2000).

2.2.1. Fecha de siembra

La elección de la fecha de siembra es una de las prácticas agronómicas de mayor importancia en la determinación de los rendimientos de los cultivos ya que determina el ambiente que explorará, lo cual repercute en la duración del ciclo y en la capacidad de interceptar radiación solar, determinando consecuentemente la producción de biomasa total y el rendimiento en grano (Otegui y López, 2003)

Es por ello que la elección de la fecha de siembra se debe manejar de forma tal que la ubicación del período crítico se de en condiciones ambientales óptimas para el crecimiento. Para el cultivo de soja el mismo se ubica entre los estadios R4 a R6 (Kantolic et al., 2003). La época de siembra recomendada se extiende desde mediados de octubre hasta fines de noviembre (Mandl, 1994). A partir de este momento, si existen atrasos en la fecha de siembra aumenta la temperatura y se acelera el crecimiento y el desarrollo, acortando etapas y aprovechando menos la radiación solar, llegando a producir y llenar granos en peores condiciones ambientales, afectando el rendimiento final. Las fechas de siembra tardías, también pueden tener muy mala implantación, debido a un menor vigor inicial por temperaturas de suelo elevadas al momento de la siembra. Por lo tanto, no es recomendable a menos que se tenga certeza que va a haber humedad para asegurar una rápida emergencia (Luizzi, 1989).

Las siembras tempranas también pueden acarrear inconvenientes, debido a que sembrar con temperaturas del suelo entre 10 y 15 °C produce una emergencia con demasiada lentitud. Además, la planta se encuentra sometida al ataque de organismos del suelo y no puede competir eficientemente con las malezas si el suelo se encuentra en

esas condiciones (Luizzi, 1989). Según Fassio et al. (2017), cuando en fechas tempranas se siembran cultivares de ciclo más corto (de fotoperiodo crítico mayor), el crecimiento vegetativo se reduce, se anticipa el inicio del período reproductivo y también la finalización del ciclo, obteniendo en consecuencia rendimientos menores.

2.2.2. Población de plantas

La densidad óptima de un cultivo se define como el número mínimo de plantas que permite alcanzar los máximos rendimientos (Andrade y Sadras, 2000). Diversos autores han mencionado a la soja como un cultivo capaz de compensar variaciones en un rango amplio de densidades de siembra sin afectar sus rendimientos (Duncan 1986, Egli 1988, Wells 1991, Vega et al. 2000).

Este factor determinará la capacidad del cultivo de capturar agua, luz y nutrientes. La estructura de las plantas difiere dependiendo de la densidad utilizada y a medida que esta aumenta también aumenta la competencia entre plantas. El número de granos por unidad de superficie es el componente del rendimiento más afectado por la densidad de plantas (Lehman y Lambert 1960, Thomson y Fenton 1979, Tetio-Kagho y Gardner 1988b). En cambio, el peso de granos presenta escasa variación ante cambios en la densidad (Valentinuz et al. 1995, Board y Tan 1995). Estudios en Argentina indican que, la densidad óptima es de 20 pl m⁻² logradas y que densidades de siembra superiores a 30 pl m⁻² no produjeron resultados positivos en rendimiento (Gatti et al., 2012) y que la disminución del rendimiento no es lineal con la reducción del stand de plantas gracias a la capacidad de compensación por la generación de mayor número de granos por planta (Rodríguez et al., 2015). Ante las variaciones de densidad de siembra, la soja tiene mayor estabilidad en rendimiento que maíz explicado por su plasticidad vegetativa y reproductiva (Wells 1991, Carpenter y Board 1997).

El aumento o disminución en la cantidad de plantas por unidad de superficie produce disminuciones o aumentos bastante proporcionales en el número de grano por individuo por lo que el rendimiento mayormente no varía por este factor (Williams et al. 1968, Karlen y Camp 1985, Tetio-Kagho y Gardner 1988).

La densidad también se relaciona con la fecha de siembra, cuando esta se atrasa, se acelera más el desarrollo que el crecimiento vegetativo, por lo que disminuye la biomasa y posiblemente la cobertura de cultivo al inicio del período crítico para la determinación de rendimiento (Board y Hall 1984, Goyne et al. 1989). El uso de densidades altas en soja, especialmente en cultivares de ciclo corto, permite disminuir los efectos negativos de las fechas de siembra tardías sobre el índice de área foliar (IAF) y la cobertura del cultivo. La densidad también es variable según el cultivar utilizado, los cultivares de soja de mayor longitud de ciclo, mayor altura de planta o mayor tendencia al vuelco tienen densidades óptimas menores (Baigorri et al., 1997).

La cantidad de la luz interceptada por el canopeo durante el periodo reproductivo es un factor ambiental determinante en el rendimiento en grano final (Liu et al., 2010). La densidad de siembra, gracias a la gran capacidad de compensación que posee el cultivo de soja a través de la ramificación y de aumentos de tasas de crecimiento por plantas (De Bruin y Pedersen, 2008) es una de las últimas variables de manejo en importancia que afectan el rendimiento del cultivo de soja (Baigorri et al., 1997). La soja tiene una alta capacidad de compensación para producir granos en situaciones de limitados recursos por planta. En bajas densidades, aumenta significativamente el número de granos potenciales y disminuye el aborto de flores (Valentinuz, 1996). Estudios afirman que se pueden lograr rendimientos máximos con poblaciones menores a 25 plantas m^{-2} (Grove y Chad, 2005). Según Mamanivilte (2013), variaciones en la densidad de entre 9 a 18 plantas/metro lineal en soja, produjeron modificaciones en el rendimiento en promedio de 10%, con extremos de 40%.

2.2.3. Distancia entre hileras

Según Egli (1988), existen dos conceptos generales que se utilizan para explicar la relación entre la distancia entre surcos, la densidad de plantas y el rendimiento. En primer lugar, el rendimiento máximo solo puede obtenerse si la comunidad de plantas produce suficiente área foliar para proporcionar la máxima intercepción de la radiación durante la etapa reproductiva del crecimiento. En segundo lugar, distancias equidistantes entre plantas maximizan rendimientos ya que minimizan la competencia entre plantas. Ajustar la distancia entre hileras de un cultivo, como en el caso de la soja, tiene importancia para lograr la máxima eficiencia en el uso de la radiación solar incidente (Shibles y Weber 1965, Bodrero et al. 1989, Board et al. 1996b, Martignone et al. 2011) fundamentalmente en siembras de segunda o siembras tardías. Por lo que un espaciamiento que permita una distribución más equidistante de las plantas, produce un cierre más temprano del canopeo, lo que asegura una adecuada cobertura del suelo durante períodos críticos de determinación del rendimiento. (Shibles y Weber, 1966). Otro aspecto importante, es que disminuye la competencia intraespecífica por luz, agua, y nutrientes durante las primeras etapas del cultivo (Andrade y Sadras, 2000).

Sin embargo, la respuesta del rendimiento en grano de soja al espaciamiento entre plantas es muy variable. En ensayos realizados con soja libre de malezas, variando el espaciamiento entre filas, algunos autores observaron diferencias en el rendimiento (Boerma y Ashley 1982, Ethredge Jr et al. 1989) mientras que otros no encontraron un efecto significativo de los distintos espaciamientos sobre los rendimientos en soja (Bodrero et al. 1981, Wells 1993).

Belloso (2003) demostró que entre 52 cm y 70 cm a menor grupo de madurez y a fecha de siembra más temprana, mayor es la diferencia de rendimiento a favor de la menor distancia entre surcos. Por lo tanto, si se atrasa o adelanta la fecha de siembra o se utilizan grupos de madurez cortos, recomienda reducir la distancia entre surcos.

2.2.4. Tipos de sembradoras

Existen diferentes tipos de sembradoras utilizadas, con las cuales se obtienen resultados distintos debido a que según la maquinaria es lo que se puede regular. Para cultivos de soja se utilizan sembradoras de precisión o con sistemas de distribución a granel (chorrillo). Las primeras consisten en depositar sobre cada línea de siembra una cantidad de semilla intermitente y de manera individual, separadas entre sí a una distancia constante. Con este tipo de maquinaria se controla profundidad de siembra, distancia entre hileras y entre plantas. Con las sembradoras a chorrillo se deposita de forma continua una determinada cantidad de grano, pudiéndose controlar la profundidad de siembra y la distancia entre hileras, pero no la distancia entre plantas. Esto determina que, se pueden encontrar espacios sin plantas o con exceso de plantas en la línea de siembra. Estudios realizados por Alfaro (2014) en campos de Treinta y Tres, donde se midió (entre otras cosas) el rendimiento de soja utilizando sembradoras neumáticas y a chorrillo, no se encontró diferencias para esta variable entre las maquinas estudiadas. Sin embargo, según Soza y Agnes (2011), la dosificación neumática en coincidencia con una conducción recta y de poca altura de caída presentó un mejor comportamiento, evaluado a través del índice de calidad, donde surge una sustancial diferencia en la disminución de las duplicaciones y en menor medida de fallos respecto al sistema de dosificación a chorrillo y tubo conductor cilíndrico de altura. Efecto que también se evidencio en una mayor implantación y más rápida emergencia del cultivo.

2.2.5. Velocidad de siembra

La combinación de escasa profundidad de siembra y elevada velocidad favorecerían un incremento en la desuniformidad de siembra. El efecto de la desuniformidad de plantas sobre el rendimiento del cultivo de maíz está asociado a la disponibilidad de recursos por planta (Vega y Andrade, 2002). Estudios realizados en EEA INTA Manfredi en maíz afirman que la velocidad de siembra, evidencio efectos sobre la distribución de las plantas, sugiriendo los resultados que la velocidad de siembra de maíz no debiera superar los 6 o 7 km/h. Comprobando así sus hipótesis de que a menor velocidad (4 y 6 km/h) la sembradora logra un mejor copiado del terreno por parte de los cuerpos sembradores, mejora las condiciones de implantación y el rendimiento del cultivo. Mientras que a mayor velocidad (9 km/h) el cuerpo de la sembradora tiene mayores vibraciones y produce mayores saltos y aumentaría la desuniformidad de copiado del terreno, produciéndose disminuciones potenciales en el rendimiento del cultivo (Bragachini et al., 2012).

En otro trabajo llevado a cabo por Reynaldo et al. (2016), utilizando una sembradora a chorrillo y evaluando seis velocidades de avance (2, 4, 6, 8, 10 y 12 km h⁻¹) 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⁻¹.

2.3. UNIFORMIDAD

Uniformidad es definida como la variabilidad de la distancia entre plantas en cultivos sembrados en hileras (Satorre et al., 2003b). Según Lopez Pereira et al. (1999), la uniformidad del cultivo impulsa la explotación óptima de los recursos del ambiente, evitando una excesiva competencia entre algunos individuos muy próximos y la generación de espacios sin plantas en los que los recursos no son aprovechados. Ante la utilización de densidades de siembra que generen situaciones de elevada competencia, la uniformidad de distribución es una variable significativa en la explicación de los rendimientos individuales de las plantas de girasol (Tesouro et al., 2009). El arreglo espacial puede modificar las relaciones competitivas entre las plantas del cultivo. Cuando esto ocurre, la competencia tiende a aumentar cuando la distancia entre plantas dentro de la fila se aproxima (Spitters y Van der Bergh, 1982).

Estudios en maíz y remolacha azucarera, mostraron que distribuciones espaciales irregulares (“agrupamientos”) podían restringir el rendimiento por no tener disponible de manera óptima para todas las plantas los nutrientes y el agua, por comenzar una competencia intraespecífica muy temprana en el desarrollo del cultivo y por una limitada capacidad de suprimir malezas por la estructura espacial del cultivo (Griepentrog et al., 2009). Ese mismo estudio, concluyó que en si bien los efectos de la uniformidad varían según especie, genotipos y condiciones ambientales, en general, se puede esperar que distribuciones de plantas más uniformes resulten en un mejor rendimiento en planta del cultivo. Estudios realizados por Sangoi et al. (2012) en el estado de Santa Catarina, Brasil, de dos años en cultivo de maíz, concluyeron que las reducciones de rendimiento en grano por irregularidades en la distribución espacial de plantas fueron ocasionadas por menor número de granos producidos por metro cuadrado. Existen otros estudios que afirman que el rendimiento en grano de cultivos de trigo, maíz y sorgo pueden verse afectados negativamente por distribuciones desuniformes de las plantas (Larson y Vanderlip, Olsen et al., Tokatlidis y Koutroubas, citados por Yang et al., 2014).

Para el cultivo de soja, Moore (1991) demostró que no hay interacción entre el espaciado de la planta y la densidad de la planta en el rendimiento, lo que indica que la densidad óptima no depende de la separación de las plantas. Los resultados de este estudio indicaron que, aunque los rendimientos aumentaron ligeramente en buenas condiciones, la soja respondió a la densidad de la planta de la misma manera, ya sea con espaciado equidistante o aleatorio. Ferraris et al. (2003) indicaron que, ante buenas condiciones ambientales, reducciones pronunciadas en densidad causaron mermas de 31 y 39% en los rendimientos para distribuciones uniformes y desuniformes

respectivamente. Por el contrario, tanto Doldan y Ferrari (2017) como Ritorni y Rodríguez (2019) concluyeron, en estudios realizados en años 2016 y 2017 respectivamente, que no existió respuesta al rendimiento en relación a la uniformidad de distribución de plantas.

2.3.1. Métodos de estudio de la uniformidad

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). Según Griepentrog et al. (2011), la suposición implícita es que un espaciamiento uniforme dentro la hilera va a resultar en un patrón espacial bidimensional más uniforme. No obstante, hay varios métodos para medir uniformidad en los cultivos. Dentro de los métodos de análisis de estos patrones bidimensionales, se destacan los mosaicos de polígonos de Thiessen, que delimitan la zona en el plano más cercano a cada punto que a cualquier otro punto, para poder visualizar y cuantificar las áreas individuales disponibles para cada planta. Este método será el utilizado en el presente trabajo.

Otro método, mencionado por Griepentrog et al. (2009) como bien conocido y accesible para el estudio de la distribución espacial de las plantas, es el del índice de dispersión de Morisita. El mismo puede aplicarse a datos referenciados en un eje de coordenadas x/y. El método está basado en el conteo de cuadrados aleatorios o regulares, y se relaciona estrechamente con la relación varianza-media, así como con otros índices de dispersión. El índice de Morisita se puede calcular para diferentes tamaños de cuadrados, por lo que el método se puede llevar a cabo a diferentes escalas.

Algunos estudios llevados a cabo por Hühn (1999, 2000a, 2000b, 2003) tuvieron el objetivo de cuantificar la depresión del rendimiento (Y) causada por patrones de distribución de plantas no uniformes, utilizando para dicha cuantificación dos variables, que son el rendimiento por planta (S) y el área disponible para cada individuo (A), mediante la siguiente relación: $Y=S/A$. El área disponible para cada planta se estimó por medio de polígonos de Thiessen, que 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). 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:

$$Y @ \frac{1}{k_1+k_2\bar{A}} - \frac{k_1+k_2}{(k_1+k_2\bar{A})^3\bar{A}} S_A^2$$

La ecuación expresa que el rendimiento (Y) es dependiente del área media de los polígonos (\bar{A}) y de la varianza de las áreas individuales por cada planta (σ_A^2), mientras que k_1 y k_2 son constantes determinadas experimentalmente. El rendimiento entonces depende la interacción aditiva de dos términos, el primero dependiente del área media de los polígonos y el segundo dependiente del área media y afectado por la varianza del área individual. Este segundo término es proporcional a la varianza, cuando esta tiende a 0, el término tiende a 0, y puede interpretarse como el efecto de la variabilidad del área individual por planta sobre el rendimiento. Este se reduce ante incrementos en la variabilidad de \bar{A} , ante menor variabilidad, lo que es lo mismo que decir mayor uniformidad, el rendimiento aumenta y tiende al valor del primer término de la ecuación. Aumentos en la uniformidad espacial se traducen en aumentos de rendimiento, que se explican por la menor interferencia entre los individuos. Se sugiere también que el patrón de distribución que genera la menor varianza de los polígonos de Thiessen es el representado por hexágonos equiláteros.

Griepentrog et al. (2009, 2011) incluyen otros conceptos además del área del polígono. Según estos trabajos, la forma de los mismos, y la posición de la planta (excentricidad) también tendrían efecto. Fue objeto de estos trabajos la corrección por estos factores, ya que la utilización de recursos puede ser limitada cuando los polígonos son demasiado alargados y cuando la posición de la planta es excéntrica. Esto es común cuando se dan elevados valores de rectangularidad y coeficiente de variación. El coeficiente de variación representa la uniformidad dentro de la hilera. La rectangularidad (q) es la distancia entre hileras, dividida entre la distancia promedio entre plantas dentro de la hilera.

El rendimiento estimado basado solamente en las áreas de los polígonos fue más alto en condiciones de baja rectangularidad y alta uniformidad en la fila (bajo coeficiente de variación - CV). La uniformidad en la fila generalmente tenía un efecto más importante que la rectangularidad. Los rendimientos previstos mayores se consiguen para CV bajos (<0.4) y valores de rectangularidad entre 0.5 y 0.4. La corrección por

forma se vuelve importante a altos valores de q , lo que es razonable ya que antes altos valores, y aunque la planta tenga alta plasticidad, el área disponible en un polígono muy alargado solo puede ser utilizada con un costo adicional para la planta (Griepentrog et al., 2011). La corrección por excentricidad se vuelve importante para altos valores de CV y bajos valores de rectangularidad, debido a que los altos valores de q resultan en patrones de polígonos muy alargados y con alta centralización de las plantas, y que son prácticamente independientes del CV (Griepentrog et al., 2011). Cuando las correcciones son incluidas, los rangos de excentricidad y que producen los rendimientos más altos se estrechan, y el rendimiento cae más bruscamente a medida que el patrón se desvía de la uniformidad (Griepentrog et al., 2011). 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.

2.4. HIPÓTESIS

La principal hipótesis que se plantea, es que la falta de uniformidad en la distribución de plantas en la fila afecta el rendimiento. Existe una relación entre la distribución espacial de plantas en el cultivo de soja y el rendimiento en grano.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN Y DISEÑO DE MUESTREO

El trabajo de tesis fue realizado en cultivos comerciales en el momento que los cultivos se encontraban en estado de madurez fisiológica. La localización de los sitios relevados fueron en el departamento de Soriano, a unos 5 km de Villa Soriano (Figura 1). El trabajo fue realizado desde el día 14 al 20 de abril.

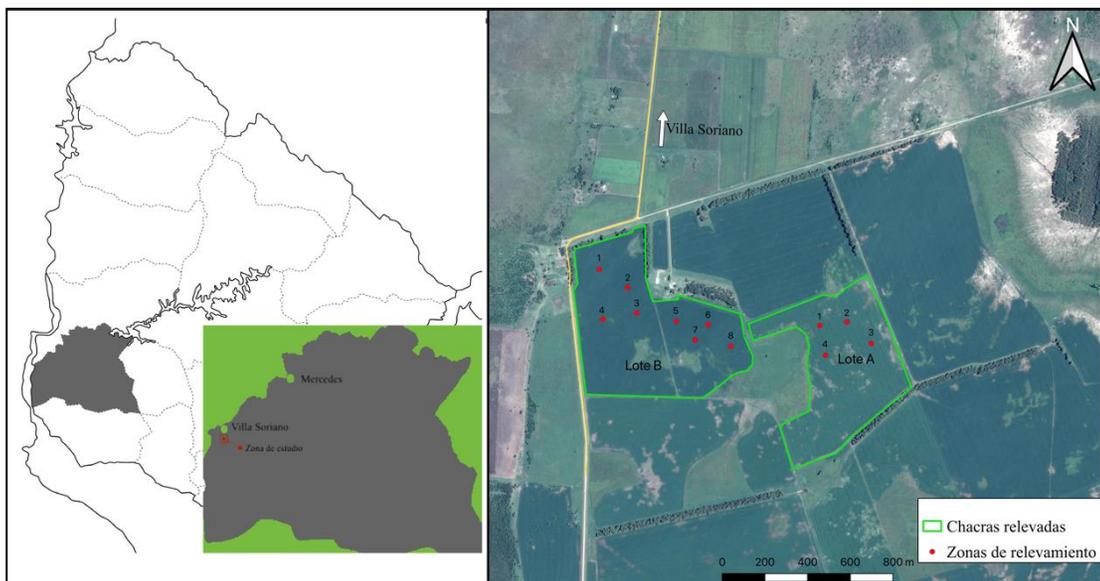


Figura 1. Ubicación de predio y sitios muestreados

3.2. ETAPA DE CAMPO

Se seleccionaron sitios con características similares en cuanto a suelo, ubicación topográfica y que se representara la implantación existente en el campo, evitando bajos o zonas donde las poblaciones de plantas hayan sido afectadas por cuestiones puntuales del lugar. Se evitaron también las chacras donde se hayan utilizado plantadoras de precisión. Se buscó que las diferencias en uniformidad fueran explicadas exclusivamente por el uso de la maquinaria implementada. El número de muestreos realizados fue 12, los cuales fueron distribuidos en 2 chacras diferentes donde se realizaron 4 relevamientos en cada una. El manejo realizado en cada chacras fue similar (Cuadro 1), difiriendo las mismas en sus historias agrícolas.

En cada sitio se midieron 4 metros lineales y se contaron 8 hileras. De izquierda a derecha se midió la distancia entre las hileras acumulada y fue medida la distancia

entre cada planta de todas las hileras. El objetivo de esto fue realizar una planilla donde se ubicaron dos ejes (X e Y) marcando las distancias entre hileras en el eje X y las distancias entre plantas de cada fila en el eje Y, dando así una ubicación espacial a cada planta del sitio muestreado. Se cosecharon las plantas de la fila 4 y 5 de cada sitio. Se contaron sus vainas y se guardó cada planta en una bolsa individual indicando su ubicación espacial en la zona y el sitio en donde se encontraba (ejemplo: fila 4, planta 7, sitio 4) y su número de vainas correspondiente.

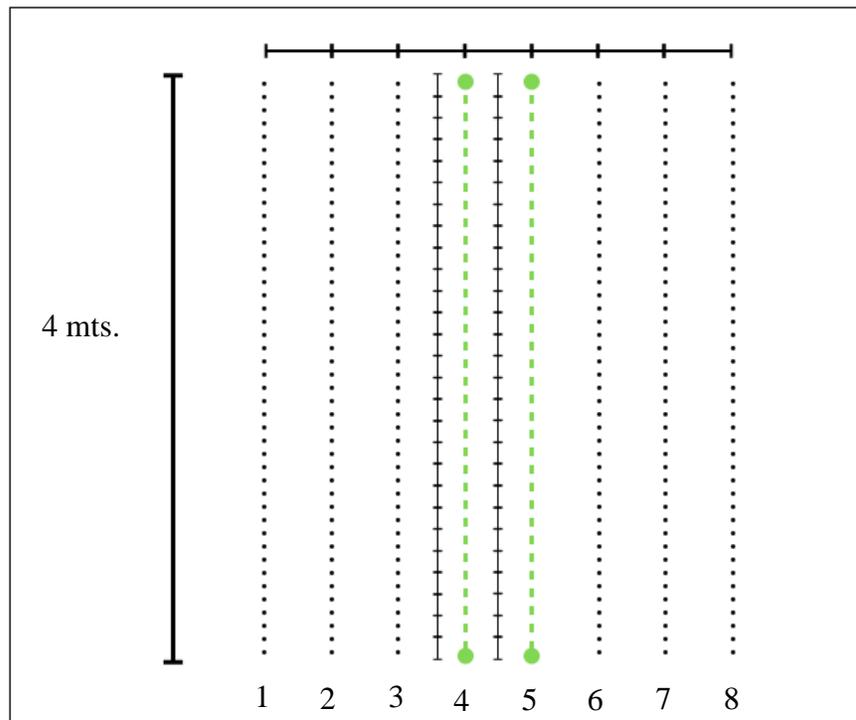


Figura 2. Croquis de cada zona de muestreo

Cuadro 1. Resumen de manejo de chacras

Fecha de siembra	17 - 18 noviembre
Densidad (kg ha⁻¹)	60
Distancia hileras (cm)	38
Cultivo predecesor	Trigo
Variedad	Don Mario 5351
Grupo/ habito de crecimiento	V corto/ indeterminado
Tipo sembradora	Chorrillo

Fertilización fosfatada (kg ha⁻¹)	64 (11-52/52/-0)
Fertilización potásica (kg ha⁻¹)	64 (0-0-60)

3.3. ETAPA DE LABORATORIO

Se trillaron las vainas y se colocaron individualmente en bolsas de papel con su identificación correspondiente a cada planta. Se secaron en estufa durante 24 horas a una temperatura de 40°C llevando a que todos los granos tengan la misma humedad. Posteriormente se pesaron los granos obteniendo el rendimiento de cada planta.

3.4. DETERMINACIONES

Con la planilla creada sobre la ubicación de cada planta se generó una imagen espacial de la zona de relevamiento en el programa Argis® y mediante el método de polígonos de Thiessen, el programa trazo y calculó el área estimada que ocupaba cada planta.

3.5. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Las variables necesarias para el trabajo son el área de cada polígono y el rendimiento por planta. Para la primera variable, se utilizó el método de polígonos de Thiessen para la estimación del área. El mismo es un método de interpolación, basado en la distancia entre dos puntos, siendo en este caso cada planta. Se crea un polígono cuyo perímetro es equidistante a los puntos vecinos por lo que cada uno tiene su área de influencia.

Una de las variables asociadas calculadas fue el rendimiento absoluto por unidad de superficie. Para realizar la cuantificación de la variabilidad existente entre las variables estudiadas, se analizará la asociación entre las variables como análisis de varianza de la regresión.

Se analizó también una imagen de índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) del área en estudio, el cual es un índice de vegetación que permite determinar la vigorosidad de las plantas, basado en el peculiar comportamiento radiométrico de la vegetación y sus valores están en función de la energía absorbida o reflejada por las plantas en diversas partes del espectro electromagnético. La respuesta espectral que tiene la vegetación sana, muestra un claro contraste entre el espectro del visible, especialmente la banda roja y el infrarrojo cercano (García-Cervigón et al., 2014).

Para estudiar el efecto que existió sobre el rendimiento, se utilizó el rendimiento absoluto y el rendimiento relativo. El primero refiere a la cantidad de grano y peso de los mismos por unidad de superficie. En el segundo en cambio, toma como referencia el rendimiento máximo absoluto entre los puntos muestreados y muestra la diferencia existente porcentual con los demás.

La población por unidad de superficie fue estimada tomando la cantidad de plantas existentes en un metro lineal y la distancia entre hileras. Obteniendo la población por metro cuadrado se estimó por hectárea. Para calcular el porcentaje de implantación, se asume un porcentaje de germinación del 95 %. Utilizando la población obtenida y la objetiva se calcula este indicador.

Se realizó un análisis tomando en cuenta el rendimiento de cada planta individual en relación al área que ocupaba cada una. Utilizando tanto el rendimiento absoluto como el rendimiento relativo y obteniendo así una nube de puntos con la totalidad de las plantas.

Para medir la variabilidad existente entre la distancia entre plantas y el área ocupada en promedio por las mismas, se utilizó como indicador el coeficiente de variación del área de los polígonos. El mismo, es una medida de dispersión relativa de un conjunto de datos, calculado como el cociente del desvío estándar y la media. El desvío estándar indica la dispersión de los datos respecto a la media. El coeficiente de variación se expresa en términos porcentuales y permite comparar dispersiones de distribuciones diferentes con medias distintas.

Por último, se calculó el índice de dispersión de Morisita creando cuadrantes de 0,38 metros por 0,38 metros y realizando un conteo de plantas dentro de cada cuadro. Utilizando la ecuación planteada se realizó el índice en cada punto de muestreo.

Con los variables obtenidas se realizaron correlaciones entre ellas buscando cuantificar alguna respuesta numérica. Las correlaciones realizadas fueron rendimiento en función de números de vainas, rendimiento en función de implantación, rendimiento absoluto y relativo en función de la población, coeficiente de variación del área de polígono en función de la población, rendimiento en función del área promedio de polígono, rendimiento y coeficiente de variación de área promedio de polígonos en función del índice de Morisita.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA ZAFRA 17/18

Los datos utilizados para realizar la caracterización climática fueron adquiridos de la estación meteorológica Mercedes, por ser la estación a la cual se pudo acceder a sus datos y que se encontraba en cercanía a la zona donde se realizó la evaluación (35 km).

4.1.1. Precipitaciones y temperatura

Las precipitaciones registradas durante la zafra de verano 17/18 no lograron cubrir los requerimientos de agua de los cultivos de soja. Se registraron 237 mm de lluvia durante el ciclo del cultivo (diciembre-marzo), este valor solo cubre la mitad de los 450 mm que necesita en promedio el cultivo de soja durante todo su ciclo (Della Maggioria et al., 2000). Según la plataforma de predicción de estado fenológico del INIA, el periodo crítico del cultivo se ubicó entre el 14 de febrero y 16 de marzo, en ambos meses se registró para la zafra la mayor diferencia en cuanto a precipitaciones con respecto a la media histórica 90-09. Por lo que fue una zafra donde hubo un marcado descenso de los rendimientos provocado por un déficit hídrico en mayor parte del ciclo del cultivo.

El agua disponible durante el ciclo del cultivo fue mayoritariamente deficitaria (Figura 5), especialmente para las sojas de 2da las cuales fueron donde se realizaron las determinaciones. Durante los meses de febrero y marzo donde se ubicó el periodo crítico de determinación de rendimiento se registraron valores de agua disponible inferiores al 30 % lo que repercutió fuertemente en el rendimiento (Figura 3). En cuanto a la temperatura, las mismas fueron superiores a la media histórica acentuando aún más el déficit hídrico causado al cultivo (Figura 3).

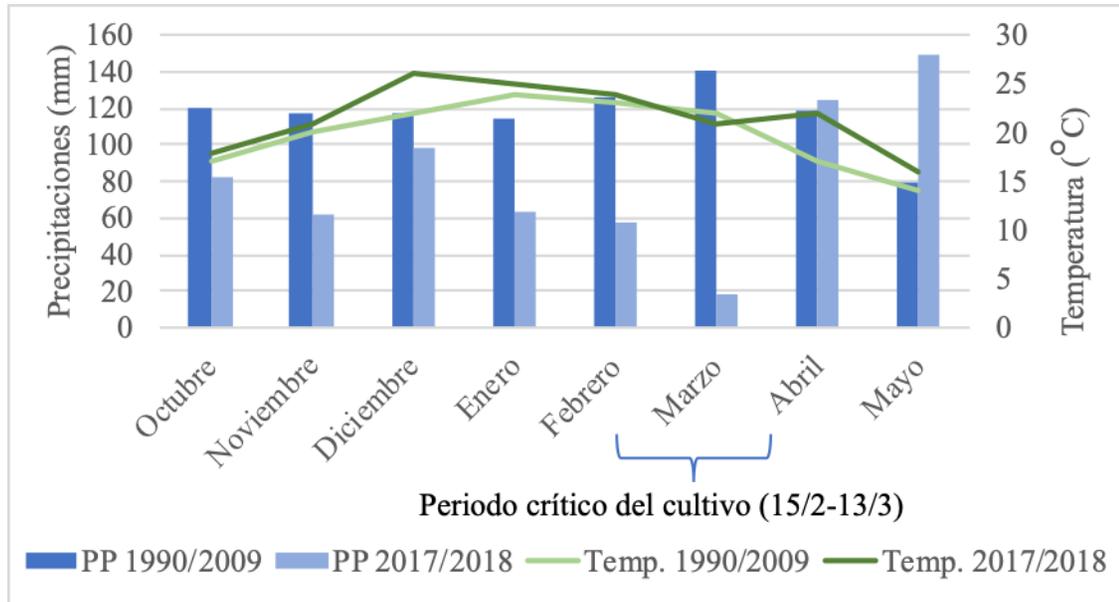


Figura 3. Temperatura y precipitación media mensual para el periodo 2017/2018 en relación al promedio de 20 años estación meteorológica Mercedes

Fuente: INIA. GRAS (2018), datos de precipitación proporcionados por el productor.

4.1.2. Radiación

La radiación presentó un comportamiento similar a la media histórica. Los meses de enero, febrero y marzo son los meses con diferencia marcada en radiación a favor de la zafra en evaluación, que a su vez corresponde con las mayores temperaturas. Esto evidencia la escasez de precipitaciones que determinó un menor nivel de nubosidad durante el ciclo.

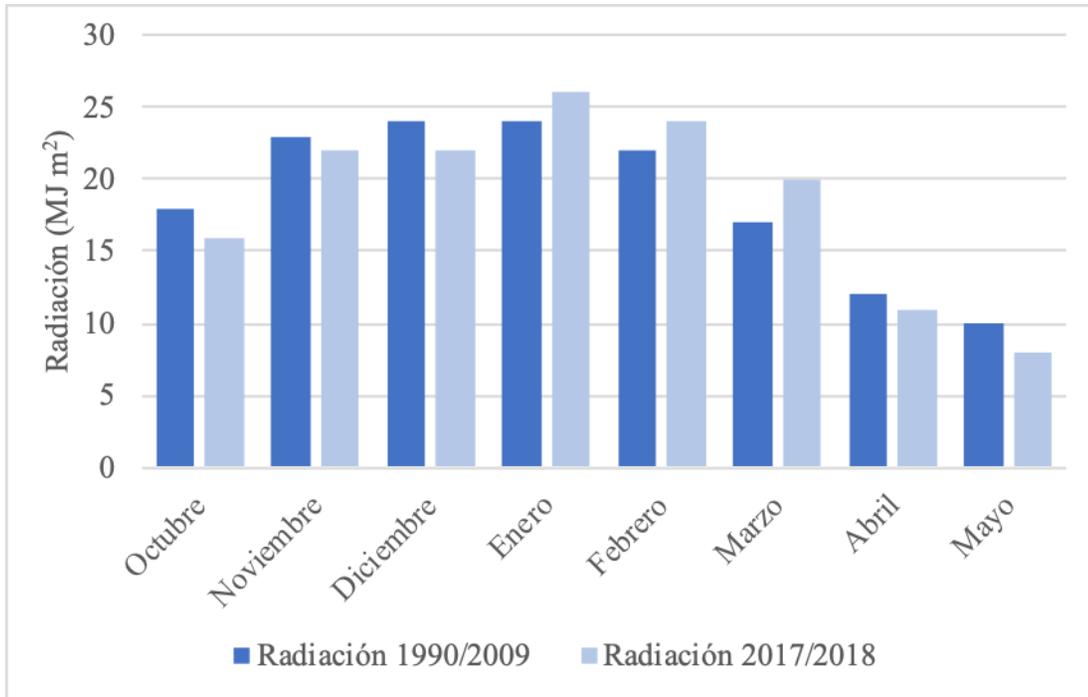


Figura 4. Radiación media mensual de la serie histórica 90/09 en relación a la zafra en estudio 17/18

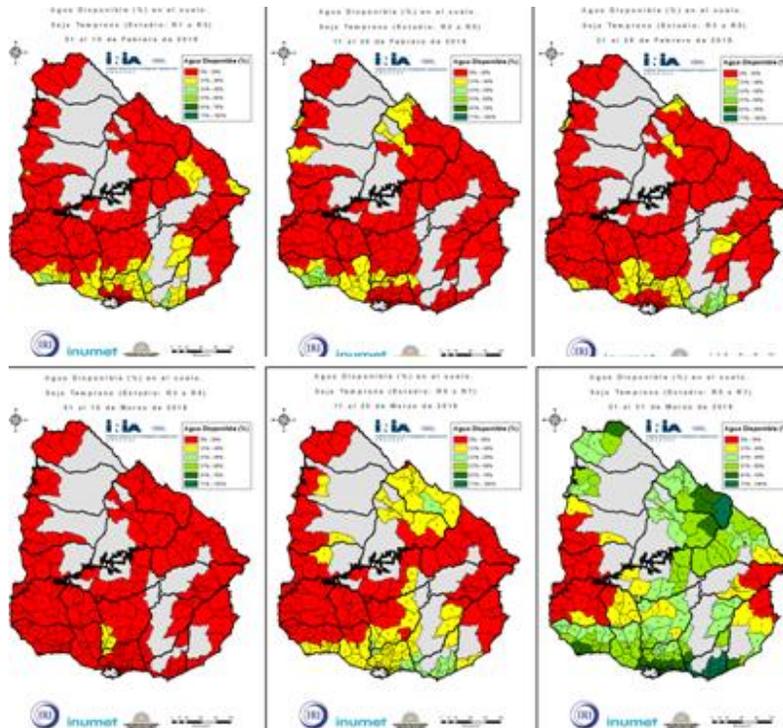


Figura 5. Porcentaje de agua disponible en los suelos de Uruguay para el periodo febrero-marzo 17/18
Fuente: INIA. GRAS (2018).

4.2. EFECTO DE DIFERENTES VARIABLES SOBRE EL RENDIMIENTO POR UNIDAD DE SUPERFICIE

4.2.1. Respuesta a tipo de suelo

No existió entre los lotes diferencias significativas en rendimiento en grano (Figura 6). Los puntos muestreados se encontraban en lugares con grupos de suelos según CONEAT diferentes y se comprobó que los puntos ubicados en los grupos de suelos 3.52 obtuvieron rendimientos superiores en promedio a los ubicados en los grupos de suelos 3.51 (Figura 7). Se realizó un análisis de varianza para observar si las diferencias eran significativas. La respuesta fue positiva ($P < 0,008$), existieron diferencias significativas en el rendimiento por la variable de tipo de suelo (Figura 7). Las principales características de los suelos son, la mayor profundidad del 3.51 sobre el 3.52 (35 cm y 21 cm) y su mayor cantidad de carbono (3,3 y 2,1) y materia orgánica (5,7 y 3,6). Estas características confieren al suelo 3.51 propiedades más propicias para el crecimiento de los cultivos, sin embargo, los resultados demuestran que fue en donde los rendimientos fueron menores. Dado el año extremadamente particular en cuanto a

condiciones climáticas que se dio, se podría concluir que los suelos donde los rendimientos fueron más altos se debieron a que el 3.51 al tener más arena (20,8%) que el 3.52 (4,7%) retiene menos agua y por lo tanto el déficit hídrico fue superior. Considerando que las diferencias encontradas fueron entre tipo de suelo y no entre lotes, a partir de este momento se comienza a realizar los análisis por grupo de suelos CONEAT.

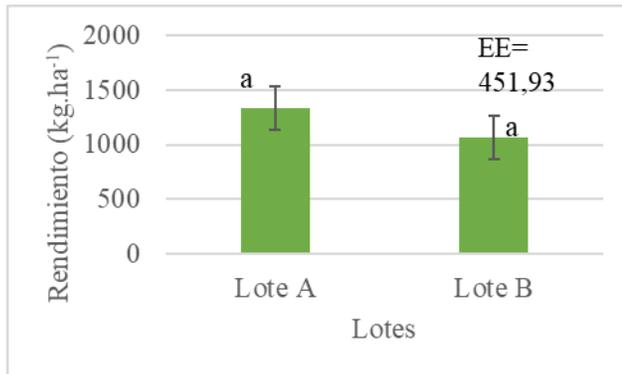


Figura 6. Rendimiento promedio en grano según lote estudiado

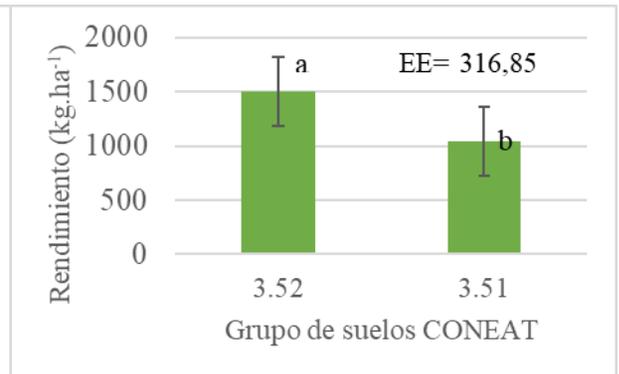


Figura 7. Rendimiento promedio según grupo de tipos de suelo

4.2.2. Componentes numéricos del rendimiento

El rendimiento potencial del cultivo de soja está influenciado principalmente por la producción, fijación y transformación de las estructuras reproductivas en vainas y sus granos (Pires et al., 2000). Se observa una alta correlación (66%) entre rendimiento y el número de vainas (lo que se puede interpretar como mayor número de granos), a mayor número de granos, mayor rendimiento (Figura 8).

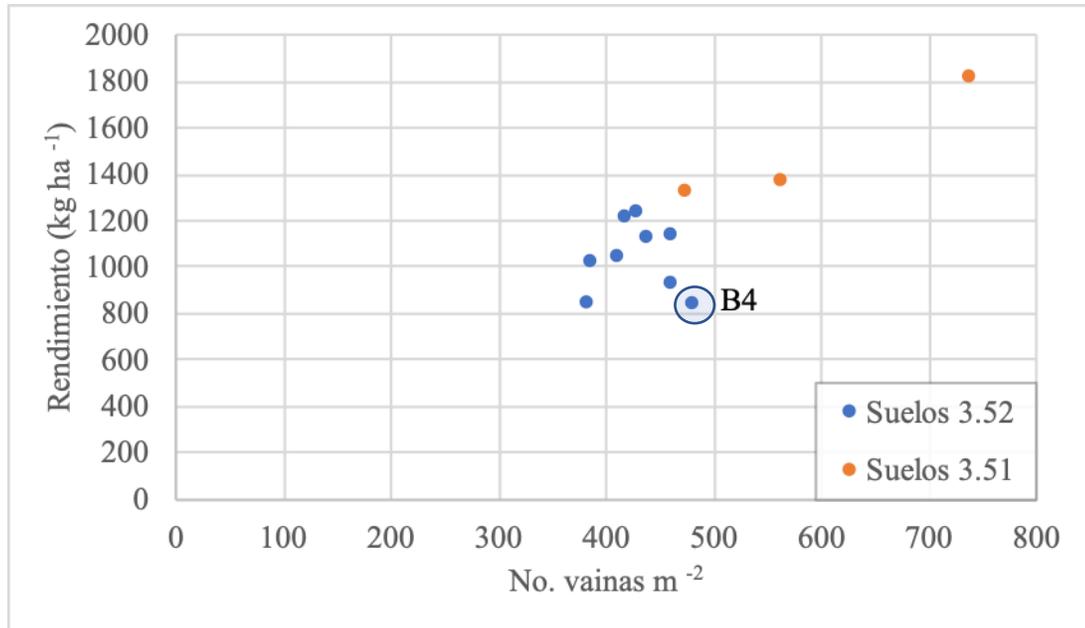


Figura 8. Relación entre rendimiento y número de vainas por unidad de superficie según tipo de suelo

Se obtuvo la imagen con el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Los valores de NDVI van de 0 a 1, donde a mayor valor, vegetación más vigorosa. Como se puede apreciar el sitio con rendimiento más bajo (B4) fue el que obtuvo un valor menor (0,4758) por lo que indica que se encontraba en una zona con plantas severamente afectadas por su ubicación y con crecimientos reducidos. La imagen de NDVI corresponde al 23 de febrero momento en el cual el cultivo estaba en pleno periodo crítico alrededor de R4 (plena fructificación) en la escala fenológica. Se realizó una visita al campo para explicar el bajo valor de NDVI y se observó que el punto se encontraba en una zona de desagüe o más bien una zona marginal de la chacra, donde las condiciones de crecimiento eran limitadas, por menor capacidad de retención de agua por parte del suelo y menor fertilidad (blaqueales).

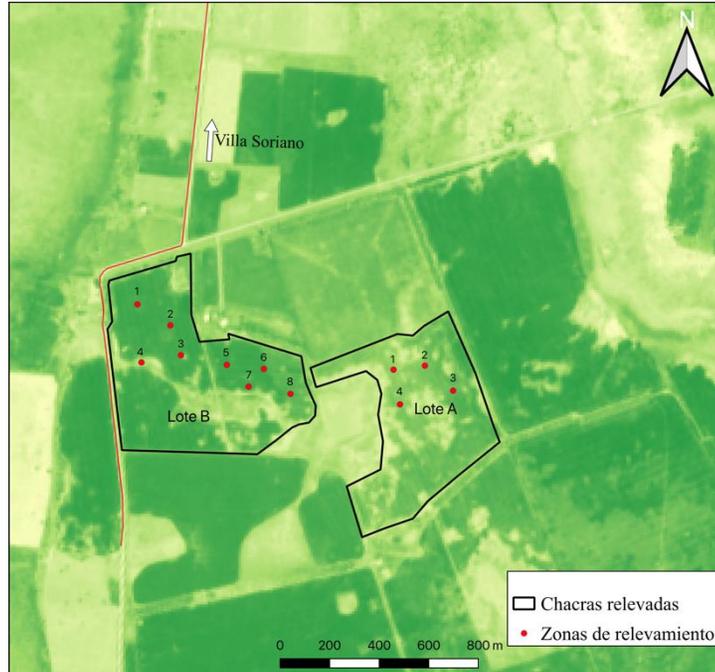


Figura 9. Sitios muestreados sobre imagen de índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

4.2.3. Respuesta a la población

La población objetivo fue de 30 plantas por metro cuadrado en el predio y las logradas fueron ligeramente inferiores, esto se debió tanto a problemas en la siembra como a condiciones ambientales desfavorables para el crecimiento del cultivo, lo que llevó a muerte de plantas. No obstante, no se encontró relación entre el rendimiento y el porcentaje de implantación en cada zona de muestreo (Figura 10).

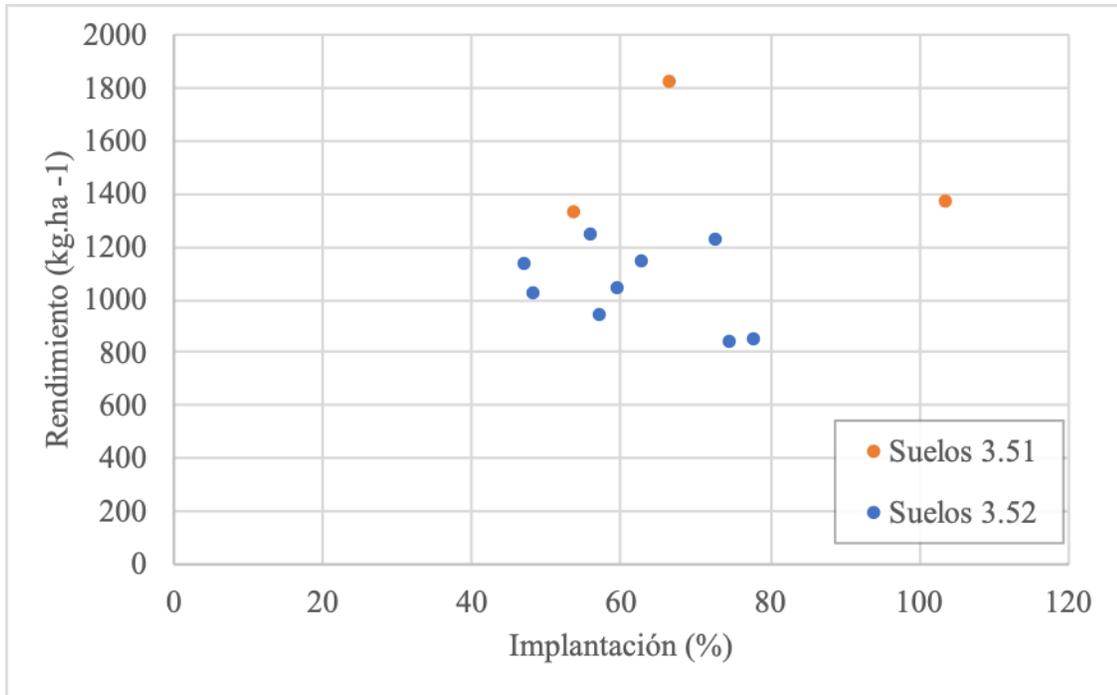


Figura 10. Relación entre rendimiento y porcentaje de implantación

Se puede observar que no existió relación entre el rendimiento y la población en el trabajo (Figura 11). No se observó relación entre el rendimiento relativo con la población (Figura 12). Se puede observar cómo, si bien las diferencias no son muy amplias, las poblaciones menores rinden similar a las más altas dado a la compensación de la soja, la cual se expresó a pesar de la baja disponibilidad hídrica presentada en el periodo. Coincidiendo con lo presentado por Loomis y Connor (1992), Carpenter y Board (1997) quienes afirmaban que el rendimiento por planta aumentaba a medida que la población disminuye dada la capacidad compensatoria de la soja. Existen poblaciones óptimas recomendadas para cada variedad las cuales son calculadas teniendo en cuenta condiciones ambientales normales, por lo tanto, no se puede concluir si la compensación se da en las poblaciones mas altas o si por el contrario, por tratarse de un periodo de extrema sequía las plantas que compensaron fueron las de mayores poblaciones ya que el optimo en esas condiciones se encontraba con menos plantas.

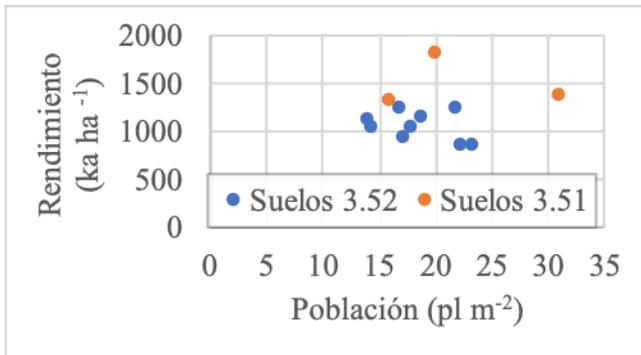


Figura 11. Relación entre rendimiento y población

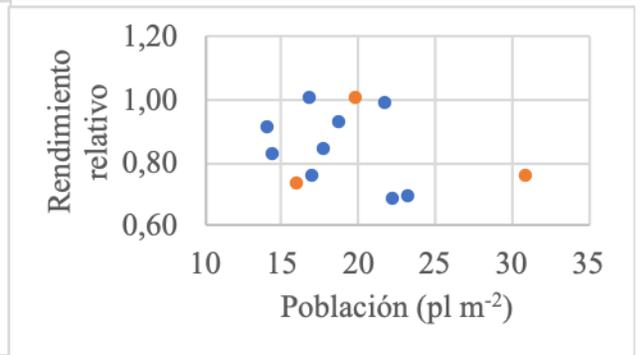


Figura 12. Relación entre rendimiento relativo y población

La variabilidad encontrada en el área de los polígonos no fue explicada por la densidad de población en los suelos 3.52. Teóricamente, a mayor población el coeficiente de variación del área de los polígonos tendería a ser menor por una menor distancia entre plantas y por ende mayor uniformidad.

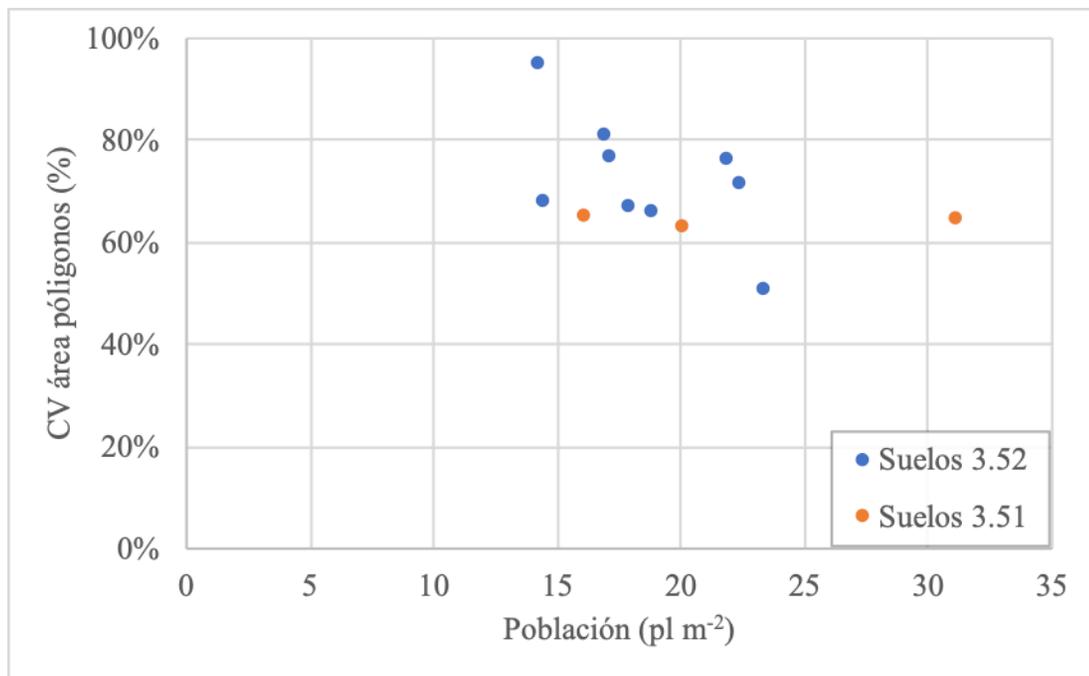


Figura 13. Coeficiente de variación área polígonos por población

4.2.4. Efecto del área del polígono sobre el rendimiento

Según Hühn (2003) el área del polígono representa el área potencialmente disponible para el crecimiento de cada una de las plantas. El valor numérico del polígono simula la disponibilidad de recursos que posee cada planta para crecer. Los resultados en rendimiento no muestran una relación entre el mismo y el área promedio de polígono para cada planta (Figura 14), lo que indica que por hectárea el rendimiento se ve compensado ya que planta individual posee mayor espacio para crecer y además tiene menos competencia por recursos. Considerando que el año estudiado fue un atípico, donde los rendimientos fueron extremadamente afectados por el déficit hídrico, la disminución de la población con el consiguiente aumento de área de polígono para cada planta no demostró ser un factor relevante para el rendimiento.

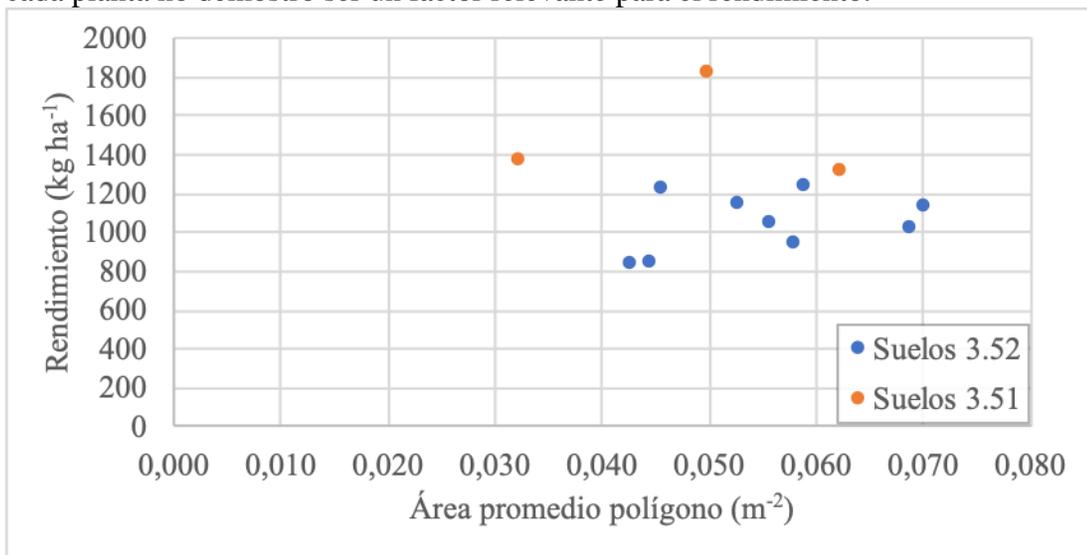


Figura 14. Rendimiento en función de área promedio de polígono para cada planta

4.2.5. Efecto de la dispersión de plantas sobre rendimiento

Por otra parte, se intentó encontrar una relación entre el rendimiento en grano y la dispersión de plantas muestreadas (Figura 15) para la cual se utilizó el índice de dispersión de Morisita. Los resultados demostraron que todos los tratamientos excepto uno (índice de Morisita < 1) se encontraban agregados, es decir dentro de la grilla creada sobre el tratamiento, se encontraban cuadrantes con importante cantidad de plantas agrupadas y otros con pocas o nula cantidad de plantas. Igualmente, no se encontró relación entre las variables. Es decir, la dispersión de las plantas no es determinante del rendimiento.

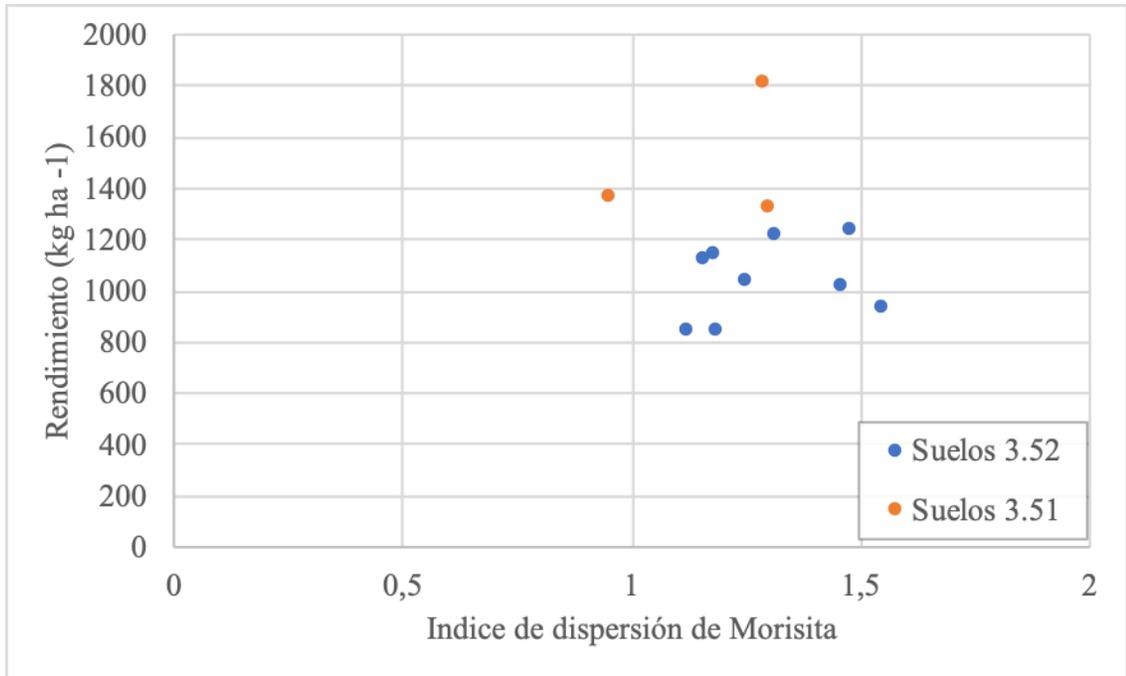


Figura 15. Rendimiento en función de dispersión de plantas según índice de Morisita

Por otra parte, se relacionó el coeficiente de variación del área de los polígonos en función del índice de dispersión de Morisita (Figura 16), donde se encontró una correlación baja pero significativa ($R^2= 0,28$; P- valor: $2E-07$) entre estos parámetros. Esto quiere decir que, a mayor valor del índice de Morisita, el coeficiente de variación del área de los polígonos tendió a aumentar, debido a una mayor agregación de plantas en los cuadrantes. Es decir que el área en la que influye cada planta puede ser muy variable. Si el índice de Morisita fuera menor a 1, el coeficiente tendería a 0 ya que el área promedio que cada planta tendría para desarrollarse sería más uniforme.

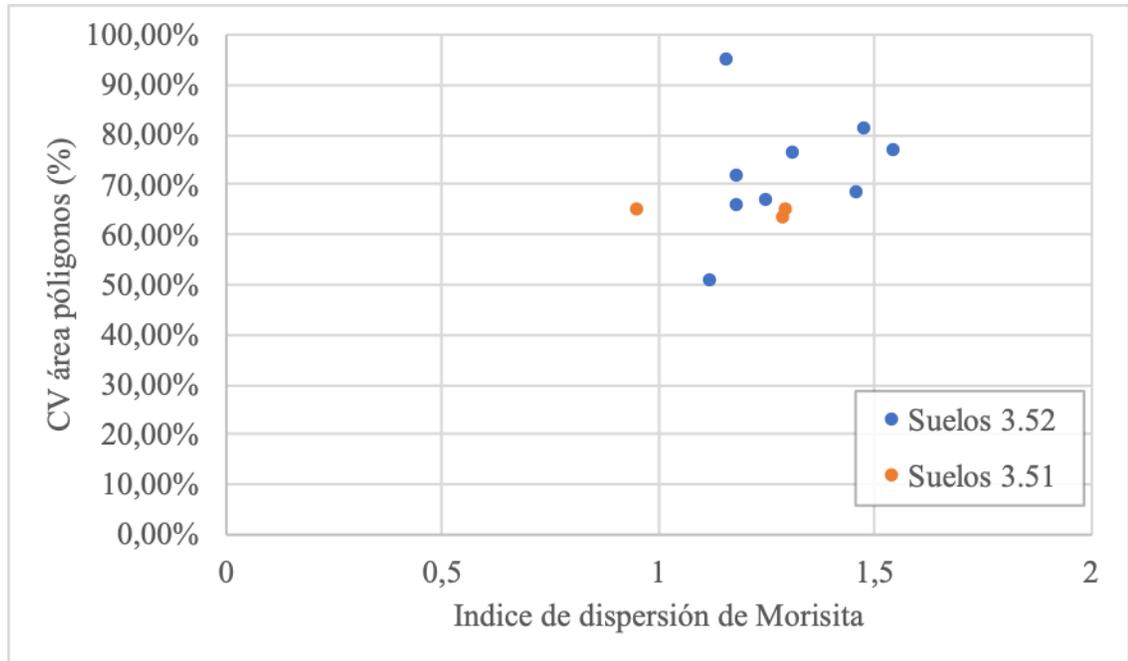


Figura 16. Coeficiente de variación en función de dispersión de plantas según índice de Morisita

4.2.6. Efecto de las variables sobre el rendimiento por planta

Buscando cuantificar el comportamiento productivo de cada planta frente a variaciones en el espacio disponible, se correlaciono el rendimiento por planta en función del área de polígono de cada una, llegando a la conclusión de que no se encontraron relacionadas en el presente trabajo (Figura 17). Analizando esto en conjunto con el efecto año, donde se produjeron severas deficiencias hídricas, los datos encontrados concuerdan con lo observado por Luizzi (1989) cuando afirma que, si sucede un déficit hídrico en etapas tempranas, el crecimiento de la planta se ve muy afectado, resultando en pocas ramificaciones, nudos, ramas y flores. Así mismo, Andrade y Sadras (2000) afirmaron que la capacidad de compensación se ve reducida cuando existen deficiencias hídricas entre R4 y R5, debido a reducciones en el número de semillas por plantas (aborto de flores, de vainas pequeñas, y de semillas en la vaina), lo cual no se pudo corroborar en el trabajo dado que las plantas en muchos casos compensaron, no existiendo respuesta a la población.

Si bien, sería esperable que, a mayor área de polígono por planta mayor el rendimiento de cada una, debido a mayores recursos para su crecimiento y desarrollo, no se observo en el presente trabajo. Es decir, el efecto de la falta de uniformidad de siembra, dentro de los parámetros que se midieron, no fue un factor relevante sobre el rendimiento en grano. Coincidiendo con lo indicado por Ritoni y Rodríguez (2019) que

el cultivo de soja posee gran capacidad de compensación por ramificación de la planta de soja, lo que determinaría que no habría relación entre población y uniformidad.

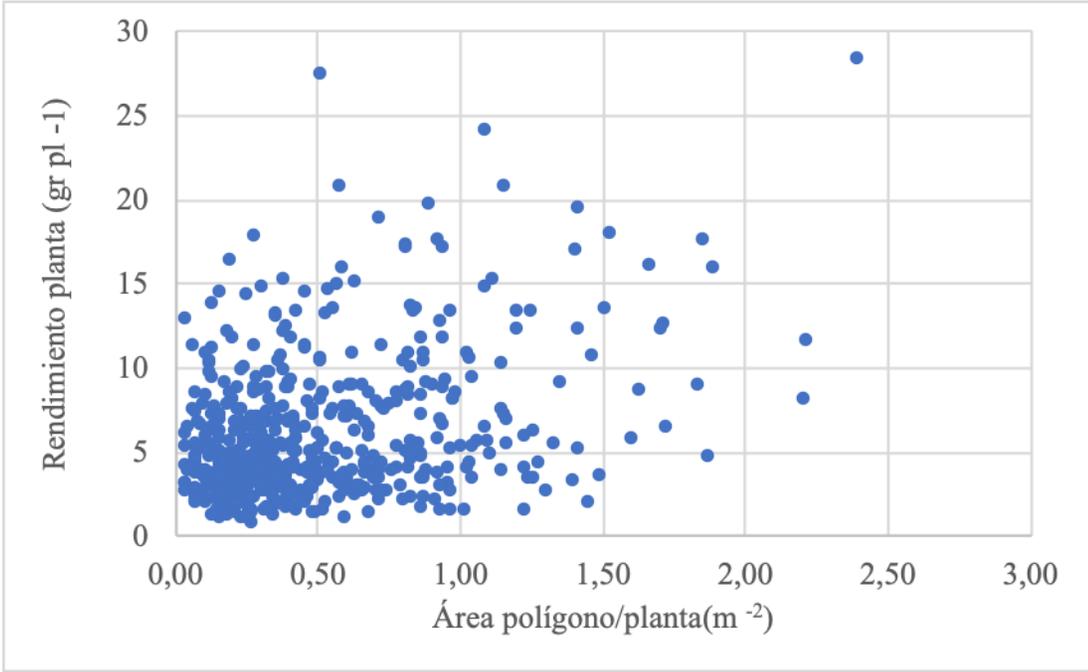


Figura 17. Rendimiento por planta en función de área promedio de polígono para cada una

5. CONCLUSIONES

El componente que presentó mayor relación con el rendimiento fue el número de vainas por unidad de superficie.

Dentro de los rangos de población medidos, que fueron desde 14 hasta 31 plantas m^{-2} , no se encontró relación entre esta variable y el rendimiento en grano.

La uniformidad de distribución de plantas ni el coeficiente de variación del área promedio de los polígonos, fueran factores relevantes en el rendimiento. Tampoco el área ocupada por cada planta mostró tener relación con el rendimiento, sin embargo, sería de interés evaluar otras características de los polígonos.

Con respecto a la dispersión de las plantas, no se encontró relación entre el agregado de las mismas y el rendimiento, esto explicado por el índice de Morisita.

Como conclusión final, al no encontrar respuesta en rendimiento sobre la población, se evidencio la capacidad de compensación del cultivo de soja sobre el rendimiento en grano aún en un año con escasas precipitaciones.

6. RESUMEN

El presente trabajo fue realizado en el verano 2017-2018, con el objetivo de cuantificar el efecto en la falta de uniformidad de plantas del cultivo de soja en el rendimiento final. Con tal objetivo planteado, se seleccionaron chacras de cultivos de soja sembradas con sembradoras a chorrillo, las chacras se encontraban en la localidad de Villa Soriano, aproximadamente a 30 km de la ciudad de Mercedes capital del departamento de Soriano. Se intentó encontrar la relación entre la uniformidad de distribución, la población y el rendimiento. Buscando esta cuantificación se realizaron muestreos aleatorios en dos chacras con diferente historia agronómica, el total de los puntos muestreados fueron 12. En cada uno se midieron las distancias entre filas de 8 hileras y también las distancias entre plantas de las filas 4 y 5, las cuales se cosecharon a mano y posteriormente se calculó su rendimiento a nivel de laboratorio. Posteriormente, mediante la creación de los polígonos de Thiessen se pudo estimar el área ocupada por cada planta, permitiendo crear modelos que relacionen dicha área con el rendimiento por planta, así como otras variables. Como generalidad, se pudo extraer que el área ocupada por cada planta para crecer no es una variable que tenga relación con el rendimiento. El agregado de plantas y la dispersión de las mismas, explicado por el índice de Morisita, tampoco presentó relación. Se encontró que el número de vainas fue el componente que presentó mayor relación con el rendimiento en tres de los sitios muestreados. Con respecto al comportamiento individual, se observó que los rendimientos se construyen de forma independiente al área de los polígonos debido a que el proceso de ramificación que presenta la soja permite la nivelación de los rindes.

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

7. SUMMARY

This work was carried out in the summer 2017-2018, with the objective of quantifying the effect on the lack of uniformity of soybean plants in the final yield. With this objective in mind, soybean fields were planted with sowing sowers, the farms were located in the town of Villa Soriano, approximately 30 km from the city of Mercedes, capital of the department of Soriano. An attempt was made to find the relationship between distribution uniformity, population and performance. Looking for this quantification, random sampling was carried out in two farms with different agronomic history, the total of the sampled points were 12. In each one, the distances between rows of 8 lines and also the distances between plants of rows 4 and 5 were measured. which were harvested by hand and subsequently their performance was calculated at the laboratory level. Subsequently, by creating the Thiessen polygons, the area occupied by each plant could be estimated, allowing the creation of models that relate this area to the yield per plant, as well as other variables. As a generality, it was possible to extract that the area occupied by each plant to grow is not a variable that is related to the yield. The aggregate of plants and their dispersion, explained by the Morisita index, also showed no relationship. It was found that the number of pods was the component that presented the highest relationship with performance in three of the sampled sites. With respect to individual behavior, it was observed that yields are constructed independently of the area of the polygons because the branching process that soy presents allows the leveling of yields.

Keywords: Soybean; Performance; Uniformity; Spatial arrangement.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Alfaro, M. 2014. Evaluación de sembradoras para la siembra directa en soja. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 35 p.
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 10 mar. 2019. Disponible en http://agroconsultasonline.com.ar/documento.html?op=v&documento_id=628.
3. Andrade, F. H. 1995. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown. Crops Research. 39:1-12.
4. _____; Vega, C.; Uhart, S.; Cirilo, A.; Cantarero, M.; Valentinuz, O. 1999. Kernel number determination in maize. Crop Science. 39:453-459.
5. _____; Sadras, V. O. 2000. Efectos de la sequía sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos. 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. pp. 207-232.
6. Baigorri, H. E.; Robinet, H.; Tomasso, J. C.; Suárez, J. C. eds. 1997. El cultivo de la soja en Argentina. Elección de cultivares. (en línea). Córdoba, INTA. pp. 106-122. Consultado 19 mar. 2019 Disponible en <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=LIBROS.xis&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=005150>.
7. Belloso, C. 2003. Criterios de elección de cultivares de soja y su fecha de siembra y su distancia entre surcos en distintos ambientes. In: Satorre, E. ed. El libro de la soja. Buenos Aires, SEMA. pp. 41-43.
8. Board, J. E.; Hall, W. 1984. Premature Flowering in Soybean Yield Reductions at Nonoptimal Planting Dates as Influenced by Temperature and Photoperiod. Agronomy Journal. 76:700-704.
9. _____; Tan, Q. 1995. Assimilatory capacity effects on soybean yield components and pod number. (en línea). Crop Science. 35(3): 846-851. Consultado 10 mar. 2019. Disponible en

10. _____.; Harville, B. G. 1996a. Growth dynamics during the vegetative period affects yield of narrow-row, late planted soybean. *Agronomy Journal*. 88:567-572.
11. _____.; Zhang, W.; Harville, B. G. 1996b. Yield rankings for soybean cultivars grown in narrow and wide rows with late planting dates. *Agronomy Journal*. 88:240-245.
12. Bodrero, M. L.; Macor, L.; Masiero, D. 1981. Influencia del espaciamiento entre surcos y densidad de plantas sobre la producción de soja (*Glycine max* (L) Merr.) sembrada en segunda época. INTA. Oliveros. Informe Técnico no. 27. 10 p.
13. _____.; Darwich, N.; Andrade, F.; Nakayama, F. 1989. Intercepción de radiación fotosintéticamente activa y productividad de soja de segunda sembrada a distintos espaciamientos entre surcos. *In*: Conferencia Mundial de Investigación en Soja (4ª., 1989, Buenos Aires, Argentina). Anales. Buenos Aires, AASOJA. pp. 799-804.
14. Boerma, H. A.; Ashley, D. A. 1982. Irrigation, row spacing and genotype effects on late and ultra.late planted soybeans. *Agronomy Journal*. 14:995-999.
15. Bragachini, M.; Mendez, A.; Scaramuzza, F.; Velez, J.; Villaroel, D .2012. Impacto de la velocidad y la profundidad de siembra sobre uniformidad en la emergencia y distribución de plantas en maíz. (en línea). Córdoba, INTA. 8 p. Consultado 19 mar. 2019. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-impacto_velocidad_y_profundidad_de_siembra_en_ma.pdf.
16. Carpenter, A. C.; Board, J. E. 1997. Branch yield components controlling soybean yield stability across plant populations. *Crop Science*. 37(3): 885-891.
17. 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. 2019. Disponible en

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

18. De Bruin, J. L.; Pedersen, P. 2008. Effect of row spacing and seeding rate on soybean yield. *Agronomy Journal*. 100(3):704-710.
19. Della Maggiora, A. I.; Gardiol, J. M.; Irigoyen, A. I. 2000. Requerimientos hídricos. *In*: Andrade, F. H.; Sadras, V. O. eds. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Buenos Aires, Argentina, INTA Balcarce/UNMP. Facultad de Ciencias Agrarias. pp. 155-171.
20. Doldan, D.; Ferrari, E. 2017. Efecto de la falta de uniformidad de siembra sobre el rendimiento de soja. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 48 p.
21. Duncan, W. G. 1986. Planting patterns and soybean yields. *Crop Science*. 26(3): 449-453.
22. Egli, D. B. 1988. Plant density and soybean yield. *Crop Science*. 28(6):977-981.
23. Ethredge, W. J.; Ashley, D. A.; Woodruff, J. M. 1989. Row spacing and plant population effects on yield components of soybean. *Agronomy Journal*. 81:947-951.
24. Fassio, A.; Pérez, O.; Ibáñez, W.; Ceretta, S.; Rabaza, C.; Vergara, G. 2017. Soja: adaptación de ciclos de madurez a diferentes épocas de siembra bajo condiciones de riego. *Revista INIA*. no. 48:28-33.
25. 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 21 jul. 2019. Disponible en http://econoagro.com/images/stories/pdf/agricultura/cuando_resembrar_sj.pdf.
26. García-Cervigón Díaz, J.; Rodríguez, G.; Del Pilar Gutiérrez Puebla, M. 2014. Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión. (en línea). Madrid, Universidad Complutense. 71 p. Consultado 21 jul. 2019. Disponible en https://eprints.ucm.es/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf.
27. Gatti, B.; San Roman, L. M.; Tuells, A. 2012. Red de ensayos exploratorios de resouestas a cambios en densidades de siembras en soja de primera. (en

línea). Santa Fé, Grupo CREA. 4 p. Consultado 21 jul. 2019. Disponible en <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/ensayos-sobre-densidad-de-siembra-en-soja-t29270.htm>.

28. Goyne, P. J.; Schneiter, A. A. 1988. Temperature and photoperiod interactions with the phenological development of sunflower. *Agronomy Journal*. 80: 777-784.
29. _____; Cleary, K. C.; Creelman, R. A.; Stegmeir, W. D.; Wooding, F. J. 1989. Sunflower genotype response to photoperiod and temperature in field environments. *Agronomy Journal*. 81:826-831.
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. 2019. Disponible en 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 (8th., 2011, Czech Republic). Proceedings. Prague, s.e. pp. 180-190. Consultado 19 mar. 2018. Disponible en http://www.jacobweiner.dk/download/griepentrog_et_al_2011.pdf.*
32. Grove, J.; Chad, L. 2005. Soybean population and yield: KSB Report. (en línea). Lexington, University of Kentucky. 2 p. Consultado 18 ago. 2019. Disponible en http://www.jacobweiner.dk/site/Publications_files/Griepentrog_et_al_2009.pdf.
33. Hühn, M. 1999. Experimental results on the effects of non-regular spatial patterns of plants on yield per area. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 182:89 - 97.
34. _____. 2000a. Non-regular spatial patterns of plants and their effect on several agronomic traits per area. *European Journal of Agronomy*. 12(1):1-12.
35. _____. 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. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 184: 133-136.

36. _____. 2001. Effects of nonregular spatial distribution of plants on yield per Area: a theoretical approach with applications to winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*. 187:241-250.
37. _____. 2003. Estimating yield depression caused by nonuniformity of spatial plant patterns. *Crop Science*. 43 (1):421-425.
38. INIA. GRAS (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Unidad de Agro-clima y Sistema de Información, UY). 2018. Programa de información climática GRAS. (en línea) Montevideo. s.p. Consultado 18 jul. 2018. Disponible en <http://www.inia.uy/investigación-e-innovación/unidades/GRAS/Clima>
39. Kadhem, F. A.; Specht, J. E.; Williams, J. H. 1985. Soybean irrigation serially timed during stages R1 to R6. *Agronomy Journal*. 77:291-304.
40. 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. eds. *Producción de granos: bases funcionales para su manejo*. Buenos Aires, Argentina, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. pp. 10-11.
41. Karlen, D. L.; Camp, C. R. 1985. Row Spacing, Plant Population, and Water Management Effects on Corn in the Atlantic Coastal Plain. *Agronomy Journal*. 77:393-398.
42. Kemp, D.; Auld, B.; Medd, R. 1983. Does optimizing plant arrangements reduce interference or improve the utilization of space? (en línea). *Agricultural Systems*. 12:31-36. Consultado 13 jul. 2019. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0308521X83900197>.
43. 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. 2019. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429005001516>.

44. Larson, E. J.; Vanderlip, R. L. 1994. Grain sorghum yield response to nonuniform stand reductions. (en línea). *Agronomy Journal*. 86:475-477. Consultado 20 ago. 2019. Disponible en <https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/86/3/AJ0860030475>.
45. Lehman, W. F.; Lambert, J. W. 1960. Effects of Spacing of Soybean Plants Between and Within Rows on Yield and Its Components1. *Agronomy Journal*. 52:84-86.
46. Liu, B.; X. Liu, C.; Wang, J.; Herbert, S. J.; Hashemi, M. 2010. Responses of Soybean Yield and Yield Components to Light Enrichment and Plant Density. (en línea). *International Journal of Plant Production*. 4 (1):1-9. Consultado 19 mar. 2019. Disponible en http://ijpp.gau.ac.ir/article_676_e7c133f388bd97ee1874392c7ee63d19.pdf.
47. Loomis, R. S.; Connor, D. J. 1992. Community concepts. In: Loomis, R. S.; Connor, D. J. eds. *Crop ecology: productivity and management in agriculture systems*. Cambridge, UK, Cambridge University. pp. 32-59.
48. López Pereira, M.; Trapani, N.; Sadras, V. 1999. Densidad, distanciamiento entre hileras y uniformidad del cultivo de girasol. *Cuaderno de Actualización Técnica*. CREA. 30 (62):34-39.
49. Luizzi, V. D. 1989. Soja. Montevideo, Universidad de la República. Facultad de Agronomía. pp. 120-124.
50. Mamanivilte, J.; Aguirre, R. 2013. Evaluación del efecto de diversas densidades de siembra en el cultivo de soya (*Glycine max* L Merrill), en la Comunidad de Canandoa, Municipio de San Pedro, campaña de invierno 2013. (en línea). *Universidad Ciencia y Sociedad*. no. 12:24-33. Consultado 20 ago. 2019. Disponible en http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S8888-88882014000100004&lng=es&nrm=iso.
51. _____; Jhonny, R. 2014. Evaluación del efecto de diversas densidades de siembra en el cultivo de soya (*Glycine max*(L) Merrill). (en línea). *Universidad Ciencia y Sociedad*. 12:24-33. Consultado 10 mar. 2019. Disponible en http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S8888-88882014000100004&lng=es&nrm=iso.

52. Mandl, F. 1994. Tipo de cultivares y época de siembra. In: Giménez, A.; Restaino, E. eds. Girasol y soja: algunos aspectos tecnológicos de producción para el litoral Oeste de Uruguay. Montevideo, INIA. pp. 105-107 (Boletín de Divulgación no. 47).
53. Maroni, J.; Gargicevich, A. 1998. Operación de siembra, densidad y uniformidad de plantas en maíz. Impacto sobre rendimiento en granos. Buenos Aires, Morgan – Mycogen. 29 p.
54. Martignone, R.; Bacigaluppo, S.; Enrico, J. M.; Bodrero, M. L. 2011 Respuesta al espaciamiento entre hileras en soja: intercepción de radiación y parámetros de crecimiento. (en línea). In: Congreso de la Soja del MERCOSUR (5º., 2011, Rosario, Argentina). Trabajos presentados. Para Mejorar la Producción. no. 46:49-52. Consultado 13 mar. 2019. Disponible en <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-respuesta-espaciamiento-entre-hileras-en-soja.pdf>
55. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias,UY). 2018. Anuario estadístico agropecuario. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 10 mar. 2019. Disponible en https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2018/Anuario_2018.pdf
56. Moore, S. H. 1991. Uniformity of plant spacing effect on soybean population parameters. (en línea). Crop Science. 31 (4):1049-1051. Consultado 21 jul. 2019. Disponible en <https://dl.sciencesocieties.org/publications/cs/abstracts/31/4/CS0310041049?access=0&view=pdf>.
57. Otegui, M. E.; López Pereira, M. 2003. Fecha de siembra. In: Satorre, E. H.; Benech-Arnold, R.; Slafer, G. A.; de la Fuente, E.; Miralles, D. Otegui, M. E.; Savín, R. eds. Producción de granos: bases funcionales para su manejo. Buenos Aires, UBA. Facultad de Agronomía. pp. 259- 278.
58. Pires, J.; Costa, J. A.; Thomas, A. L.; Maehler A. R. 2000. Efeitos de populações e espaçamentos sobre o potencial de rendimento da soja durante a ontogenia. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 35:1541-1547.
59. 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 21 jul. 2019. Disponible en

<http://www.bibliotekevirtual.org/revistas/REVENG/v24n01/v24n01a06.pdf>

60. Ritorni, N.; Rodríguez, J. 2018. Efecto de falta de uniformidad de plantas sobre el rendimiento en grano de soja a nivel de predios. Tesis Ing. Agr. Paysandu, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 43 p.
61. 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 21 jul. 2019. Disponible en http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_reduccion_de_la_densidad_de_siembra_en_soja.pdf.
62. Sangoi, L.; Schmitt, A.; Vieira, J.; Picoli, J.; Souza, C.; Casa, R.; Schenatto, D.; Giordani, W.; Boniatti, C.; Machado, G.; Horn, D. 2012. Variabilidade na distribuição espacial de plantas na linha e rendimento de grãos de milho. Revista Brasileira de Milho e Sorgo. 11(3):268-277.
63. Satorre, E. H. ed. 2003a. El libro de la soja. Buenos Aires, Argentina, SEMA. 264 p.
64. _____; Benech, R.; Slafer, G.; De la Fuente, E.; Miralles, D.; Otegui, M.; Savin, R. eds. 2003b. Producción de granos: bases funcionales para su manejo. Buenos Aires, UBA. Facultad de Agronomía. 783 p.
65. _____. 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 20 ago. 2019. Disponible en https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4614-5797-8_223.
66. Shibles, R. M.; Weber, C. R. 1965. Leaf area, solar radiation interception and dry matter production by soybeans. Crop Science. 5:575-580.
67. _____.; _____. 1966. Interception of solar radiation and dry matter production by various soybean patterns. Crop Science. 6:55- 60.
68. Soza, E.; Agnes, D. 2011. Siembra directa y alternativas de mínimo laboreo en la implantación de soja en la cuenca del salado. Revista de la Facultad de Agronomía y Ciencias Agroalimentarias. 2:71 - 84.

69. Spitters, C. J. T.; Van Den Bergh, J. P. 1982. Competition between crop and weeds: a system approach. *In*: Holzner, W.; Numata, N. eds. *Biology and ecology of weeds*. The Hague, Springer. pp. 137-148.
70. Tetio- Kagho, F.; Gardner, F. P. 1988. Responses of Maize to Plant Population Density. II. Reproductive Development, Yield, and Yield Adjustments. *Agronomy Journal*. 80:935-940.
71. Tesouro, M.; Casartelli, M.; D'ámico, 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 20 ago. 2019. Disponible en http://inta.gob.ar/documentos/desuniformidad-de-distribucion-de-girasol-helianthus-annus-l.-impacto-sobre-la-produccion-individual-y-el-rendimiento-del-cultivo/at_multi_download/file/desuniformidad.pdf
72. Thompson, J. A.; Fenton, I. G. 1979. Influence of plant population on yield and yield components of irrigated sunflower in southern. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 19 (100):570-574. Consultado 22 jul. 2019. Disponible en <https://www.publish.csiro.au/an/EA9790570>.
73. USDA. NASS (United States Department of Agriculture. National Agricultural Statistics Service, US). 2018. Corn Yield and Soybean Production Up un 2017. (en línea). Washington, D. C. 3 p. Consultado 10 mar. 2019. Disponible en https://www.nass.usda.gov/Newsroom/printable/2018/01_12_18.pdf
74. Valentinuz, O. R.; Veja, C. R.; Andrade, F. H.; Uhart, S. A. 1995. Estabilidad del rendimiento ante variaciones en densidad de plantas en girasol, maíz y soja. *In*: Congreso Nacional de Soja (1º., 1995, Buenos Aires, Argentina). Relación entre crecimiento y granos fijados por planta. Pergamino, AIANBA. pp. 151- 159.
75. _____. 1996. Crecimiento y rendimiento comparados de girasol, maíz y soja ante cambios de densidad de plantas. Tesis Magister Scientiae. Balcarce, Buenos Aires, Argentina. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias. 45 p.
76. Vega, C. C.; Sadras, V. O.; Andrade, F. H. 2000. Reproductive allometry in soybean, maize and sunflower. *Annals of Botany*. 60:400 - 468.

77. _____.; 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.
78. _____.; _____.; _____. 2001. Reproductive partitioning and seed set efficiency in soybean, sunflower and maize. (en línea). *Field Crops Research*. 72:207-215. Consultado 13 jul. 2019. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429001001721>.
79. 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 13 jul. 2019. 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.
80. _____.; Burton, J.; Kilen, T. 1993. Soybean growth and light interception: response to differing leaf and stem morphology. (en línea). *Crop Science*. 33:520- 524. Consultado 20 ago. 2019. Disponible en <https://dl.sciencesocieties.org/publications/cs/abstracts/33/3/CS0330030520>.
81. Williams, W.; Loomis, R.; Duncan, W.; Dovrat, A.; Nunez, A. 1968. Canopy architecture at various population and the growth and grain yield of corn. (en línea). *Crop Science*. 8:303-308. Consultado 13 jul. 2019. Disponible en <https://dl.sciencesocieties.org/publications/cs/abstracts/8/3/CS0080030303>.
82. 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 20 ago. 2019. Disponible en <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs13593-014-0218-5>.