

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EFFECTO DEL GRUPO DE MADUREZ, DISTANCIA ENTRE HILERAS Y  
POBLACIÓN EN SIEMBRAS TARDÍAS DE SOJA CON RIEGO

por

Pablo Agustín GARCÍA EGUREN  
Lucía Mercedes VEIGA ACOSTA

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

MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2019

Tesis aprobada por:

Director: -----

Ing. Agr. (Dr.) Luis Giménez

-----

Ing. Agr. (Dr.) Oswaldo Ernst

-----

Ing. Agr. (PhD.) Guillermo Siri

Fecha: 14 de junio de 2019

Autores: -----

Pablo Agustín García Eguren

-----

Lucía Mercedes Veiga Acosta

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a nuestro tutor Luís Giménez por habernos permitido realizar este trabajo, además de todo el apoyo brindado durante la elaboración del mismo. A Federico Rovegno y todo el personal de laboratorio, por su colaboración constante en la parte práctica.

A nuestras familias y amigos, quienes estuvieron presentes durante toda la carrera, así como a todas aquellas personas que de una manera u otra formaron parte de nuestra formación.

A Ing. Agr. Mónica Cadenazzi por su constante apoyo. A todo el personal de biblioteca, especialmente a la Lic. Sully Toledo por su dedicación y atención.

## TABLA DE CONTENIDO

Página

PÁGINA DE APROBACIÓN .....	II
AGRADECIMIENTOS .....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES .....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....	2
2.1. <u>CULTIVO DE SOJA EN URUGUAY</u> .....	2
2.1.1. <u>Introducción y expansión</u> .....	2
2.1.2. <u>Superficie, producción y rendimiento</u> .....	2
2.2. <u>AMBIENTES DE PRODUCCIÓN</u> .....	3
2.2.1. <u>Ubicación y caracterización climática</u> .....	3
2.2.2. <u>Temperatura del aire</u> .....	3
2.2.4. <u>Evapotranspiración</u> .....	4
2.2.5. <u>Precipitaciones</u> .....	5
2.2.6. <u>Capacidad de almacenamiento de agua de los suelos</u> .....	5
2.3. <u>CULTIVO DE SOJA SIN DEFICIENCIAS HÍDRICAS</u> .....	6
2.3.1. <u>Riego suplementario</u> .....	6
2.3.2. <u>Requerimientos hídricos</u> .....	7
2.3.3. <u>Importancia del agua</u> .....	7
2.3.4. <u>Interacción riego y grupo de madurez</u> .....	9
2.3.5. <u>Potencial de rendimiento y brechas de rendimiento</u> .....	9
2.4. <u>FECHAS DE SIEMBRA TARDÍAS</u> .....	10
2.4.1. <u>Fotoperíodo, temperatura y radiación solar</u> .....	11
2.4.2. <u>Interacción con grupo de madurez</u> .....	14

2.5. ESTRUCTURA DEL CULTIVO .....	15
2.5.1. <u>Distancia entre hileras</u> .....	15
2.5.2. <u>Densidad de plantas</u> .....	20
2.5.3. <u>Interacción entre población y DH</u> .....	24
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	26
3.1. UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO .....	26
3.1.1. <u>Manejo experimental</u> .....	26
3.1.2. <u>Tratamientos</u> .....	27
3.2. DESCRIPCIÓN ESTADÍSTICA DEL EXPERIMENTO .....	28
3.2.1. <u>Hipótesis biológica</u> .....	28
3.2.2. <u>Diseño experimental</u> .....	29
3.3. DETERMINACIONES REALIZADAS .....	29
3.3.1. <u>Determinaciones durante el ciclo del cultivo</u> .....	29
3.3.2. <u>Determinaciones a cosecha</u> .....	29
3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	29
3.5. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA .....	30
3.5.1. <u>Precipitaciones</u> .....	30
3.5.2. <u>Radiación solar incidente</u> .....	30
3.5.3. <u>Temperatura</u> .....	31
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	34
4.1. DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO .....	34
4.1.1. <u>Efecto del grupo de madurez sobre el rendimiento</u> .....	34
4.1.2. <u>Efecto de la distancia entre hileras sobre el rendimiento</u> .....	35
4.1.3. <u>Efecto de la población sobre el rendimiento</u> .....	37
4.1.4. <u>Parámetros de crecimiento</u> .....	38
4.1.5. <u>Efectos sobre los componentes y sub-componentes del rendimiento</u> .....	42

4.1.6. <u>Interacción entre población y distancia entre hileras</u> .....	46
5. <u>CONCLUSIONES</u> .....	50
6. <u>RESUMEN</u> .....	51
7. <u>SUMMARY</u> .....	52
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	53
9. <u>ANEXOS</u> .....	65

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Características hidrológicas del suelo.....	24
2. Calendario de eventos fenológicos.....	25
3. Radiación solar incidente para las variedades de los grupos de madurez IV y VI.....	29
4. Materia seca y tasa de crecimiento del cultivo según variedad, distancia entre hileras y población.....	37
5. Componente y sub-componentes del rendimiento según variedad de GM IV y VI, población (pl.ha <sup>-1</sup> ) y distancia entre hileras (DH, m) evaluadas.....	40
6. Número de granos, vainas y nudos por planta en las poblaciones evaluadas.....	41
7. Rendimiento en grano (kg.ha <sup>-1</sup> ) y número de granos.m <sup>-2</sup> en función de la combinación entre la población (pl.ha <sup>-1</sup> ) y la distancia entre hileras (DH, m).....	46
8. Número de granos.m <sup>-2</sup> , número de granos abortados.m <sup>-2</sup> y % de granos abortados según GM.....	46
Figura No.	Página
1. Precipitaciones ocurridas durante los meses de diciembre a marzo para la zafra 2017-2018 y valores promedio de la serie histórica 1961-2009.....	28
2. Radiación solar (Mj.m <sup>-2</sup> .d <sup>-1</sup> ) incidente media diaria mensual de la serie histórica 2002-16 y 2017-18.....	29
3. Temperatura media diaria (°C) ocurrida durante el año agrícola 2017-18 y valores promedio de la serie histórica 2002-17.....	30
4. Temperatura máxima diaria en post emergencia y durante los PC de ambas variedades.....	30
5. Rendimiento en grano (kg.ha <sup>-1</sup> ) en la variedad del GM IV y la variedad del GM VI.....	32
6. Rendimiento en grano (kg.ha <sup>-1</sup> ) según las distancias entre hileras evaluadas.....	34
7. Rendimiento en grano (kg.ha <sup>-1</sup> ) según población (pl.ha <sup>-1</sup> ) evaluada.....	35

8. Relación entre la MS medida en R4 (kg MS.ha <sup>-1</sup> ) y el rendimiento en grano (kg.ha <sup>-1</sup> ) para la variedad del GM IV.....	38
9. Relación entre la MS medida en R4 (kg MS.ha <sup>-1</sup> ) y el rendimiento en grano (kg.ha <sup>-1</sup> ) para la variedad del GM VI.....	39
10. Relación entre el rendimiento en grano (kg.ha <sup>-1</sup> ) y el número de granos.m <sup>-2</sup> .....	41
11. Relación entre el rendimiento en grano (kg.ha <sup>-1</sup> ) y el peso de mil granos (g).....	42
12. Relación entre el rendimiento en grano (kg.ha <sup>-1</sup> ) y el número de vainas.m <sup>-2</sup> .....	43
13. Relación entre el rendimiento en grano (kg.ha <sup>-1</sup> ) y el número de nudos.m <sup>-2</sup> .....	44
14. Número de nudos.m <sup>-2</sup> en función de la población (pl.ha <sup>-1</sup> ) y la DH (m).....	45
15. Número de vainas.m <sup>-2</sup> en función de la población (pl.ha <sup>-1</sup> ) y la DH (m).....	45

## 1. INTRODUCCIÓN

La agricultura en Uruguay ha experimentado, desde el año 2002-03, una marcada expansión, siendo la soja el cultivo que aumentó en mayor medida el área de producción. Esto ha sido impulsado por una creciente demanda externa, sumado a los precios elevados así como también a la adopción de la siembra directa y al uso de variedades genéticamente modificadas. Sin embargo, este aumento en el área de siembra, no se vio acompañado por un incremento significativo en los rendimientos.

Las condiciones ambientales en las que se desarrolla el cultivo en el país presentan a la disponibilidad hídrica como la principal limitante desde el punto de vista productivo debido a la alta variabilidad de las precipitaciones (PP) y la baja capacidad de almacenamiento de agua de los suelos (CAAD), lo que lleva a que los rendimientos sean altamente variables entre años. En condiciones de secano, en las que generalmente los requerimientos hídricos del cultivo no son cubiertos en su totalidad, la brecha entre el rendimiento potencial y el logrado comercialmente, es mayor (Giménez, 2012). En ese entendido, la implementación del riego suplementario permite disminuir los riesgos de la agricultura de secano, estabilizar y maximizar los rendimientos, además de generar otros escenarios de manejo (Dardanelli et al., 2010).

La elección de la fecha de siembra asociada al grupo de madurez (GM) utilizado, son de importancia clave, ya que la combinación de estos factores va a determinar el ambiente en el cual el cultivo se va a desarrollar. En particular, las fechas de siembra tardías, tienen como consecuencia un ambiente más desfavorable que las fechas de siembra tempranas, en relación a radiación solar (RS) y temperaturas, durante las etapas críticas de determinación del rendimiento. En estas situaciones, para mejorar el aprovechamiento de los recursos brindados por el ambiente, el manejo de la distancia entre hileras (DH) y la población, se vuelven factores preponderantes para lograr maximizar el rendimiento.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta en rendimiento de soja sembrada en fecha de siembra tardía y con bienestar hídrico de dos variedades de GM contrastantes, dos DH, dos poblaciones y las interacciones entre estos tres factores.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. CULTIVO DE SOJA EN URUGUAY

#### 2.1.1. Introducción y expansión

Los primeros registros que se tienen de producción de soja en el país se remontan a la década de los sesenta. Hasta la zafra 2002 fue un cultivo de poca relevancia en la agricultura del país (Oyhantçabal y Narbondo, 2008). A principios del siglo XXI, Uruguay comienza a experimentar un fuerte proceso de expansión de la agricultura, promovido principalmente por el crecimiento del área de soja. Algunas de las causas que explican este fenómeno son: la generalización del uso de los cultivos transgénicos y la siembra directa, las medidas de política económica en Argentina, la estandarización de labores que incrementan la competitividad, etc. (Arbeletche et al., 2010).

#### 2.1.2. Superficie, producción y rendimiento

En las últimas zafras (2015, 2016 y 2017) la superficie total sembrada presentó una leve baja, pasando de 1.140 mil hectáreas en la zafra 2015 a 1.060 mil hectáreas en la zafra 2017. Dentro de la superficie total, la correspondiente a soja de segunda presenta la misma tendencia, pasando de 359 mil hectáreas en la zafra 2015 a 333 mil hectáreas en la zafra 2017; en tanto la superficie bajo riego ha mostrado una tendencia a subir levemente, pasando de un 0,7% del total en 2015 a un 0,8% en 2016 y 1,2% en 2017 (MGAP. DIEA, 2016, 2017, 2018).

En las últimas zafras las producciones totales de grano de soja han presentado mucha variabilidad, pasando por 2.208 mil toneladas en 2015, 3.212 mil toneladas en 2016 y finalmente 1.316 mil toneladas en 2017, de las cuales 699 mil toneladas, 994 mil toneladas y 379 mil toneladas respectivamente, corresponden a soja de segunda (MGAP. DIEA, 2016, 2017, 2018).

Al igual que las producciones, los rendimientos promedio muestran una importante variabilidad, siendo estos: 1.937 kg.ha<sup>-1</sup>, 2.951 kg.ha<sup>-1</sup> y 1.214 kg.ha<sup>-1</sup> para las zafras 2015, 2016 y 2017, respectivamente. En forma específica, para el caso de la soja de segunda, los rendimientos obtenidos fueron: 1.947 kg ha<sup>-1</sup>, 2.808 kg.ha<sup>-1</sup> y 1.162 kg.ha<sup>-1</sup>. En lo que refiere a rendimientos de soja bajo riego, se cuenta con los siguientes valores: 2.828 kg.ha<sup>-1</sup>, 3.493 kg.ha<sup>-1</sup> y 2.824 kg.ha<sup>-1</sup> respectivamente, estando estos un 46%, 18% y 130% por encima de los rendimientos promedio para soja de secano (MGAP. DIEA, 2016, 2017, 2018).

## 2.2. AMBIENTES DE PRODUCCIÓN

### 2.2.1. Ubicación y caracterización climática

Según Durán et al. (1999), el clima del país está determinado por su ubicación geográfica dentro del continente, la cual está comprendida entre 30 y 35° de latitud sur, y además por su posición con relación al océano Atlántico, su relieve y la circulación atmosférica regional. Desde el punto de vista térmico, se define como templado a subtropical. A su vez, Andrade et al. (2000) señalan que es importante conocer la ubicación y por ende sus características climáticas, ya que a partir de esto se va a determinar la incidencia de distintos factores ambientales como la temperatura del aire, RS, fotoperiodo, etc., que van a regular los distintos procesos metabólicos de los cultivos.

### 2.2.2. Temperatura del aire

La temperatura del aire juega un rol importante en lo que refiere a la regulación del desarrollo durante el transcurso del ciclo del cultivo, aunque a lo largo de las distintas fases de desarrollo, los requerimientos térmicos y las temperaturas cardinales que regulan la tasa de desarrollo sean diferentes (Kantolic et al., 2003). La duración de una fase (comúnmente medida en días) depende de la temperatura, teniendo esta un impacto clave en la longitud de cada una de las etapas (Toledo, 2015).

En fechas de siembra tardías, el ciclo del cultivo transcurre en su mayoría durante las estaciones de verano y otoño. Según la base de datos climática de INIA Salto Grande para los últimos 40 años, el mes de enero registra la mayor temperatura media, de 25,5 °C. En los meses de diciembre y febrero se produce una disminución de 1 °C, mientras que en marzo la disminución es de 3 °C, con respecto a enero (INIA, s.f.).

La soja se adapta mejor a regiones donde las temperaturas oscilan entre 20 y 30 °C (Farías et al., 2007), mientras que se consideran como temperaturas óptimas para un desarrollo vegetativo y reproductivo normal del cultivo, las comprendidas entre 25 y 30 °C (Toledo, 2015). En relación a la temperatura a la que se afecta la tasa fotosintética y el rendimiento, Vu et al. (1997) señalan que las temperaturas por encima de 32 °C causan disminuciones en la tasa fotosintética, mientras que Egli y Wardlaw (1980) destacan que por encima de los 33 °C se empiezan a ver efectos negativos.

### 2.2.3. Heliofanía real – radiación solar

La heliofanía promedio medida en horas, según datos climáticos de INIA Salto Grande, es mayor en enero y diciembre, presentando valores de 9,25 y 9,02 horas respectivamente. En los meses de febrero y marzo, se produce una disminución del 9 y

14 % respectivamente, con respecto a enero. En cuanto a RS por heliofanía ( $\text{cal/cm}^2/\text{día}$ ), los valores máximos se registran en los meses de diciembre y enero, siendo 568 y 571  $\text{cal/cm}^2/\text{día}$  respectivamente. Se produce una disminución del 11 % en febrero y 24 % en marzo, con respecto al valor registrado en enero (INIA, s.f.).

La soja es una especie de día corto con respuesta cuantitativa. El fotoperíodo lleva a cabo la regulación de la mayor parte de los eventos reproductivos (Kantolic et al., 2003), por lo tanto, la floración se da cuando la duración de los días comienza a disminuir (Melgar et al., 2011). Si bien la temperatura y su interacción con el fotoperíodo tienen una gran influencia en la floración, el fotoperíodo es el factor de mayor importancia (Melgar et al., 2011).

La producción de materia seca lograda por el cultivo está determinada directamente por la tasa de crecimiento del mismo, a su vez, estos dos últimos procesos están determinados por la RS interceptada (Kantolic et al., 2003). La RS interceptada es la fuente de energía utilizada por el cultivo<sup>1</sup>, y es el resultado de la eficiencia con que la radiación incidente es interceptada por el canopeo (Kantolic et al., 2003). Como consecuencia de esto, un objetivo muy importante del manejo de cultivos de alta producción es lograr que las hojas intercepten la mayor cantidad de radiación.<sup>1</sup>

#### 2.2.4. Evapotranspiración

Según Castaño et al. (2011) los valores promedio de evapotranspiración (ET) acumulada anual, la cual se estima por el método de Penman-Monteith, se sitúan entre 1.000 y 1.200 milímetros, registrándose los menores valores al sureste y los máximos al noroeste del país. La ET presenta un marcado comportamiento estacional. Según datos climáticos de INIA Salto Grande para los últimos 36 años, los valores de ET (mm) máximos se registran en diciembre y enero, siendo estos 183 y 190 mm respectivamente. Estos valores sufren una disminución hacia los meses de febrero y marzo, del 24 y 35 % respectivamente en relación al valor de enero (INIA, s.f.).

La ET de los cultivos bajo condiciones estándar, cuando el mismo está bajo condiciones óptimas de suelo, agua, y manejo y alcanza el rendimiento potencial, se denomina ETc (Allen et al., 1998). A su vez, Della Maggiora et al. (2000) sostienen que la demanda atmosférica dada por las condiciones meteorológicas y los factores que determinan el crecimiento y desarrollo de los cultivos, regulan la evolución de la ETc. En relación a esto, Giménez y García Petillo (2011) determinaron que la ETc presenta variabilidad entre años, distinguiéndose los años «Niño» y «Niña» con los menores y mayores valores respectivamente. Esta respuesta se asocia de manera inversa al

---

<sup>1</sup> Andrade, F.; Aguirrezabal, L.; Rizzalli, R. s.f. Crecimiento y rendimientos comparados (sin publicar).

comportamiento de las PP. Por otro lado, según Allen et al. (1998), se denomina a la ET de cultivos que crecen en condiciones diferentes a las no limitantes, ET<sub>c</sub> ajustada, la cual en condiciones de campo se conoce como evapotranspiración real (ET<sub>r</sub>).

La fecha de siembra y el GM tienen un marcado efecto en la evaporación total del cultivo. Si bien el GM afecta la evaporación de forma tal que a mayor duración del ciclo mayor es la ET, la fecha de siembra es más determinante en la reducción de la ET y probablemente en el rendimiento (Otero et al., 2014). La diferencia en ET<sub>c</sub> entre una soja sembrada en fecha de siembra óptima (noviembre) y otra en fecha de siembra tardía (diciembre) constatada por Andriani (2016) fue de 100 mm (535 vs. 435 mm). En relación a GM, Giménez y García Petillo (2011) obtuvieron valores simulados de ET<sub>c</sub> para soja de GM IV de 567 mm para Colonia y de 509 mm para Salto, en tanto, para GM VI presentaron valores de 627 mm y 641 mm respectivamente para ambas localidades.

#### 2.2.5. Precipitaciones

Los valores promedio de PP acumulada anual se sitúan entre 1.200 y 1.600 milímetros, presentándose los menores valores en el suroeste (Colonia) y los máximos al noroeste (Rivera y Artigas). No existe una estación seca o lluviosa bien definida, lo que conlleva a que los valores mensuales de PP presenten una gran variabilidad interanual (Castaño et al., 2011). Para los meses de primavera y verano, durante los que transcurre mayoritariamente el ciclo de la soja (con fechas de siembra óptimas), las PP medias son de 328 mm con un desvío de 108 mm y de 346 mm con un desvío de 130 mm respectivamente para ambas estaciones, siendo estos datos pertenecientes al período comprendidos entre 1981-2010 (INUMET, s.f.).

La mayor parte de la estación de crecimiento de los cultivos de verano se produce en los meses en los que la demanda atmosférica es más elevada. Esto en conjunto con un régimen de PP altamente variable, tanto en volumen como en intensidad, lleva a que en los cultivos no se cubran las demandas durante los meses en los que se producen las etapas críticas de determinación del rendimiento (Giménez, 2012).

#### 2.2.6. Capacidad de almacenamiento de agua de los suelos

La capacidad de almacenamiento de agua disponible (CAAD) de los suelos del país presenta una alta variabilidad. Para los suelos del litoral oeste, potencialmente agrícolas, la CAAD presenta valores que oscilan entre 80 y 160 mm (Molfino y Califra, 2001). Según Giménez (2012), la CAAD de los suelos es baja, en relación al consumo de los cultivos, pudiendo cubrir aproximadamente entre el 20 y el 30% del consumo

potencial, el cual, según Massigoge (2012) para una soja plantada tardíamente es del orden de los 400 mm.

En general, no toda el agua del suelo está disponible para las plantas. El agua disponible (AD) que posee un suelo depende de la capacidad que presenta el mismo para almacenarla y de factores climáticos. La determinación de esta disponibilidad es resultado del balance final entre las PP efectivas, el agua de riego, el agua evaporada desde el suelo y la cubierta vegetal, el agua infiltrada en el suelo y la que escurre en forma superficial y profunda. Este balance está dado por la evapotranspiración potencial, la real, el exceso y déficit hídrico (Letey, 1985).

### 2.3. CULTIVO DE SOJA SIN DEFICIENCIAS HÍDRICAS

#### 2.3.1. Riego suplementario

Los cultivos de verano realizados en secano presentan como principal limitante de los ambientes de producción durante primavera y verano, a la disponibilidad hídrica. En situaciones en las que los requerimientos hídricos del cultivo no son totalmente cubiertos, el potencial de rendimiento se ve claramente disminuido (Giménez, 2012). De este modo, el riego suplementario permite disminuir los riesgos de la agricultura de secano, maximizar y estabilizar los rendimientos y generar otros escenarios de manejo. El rango de fechas de siembra será independiente del período de lluvias, el período crítico (PC) de determinación del rendimiento se ubicará en la época de mayor probabilidad y oferta de recursos como la RS, por lo tanto, el sistema productivo estará circunscripto a variaciones de RS y temperatura (variables mucho más conservativas que el régimen de lluvias, Dardanelli et al., 2010).

La ubicación en los meses de mayor demanda atmosférica de las etapas de desarrollo más importantes, en relación a la determinación de rendimiento, la baja CAAD de los suelos que no llega a cubrir los requerimientos de los cultivos y un régimen altamente variable de las PP tanto en intensidad como en volumen, son tres factores que justificarían la adopción del riego suplementario (Giménez, 2012). Una buena realización del riego según García Petillo (2012a) es suministrar a las plantas el agua necesaria en el momento propicio, antes que se genere un estrés hídrico. Para realizar un adecuado manejo del riego, Caraballo de Silva (1990) sostiene que es necesario tener conocimiento tanto de la humedad del suelo y del nivel de agotamiento de esa humedad, como también de la etapa de crecimiento del cultivo, debido a que la soja presenta diferentes necesidades hídricas dependiendo de la etapa de desarrollo en la que se encuentre.

El conocimiento de los parámetros hídricos del suelo es imprescindible para un correcto diseño y manejo del riego. Estos parámetros son: capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y AD. A partir del conocimiento de los mismos, de la profundidad del suelo explorado por las raíces y del abatimiento máximo permitido del agua en el suelo (p) se determina la lámina neta (LN) que se deberá aplicar a un determinado cultivo en un determinado suelo (García Petillo et al., 2012b). Además, es importante dimensionar correctamente la contribución de las PP, teniendo en cuenta su distribución tanto espacial como temporal, por este motivo es más exacto utilizar las PP efectivas, que se relacionan a la PP antecedente y a la topografía. Por otra parte, se ha demostrado que la utilización de programas informáticos que generan balances hídricos de suelo (WinIsareg, Aquacrop, SimDualKc), son muy útiles no solo en el seguimiento del cultivo, sino también en la evaluación de las diferentes estrategias de riego en cada situación en particular (CEER-Biosystems Engineering s.f., FAO s.f., Otero et al. 2014).

### 2.3.2. Requerimientos hídricos

La soja presenta dos PC bien definidos en relación a sus necesidades hídricas. El primero queda comprendido entre la siembra y la emergencia, mientras que el segundo ocurre durante el llenado de las vainas (Farias, 1995). Durante el primer período, tanto el exceso como la falta de agua son perjudiciales para el establecimiento del cultivo y la obtención de una adecuada uniformidad, siendo el exceso hídrico más limitante que el déficit (Farias et al., 2007). Para que ocurra la germinación, la semilla requiere el 50% de su peso en agua, en comparación con otros cultivos la soja es más exigente en este requerimiento (Caraballo de Silva, 1990). Las necesidades hídricas aumentan acompañando el desarrollo de la planta, llegando a un máximo en la etapa entre floración y llenado de granos (7 a 8 mm.día<sup>-1</sup>), disminuyendo luego de ese período. En general, el consumo más elevado de agua coincide con el período en que el cultivo presenta mayor altura e índice de área foliar (IAF, Farias et al., 2007).

La energía incidente que proviene de la RS, el período de exposición a la misma y las características del cultivo, son tres factores que determinan el consumo potencial de agua por parte de los cultivos (Giménez y García Petillo, 2011). Andriani (2002) señala que el consumo de agua por parte de los cultivos implica el agua transpirada por las plantas y la evaporada directamente del suelo. Asimismo, Farias et al. (2007) manifiestan que dicho consumo puede variar en función del año, de la época de siembra y de las condiciones climáticas de cada región.

### 2.3.3. Importancia del agua

En la soja, el agua constituye aproximadamente el 90% del peso de la planta, participando en casi todos los procesos fisiológicos y bioquímicos. También actúa como

solvente, lo que permite el pasaje de gases, minerales y otros solutos a las células y el movimiento de estos dentro de la planta. Además, juega un papel importante en la regulación térmica de la planta, controlando el enfriamiento y la manutención de la distribución del calor en la planta (Farias et al., 2007).

El efecto de un déficit hídrico va a ser más o menos importante, según el momento en el que ocurra (Andriani, 2002). Por lo tanto, la ocurrencia de una deficiencia hídrica en la etapa de formación y llenado de las vainas tiene un mayor impacto negativo sobre el rendimiento, en comparación a si ocurriera en otras etapas del desarrollo del cultivo (Sionit y Kramer, 1977). Esto se debe, a que durante esta etapa la capacidad de compensación del cultivo se ve disminuida, como consecuencia de que al aborto floral por deficiencias hídricas se le agrega el de las vainas de menor tamaño, que son las estructuras reproductivas más susceptibles a la abscisión (Giménez, 2014). En esta misma línea, Meckel et al. (1984) registraron pérdidas de rendimiento del orden de 21 a 46 %, en tratamientos donde se produjo un déficit hídrico durante el PC de determinación del rendimiento, en comparación con los efectos del déficit en otras etapas del cultivo. Según Giménez (2014) las pérdidas en rendimiento cuando el déficit hídrico se produce en etapas no críticas previas al PC fueron de 23%.

El déficit hídrico, en general, provoca una pérdida de turgencia, la cual genera una disminución de la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) y por lo tanto un menor tamaño final de los órganos que se encuentran en activa expansión al momento del estrés. El crecimiento es consecuencia de la división y expansión celular. Estos dos procesos son muy sensibles a un déficit hídrico y la ocurrencia del mismo en las etapas vegetativas producirá un efecto marcado sobre la expansión foliar y consecuentemente sobre el IAF del cultivo (Dardanelli et al., 2003). Es razonable esperar que algunos procesos que participan en la acumulación de peso seco del grano, como la producción de asimilados en las hojas, la translocación de estos asimilados al grano y la síntesis de los diversos compuestos de almacenamiento, se vean afectados por una insuficiencia hídrica (Meckel et al., 1984). A su vez, Sionit y Kramer (1977) sostienen que un menor peso de granos obtenido en situaciones de estrés hídrico es consecuencia de una reducción del período de llenado de granos y un área foliar reducida.

La disminución en el rendimiento causada por una deficiencia hídrica está explicada además, por un efecto negativo en la fijación biológica de nitrógeno que tendrá como consecuencia una disminución en la acumulación de materia seca (MS) (Giménez, 2014). Esto concuerda con lo establecido por García y Ferraroto (2009), donde registraron un efecto negativo sobre las bacterias fijadoras de nitrógeno y una reducción en la producción de MS. A su vez, Sionit y Kramer (1977) afirman que en una situación de estrés hídrico la senescencia de hojas se adelanta, teniendo como consecuencia, entre otras cosas, una menor acumulación de MS en etapas avanzadas del ciclo. Los valores de MS acumulada a R6 registrados por Giménez (2014), fueron de 8.347 kg.ha<sup>-1</sup> y de 16.168 kg.ha<sup>-1</sup> para los años 2009-10 y 2010-11 respectivamente, en

tratamientos sin deficiencias hídricas. Estos valores fueron un 32 y 19 % menores en tratamientos donde se produjo una deficiencia hídrica durante el PC, respectivamente para ambos años. Los valores obtenidos por Giménez (2014) son menores a los reportados por Canfalone et al. (2002), en experimentos bajo riego llevados a cabo en la provincia de Buenos Aires, con registros de 23.000 kg.ha<sup>-1</sup>; pero similares a los logrados por Karam et al. (2005), de 14.100 kg.ha<sup>-1</sup>, en experimentos realizados en Líbano.

#### 2.3.4. Interacción riego y grupo de madurez

En situaciones donde las condiciones tanto edáficas, como climáticas e hídricas son propicias para un óptimo desarrollo del cultivo, Baigorri (2004) señala que los cultivares de ciclo corto son los que expresan un mayor potencial de rendimiento, reduciendo principalmente la incidencia del vuelco y problemas sanitarios. De acuerdo con esto, Zuil (2011) mediante un experimento donde se evaluaron dos GM (V y VIII) y el riego fue proporcionado durante todo el ciclo del cultivo, concluyó que el cultivar perteneciente al GM V respondió mejor tanto en siembras tempranas como tardías. A su vez, Otero et al., citados por Pérez (2017) también observaron el mismo comportamiento, donde se destacaron los GM IV y V. En este sentido, Fassio et al. (2017) para una fecha de siembra tardía (15/12), en la localidad de Colonia, obtuvieron diferencias en rendimiento de 1.300 kg.ha<sup>-1</sup> superiores para un ciclo corto, en comparación con un ciclo largo en condiciones hídricas no limitantes.

#### 2.3.5. Potencial de rendimiento y brechas de rendimiento

Se entiende por rendimiento potencial de una especie, aquel que se obtiene en un determinado ambiente, donde no se producen estreses bióticos y abióticos. Bajo estas condiciones, el rendimiento depende de la capacidad de fijar carbono a través de la fotosíntesis, la cual estará regulada por la cantidad de radiación que el cultivo sea capaz de interceptar (Otegui, 2009). En este sentido, Otero et al. (2014) señalan que a pesar de la propia plasticidad genética de los distintos GM de la soja, se ha comprobado que para lograr rendimientos potenciales, es indispensable la ausencia de períodos de estrés hídrico, no solo en la fase reproductiva, sino también en la vegetativa.

Una brecha importante entre los rendimientos potenciales y los alcanzados por los productores, existe en casi todas las regiones del mundo (van Ittersum et al., 2013). Cuando la limitante para alcanzar estos rendimientos potenciales es el agua, la cantidad utilizada de la misma, así como su eficiencia de uso por parte del cultivo, son de los componentes más importantes en reducir la brecha entre el rendimiento potencial y el realmente obtenido (Otero et al., 2014). A su vez, Salvagiotti (2009) sostiene que en ausencia de limitantes hídricas, la brecha entre rendimientos potenciales y reales será mínima cuando se hagan coincidir la combinación fecha de siembra – cultivar, para que

los períodos de determinación del número y peso de granos coincidan con períodos en que haya mayor radiación incidente y temperaturas óptimas para estos procesos.

La brecha entre el rendimiento potencial y real se ve disminuida en cultivos bajo riego, en los cuales se obtiene alrededor del 85 a 95% del rendimiento potencial, mientras que en cultivos sin riego es difícil superar el 50% (Álvarez et al., 2015). Los rendimientos máximos de soja registrados a nivel mundial oscilan entre 4.500 kg.ha<sup>-1</sup> y 8.600 kg.ha<sup>-1</sup> aproximadamente (Cooper, 2003). A su vez, en experimentos realizados en Uruguay, en condiciones hídricas no limitantes, se han logrado rendimientos que oscilan entre 4.500 kg.ha<sup>-1</sup> y 7.300 kg.ha<sup>-1</sup> (Canosa y Prieto 2013, Giménez 2014, Fassio et al. 2016). En otras condiciones, Rambo et al. (2003) registraron rendimientos de 5.000 kg.ha<sup>-1</sup> en el sur de Brasil y Aydinsakir (2017) obtuvo rendimientos del orden de los 4.000 kg.ha<sup>-1</sup> en experimentos realizados en Turquía.

#### 2.4. FECHAS DE SIEMBRA TARDÍAS

La elección de la fecha de siembra, es una de las prácticas agronómicas más importante en cuanto a la determinación del rendimiento de los cultivos, debido a que determina el ambiente fototermal en el cual se desarrollarán, lo que repercute en la duración del ciclo y en la capacidad de interceptar RS, definiendo la producción de biomasa total y el rendimiento en grano (Otegui y López Pereira, 2003). El rango de fechas de siembra comúnmente utilizadas en Uruguay va desde el mes de octubre al mes de enero, considerándose las de diciembre y enero como tardías y muy tardías respectivamente (Ceretta e Ibáñez, s.f.).

En situaciones en las que la soja tiene como antecesor un cultivo de invierno, condiciones climáticas desfavorables en cuanto a abundancia de lluvias a fines de noviembre y principios de diciembre, pueden provocar retrasos en la cosecha de cultivos de invierno y en la siembra de cultivos de verano como el caso de la soja. En este escenario se vuelven importantes las fechas de siembra tardías (Ceretta e Ibáñez, s.f.). Por otra parte, Lewis y Phillips, citados por Egli et al. (1987) ya mencionaban la importancia de las fechas de siembra tardías en situaciones donde se practica el doble cultivo y la siembra de la soja se realiza luego de la cosecha del cultivo de invierno.

Un atraso en la fecha de siembra de soja resulta en una pérdida importante del potencial de rendimiento y además incrementa la probabilidad de encontrar inconvenientes a la hora de la cosecha en caso de otoños húmedos (Ceretta e Ibáñez, s.f.). En esta misma línea, Forján e Iriarte (s.f.) señalan que las condiciones ambientales, en cuanto a RS, temperatura y fotoperíodo, a las que es expuesto un cultivo sembrado tardíamente, varían en relación a la siembra en fechas tempranas u óptimas por lo que estos cambios inciden en el crecimiento, desarrollo y posterior rendimiento.

#### 2.4.1. Fotoperíodo, temperatura y radiación solar

El fotoperíodo es uno de los factores ambientales más importantes, debido a que regula el conjunto de procesos de desarrollo de la planta de soja desde emergencia hasta madurez (Hu y Wiatrak, 2012), condicionando el momento en que comienzan y finalizan las distintas etapas y la tasa con que progresan los cambios dentro de las plantas (Kantolic et al., 2003). A su vez, Han et al. (2006) afirman que el fotoperíodo es el principal factor ambiental que regula el desarrollo post floración de la soja, además tiene incidencia en la senescencia foliar, ramificación y otros aspectos del crecimiento vegetativo. La soja es una especie de día corto con respuesta cuantitativa, esto quiere decir que cada cultivar tiene un fotoperíodo crítico, por debajo del cual el período emergencia-floración no ve incrementada su duración (Baigorri y Croatto, 2000).

En cuanto a su respuesta fotoperiódica y térmica, existe variabilidad entre genotipos (Kantolic et al., 2003). En este sentido, Toledo (2015) señala que los GM cortos (II, III, IV y V) son los que requieren más horas de luz para inducir la floración ya que son menos sensibles, en cambio los GM medios a largos (VI, VII y VIII) responden con menos horas de luz porque son más sensibles. La duración de la etapa vegetativa se ve limitada por la respuesta de cada genotipo como también por la acumulación de grados días. Los GM cortos al ser menos sensibles responden principalmente a la acumulación térmica y a medida que aumenta el GM al ser más sensibles el efecto de las horas de luz sobre el desarrollo es mayor.

La temperatura tiene un efecto significativo sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de soja (Hu y Wiatrak, 2012), ya que junto con el fotoperíodo, son los encargados de regular la duración de las diferentes etapas de desarrollo del cultivo (Kantolic et al., 2003). La relación entre la duración de una fase y la temperatura no es lineal, por esta razón se caracteriza la longitud de una etapa a través de su inversa. En términos generales esta tasa aumenta linealmente entre la temperatura base y óptima, donde se incrementa la velocidad con que se cumple cada etapa; entre la temperatura óptima y la máxima la tasa disminuye (SYNGENTA, s.f.). Por otra parte, Mayers et al. (1991) indican que la temperatura tiene un efecto directo en la TCC, porque el tiempo térmico tenía una mejor correlación con la acumulación de MS que la duración del cultivo en días.

En cuanto al efecto de las temperaturas cuando superan los 32 °C (Vu et al., 1997) o 33 °C (Egli y Wardlaw, 1980), Reynolds et al. (2001) señalan que las respuestas iniciales de las plantas se evidencian a través de cambios en las tasas y duraciones de procesos fisiológicos de crecimiento y desarrollo, lo que repercute negativamente en el rendimiento. A su vez, estos efectos se pueden clasificar en directos o indirectos. Los efectos indirectos se producen cuando la temperatura afecta a los componentes del rendimiento a través de sus efectos sobre otros procesos, como son fotosíntesis y

translocación de asimilados a los granos. En cambio, los efectos directos son aquellos que afectan al componente del rendimiento que se define prioritariamente durante el episodio, modificando su generación, supervivencia o crecimiento posterior. En relación a esto, Rossi y González (2006) afirman que la ocurrencia de altas temperaturas asociadas a una baja disponibilidad hídrica durante el llenado de granos, generalmente dan origen a granos pequeños, inmaduros, verdes, arrugados o deformados.

Girón et al. (2015) señalan que los efectos de fotoperíodo y temperatura son contrapuestos, debido a que los días largos disminuyen la tasa de desarrollo hasta la etapa de floración, pero por otro lado las temperaturas elevadas en las etapas tempranas del cultivo, debido a un atraso en la fecha de siembra, acelera el desarrollo hacia floración. Major et al. (1975) indican que, en la etapa de floración a madurez, este efecto contrapuesto de fotoperíodo y temperatura también ocurre, las temperaturas son menores y los fotoperíodos cortos, como consecuencia la temperatura haría aumentar la duración del período mientras que el fotoperíodo acortarla.

La RS interceptada está directamente relacionada con la TCC y la acumulación de MS (Kantolic et al., 2003). A medida que se produce un aumento en el nivel de RS durante la etapa de llenado de grano, el rendimiento se incrementa, su incidencia sobre la producción de grano, al igual que la temperatura, crece a medida que se atrasa la fecha de siembra (Baigorri y Croatto, 2000). A su vez, Egli y Bruening (1992) aseguran que los niveles más bajos de radiación durante la etapa reproductiva sería el factor más importante que explica los menores rendimientos obtenidos en siembras tardías.

Por medio del atraso de la fecha de siembra, los efectos de los factores ambientales como el fotoperíodo, temperatura y RS pueden afectar de forma negativa la germinación de la semilla, la TCC, la altura de la planta, la duración de las etapas de crecimiento, la eficiencia de uso de la radiación, el IAF y por lo tanto el rendimiento en grano (Hu y Wiatrak, 2012). Las siembras tardías generan que el cultivo crezca en condiciones ambientales desfavorables, principalmente se ve afectada la etapa reproductiva, porque los días son más cortos y la temperatura y RS son menores (Knapp et al., citados por Egli y Bruening, 2000). Además de una disminución del crecimiento vegetativo causada por una prematura floración (Angeletti, 2010). En esta misma línea, Major et al. (1975) concluyen que con un atraso en la fecha de siembra el desarrollo se acelera por las elevadas temperaturas que se producen durante la etapa vegetativa y por efectos fotoperiódicos en etapas reproductivas.

La alta plasticidad en cobertura de la soja no se expresa en siembras tardías debido a que la aceleración del desarrollo le impide a la planta expresar su potencial de ramificación, con lo cual se disminuye el número de granos. El desarrollo reproductivo es acelerado por influencia directa del fotoperíodo, que al acortarse incide directamente en el llenado de los granos acortando el período a madurez fisiológica (Forján e Iriarte, s.f.). Los efectos del atraso de la fecha de siembra sobre los componentes del

rendimiento como el número de granos por superficie y el peso de grano, fueron estudiados por Egli et al. (1987), concluyendo que la disminución en el número de granos por superficie estuvo relacionada a menores tasas fotosintéticas ocasionadas por menor RS y temperatura del aire. Por otro lado, los menores valores obtenidos para el peso de grano, no se debieron a una menor duración del período de llenado de granos, por el contrario, este se alargó, debido a temperaturas más bajas, siendo estas las responsables de la disminución del peso de grano.

A su vez, Martignone et al. (2016) observaron que, en las siembras tardías, como consecuencia de un rápido acortamiento de los días y elevadas temperaturas en las primeras etapas del cultivo, se produce una menor duración de la etapa vegetativa. Por tanto, se logra un menor número de nudos por planta, que determina un menor IAF y una menor acumulación de MS, también se acorta el período de llenado de granos debido al acortamiento de los días y se produce menor acumulación diaria de MS durante la etapa reproductiva por menor temperatura y RS incidente. En esta misma línea, Pedersen y Lauer (2004) mediante un experimento donde utilizaron dos fechas de siembra (una óptima y una tardía) midieron la altura de planta a los 64 días post emergencia y constataron que bajo siembras tardías las plantas eran 35 cm más cortas en relación a las sembradas en fecha óptima. También notaron que las plantas sembradas en fecha óptima presentaron un promedio de 16,3 nudos en el tallo principal, en cambio las sembradas tardíamente presentaron 15,5 nudos promedio. Además, Bastidas et al. (2008) constataron que se producen alrededor de 0,13 a 0,14 nudos menos por día de retraso de la siembra.

Zanon et al. (2016) determinaron una penalización de 26 kg.ha<sup>-1</sup> por cada día de retraso en la siembra después del 4 de noviembre que es equivalente a un 0,5 % d<sup>-1</sup>, en ensayos realizados en el sur de Brasil (Santa María, Passo Fundo y Pelotas). Esta penalización estuvo asociada a diferencias en el coeficiente fototermal (Q) durante el PC para determinación del rendimiento. El valor de Q durante R3 a R7, tenía mayor poder explicativo en relación con otras etapas de desarrollo. Este valor disminuye linealmente con retraso de la fecha de siembra. Por otro lado, Calviño et al. (2003) mencionan que la tasa promedio de disminución de rendimiento con la siembra tardía, desde mediados de diciembre, ronda el 2% d<sup>-1</sup> en el sur de la Pampa, Argentina. Dicha reducción fue consecuencia de una reducción en el tiempo térmico acumulado a la mitad en la etapa R5-R7. Esto concuerda con lo registrado por Boerma y Ashley (1982), quienes obtuvieron una pérdida de 1,8% del rendimiento, por cada día de atraso en la siembra desde tardías a muy tardías. Las diferencias en rendimiento, registradas por Fassio et al. (2017) entre una fecha de siembra óptima (7/11) y una tardía (15/12), fueron de 880 kg.ha<sup>-1</sup> para cultivares de GM corto y de 2.311 kg.ha<sup>-1</sup> para GM largos.

La disminución de rendimiento debido a fechas tardías según Boerma y Ashley (1982) no puede ser eliminada con el riego, ya que lo que determina esa penalización es el menor aprovechamiento de las condiciones ambientales. Por otro lado, los autores en

siembras tardías registraron aumentos de rendimiento del orden de 356 % ( $2.623 \text{ kg ha}^{-1}$ ) en tratamientos bajo riego en comparación a secano en un año extremadamente seco. En cambio, en un año lluvioso esta diferencia fue solamente del 38 % ( $451 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Por lo tanto, en siembras tardías en las que el PC se ubica en momentos donde la probabilidad de ocurrencia de déficits hídricos es menor, la aplicación del agua de riego se justificaría más en años secos, ya que las diferencias en rendimiento con secano en años lluviosos son bajas. Además, señalan la importancia de que en siembras tardías, el riego se aplique durante todo ciclo y no solo en el PC, dado el acortamiento de la fase vegetativa y la importancia de esta en el rendimiento final.

#### 2.4.2. Interacción con grupo de madurez

Bajo condiciones hídricas no limitantes, el factor más importante que incide en el rendimiento de soja es la interacción entre la duración del ciclo y la época de siembra. Esto demuestra que la duración del ciclo debe ser elegida en función de la fecha de siembra. En este escenario, los cultivares de ciclo medio podrían estar generando una respuesta intermedia entre los cultivares de ciclo corto y largo, teniendo como ventaja un aumento en rendimiento en relación con los de ciclo largo sembrados muy tarde o con los cortos en siembras tempranas (Fassio et al., 2017). A su vez, Ceretta e Ibáñez (s.f.) aseguran que existe una fuerte interacción entre el GM y la fecha de siembra, la cual es más marcada cuando se trata de fechas posteriores al 15 de diciembre. Para estos casos, GM más cortos como III y IV presentan importantes ventajas en cuanto a rendimiento en relación a GM medios y largos.

En fechas de siembras tardías con cultivares de ciclo largo, la etapa de llenado de grano se ubica cercana al otoño, como consecuencia el cultivo recibe menor RS y temperatura comparado con uno sembrado en fecha óptima (Fassio et al., 2017). Por otro lado, Egli y Bruening (2000) señalan que la combinación de cultivares de GM cortos en siembras tardías pueda generar que el desarrollo de la etapa reproductiva se produzca en un ambiente más favorable. Es posible que la ocurrencia temprana de la etapa reproductiva en GM cortos pueda reducir la disminución de rendimiento asociada a siembras tardías. En relación a lo anterior, Cregan y Hartwig, citados por Fassio et al. (2017) afirman que el atraso en la fecha de siembra, en relación con el fotoperíodo crítico, causó una disminución del largo de ciclo relativamente mayor, a mayor ciclo del cultivar.

Ceretta e Ibáñez (s.f.) ajustando una regresión lineal a los rendimientos por GM en condiciones de siembras tardías, obtuvieron que en promedio se pierden  $80 \text{ kg.ha}^{-1}$  por cada unidad incrementada en el GM. Por esta razón recomiendan usar cultivares precoces como por ejemplo GM de 3.8 a 5.1 ya que esto aumentaría la posibilidad de concretar un rendimiento relativo más elevado y posibilitaría una cosecha más temprana, lo que podría ser ventajoso teniendo en cuentas las PP del otoño próximo. En esta misma

línea, Salmeron et al. (2014) mediante un experimento bajo riego donde se evaluaron diferentes GM (III, IV, V y VI) en diferentes localidades del centro-sur de EEUU y distintas fechas de siembra (tempranas, óptimas y tardías), concluyeron que para siembras tardías los cultivares pertenecientes al GM IV obtuvieron los mayores rendimientos seguidos por los de GM III. Por otra parte, Larrama (2019) en la EEMAC para la zafra 2016/17 logró rendimientos cercanos a 6000 kg.ha<sup>-1</sup> en una situación de fecha de siembra tardía (8/12), no registrando diferencias entre la variedad DM 4915 (GM IV) y DM 6563 (GM VI), esto teniendo en cuenta la ocurrencia de condiciones ambientales superlativas durante el ciclo del cultivo para dicha zafra.

## 2.5. ESTRUCTURA DEL CULTIVO

La estructura del cultivo se define como el número de plantas por hectárea y su distribución espacial, o sea a qué distanciamiento se establecerán entre dos o más surcos esas plantas, lo que a su vez define la distancia de las plantas dentro de la línea de siembra (Baigorri y Croatto, 2000).

En ausencia de deficiencias hídricas y nutricionales, y cuando se controlan debidamente los factores reductores, la obtención de altos rendimientos en soja se relacionará directamente con la capacidad de captura de RS por parte del canopeo, entre otras cosas. El cultivo deberá desarrollar un área foliar que permita maximizar la intercepción de RS incidente para que los fotosintatos estén disponibles en momentos críticos donde se definen el número y peso de los granos (Salvagiotti, 2009).

Una correcta elección de la densidad de plantas y espaciamiento entre hileras es fundamental para optimizar la productividad de los sistemas agrícolas. La soja presenta una gran capacidad de compensación para producir granos en situaciones en las que los recursos son limitados (Valentinuz, citado por Bodrero, 2003). A través de la elección de la densidad de plantas y el espaciamiento entre hileras, el productor podría estar asegurando la obtención de una cobertura vegetal adecuada previo a los momentos críticos para la determinación del rendimiento (Vega y Andrade, 2000).

### 2.5.1. Distancia entre hileras

El manejo de la DH es una variable que puede presentar en algunas situaciones, un efecto importante en el rendimiento de los cultivos. Una DH que logre una distribución más equidistante de las plantas va a lograr un cierre del canopeo más temprano, asegurando una correcta cobertura del suelo en los momentos críticos donde se determina el rendimiento (Shibles y Weber, 1966). En este sentido, Baigorri y Croatto (2000) señalan que una distribución espacial de plantas ideal es aquella que presenta equidistancia en la línea de siembra y entre líneas de siembra. Esta distribución debe

lograr una cobertura que asegure un uso eficiente de la RS, agua y nutrientes, un buen crecimiento, pero evitando el vuelco, una reducción en la incidencia de enfermedades y una altura adecuada de inserción de las vainas inferiores que facilite la cosecha evitando pérdidas durante la misma.

En siembras tardías, una disminución de la DH, colaboraría en la disminución de pérdidas en rendimiento ocasionadas por una menor duración de la etapa vegetativa (Angeletti, 2010). La reducción de la DH, cuando la densidad se mantiene constante, provoca que el espacio por planta dentro de la línea se ve mejorado y por lo tanto disminuya la competencia intraespecífica por luz, agua y nutrientes durante las etapas iniciales del cultivo, obteniendo como resultado plantas de mayor tamaño, con mayor área foliar y más nudos (Vega y Andrade, 2000). Esto coincide con lo afirmado por Shibles y Weber (1966), quienes mencionan que una ventaja de un espaciado entre hileras más estrecho es la obtención de un espaciado más equidistante entre plantas, lo que conduce a un mayor desarrollo del área foliar y una mayor intercepción de radiación. Además, Weber et al. (1966) señalan que el beneficio obtenido por utilizar una menor DH se minimizaría en ambientes más productivos y se maximizaría en ambientes pobres desde el punto de vista productivo.

Baigorri y Croatto (2000) observaron que un espaciamiento óptimo puede estar determinado por condiciones climáticas, lo que hace que pueda variar entre años. Se recomienda reducir el espaciado cuando el cultivar elegido para un determinado ambiente y fecha de siembra no logra un crecimiento adecuado. Además, señalan que un espaciado de 0,35 m sería aconsejable para siembras tardías, independientemente del cultivar. En cambio, para situaciones de siembra tardía en Uruguay, Ceretta e Ibáñez (s.f.) recomiendan además de elegir dentro del GM cultivares de buen porte de planta, disminuir el espaciado entre hileras a 0,20 m. Esto se explica, según Board et al. (1996b) porque en siembras tardías las plantas logran un menor crecimiento (menor cantidad de nudos, menor altura y menor IAF), por lo tanto, si la siembra se realizara a un menor distanciamiento, se lograría una mejor intercepción de la RS y por lo general un mayor rendimiento. Por otra parte, De Bruin y Pedersen (2008) mencionan que en Estados Unidos las DH más comúnmente utilizadas son de 0,76 m, aunque a través de los años la tendencia ha sido disminuirlas.

#### 2.5.1.1. Área foliar y eficiencia de intercepción de radiación solar

La cantidad de RS interceptada que puede acumular un cultivo va a depender de la duración del ciclo y de la dinámica de intercepción de dicho cultivo. Esta dinámica está estrechamente ligada a la evolución del IAF, el cual se define como la superficie foliar fotosintéticamente activa por unidad de superficie de suelo (Cárcova et al., 2003). A su vez, Shibles y Weber (1965) señalan que el IAF y el coeficiente de extinción de la luz, son los factores que más afectan la intercepción de RS por parte del cultivo. El IAF,

según Cárcova et al. (2003) se origina con la aparición y expansión de las hojas y es producto del número de hojas y del tamaño de las mismas. Para alcanzar óptimos valores de intercepción de la radiación por parte de un cultivo, es de gran importancia generar en forma temprana un IAF que permita interceptar rápidamente la mayor proporción de la radiación incidente y además es esencial que este valor de IAF se mantenga durante la mayor cantidad de tiempo posible. El valor mínimo de IAF con el cual se logra el 95 % de la intercepción se conoce como IAF crítico, el cual para Mondino y Gómez (2006) es de 3,5 a 5. La eficiencia de intercepción afecta la cantidad de RS interceptada y este efecto es menor cuando el IAF en período vegetativo es menor (Board y Harville, 1996a).

Capurro et al. (2006) afirman que, bajo fechas de siembra tardías, las plantas alcanzan un crecimiento menor, por lo tanto, si se disminuye la DH se lograría una mayor intercepción de la RS y eficiencia de esta. Esto fue confirmado por varios autores mediante experimentos donde se evaluaron diferentes distanciamientos entre hileras que van desde 0,19 m a 1 m, en donde todos concluyeron que un menor espaciamiento se tradujo en un mayor IAF y por lo tanto un mayor porcentaje de radiación interceptada y eficiencia de esta (Board et al. 1990, Board et al. 1996b, Andrade et al. 2002, Bodrero 2003, Martignone et al. 2011). A su vez Board et al. (1990) señalan que un aumento de la duración del IAF desde emergencia a R5 en filas estrechas fue causado por un aumento en el número de hojas por  $m^{-2}$  y no debido a cambios en el área de cada hoja. Además, el número de hojas por  $m^{-2}$  medido en R1 y R5 siempre fue significativamente mayor en las filas estrechas comparado con las anchas.

Por el contrario, Girón et al. (2015) mediante la evaluación de distintas DH (0,20 m, 0,40 m y 0,525 m), constataron que no hubo diferencias significativas en cuanto al porcentaje de radiación interceptada. En este sentido, en un experimento realizado por Board et al. (1994), también constataron que no hubo diferencias significativas en cuanto a RS interceptada por el canopeo cuando se compararon DH de 0,25 m y 0,50 m. Aunque si encontraron diferencias para distancias de 1 m, en donde el IAF fue significativamente menor que para las otras distancias.

#### 2.5.1.2. Producción de materia seca

Una elevada RS y temperaturas diurnas óptimas para el proceso fotosintético, que posibiliten altas TCC y prolongadas duraciones de las etapas fenológicas, son dos de los principales factores que hacen posible la obtención de una alta producción de MS (Andrade y Sadras, 2000). Según Mondino y Gómez (2006) en el cultivo de soja, después de R5.5 es cuando se produce la mayor acumulación de MS vegetativa, mientras que a comienzos de R7 se logran los máximos valores de MS reproductiva como también los mayores valores de MS total.

Board et al. (1996b) señalan que existe una alta correlación entre la MS total acumulada a R5 y el rendimiento. Este parámetro puede ser utilizado como un buen indicador de rendimiento en siembras tardías. Esto fue confirmado por diversos autores mediante experimentos donde se evaluó el efecto de diferentes DH, que iban de 0,26 m a 1 m, obteniéndose valores de MS a R5 de un rango de 270 a 600 g.m<sup>-2</sup> y a R7 de 362 a 635 g.m<sup>-2</sup>. Todos concluyeron que a menor DH, la acumulación de MS fue mayor y además, esta mayor acumulación de MS se correlacionó con un mayor rendimiento y componentes como número de nudos productivos, número de vainas y número de granos por superficie (Egli et al. 1987, Board et al. 1990, Board et al. 1996b, Board y Modali 2004, Martignone et al. 2011, Worku y Astatkie 2011). Sin embargo, Egli et al. (1987) señalan que con DH estrechas, el rendimiento tiende a incrementarse cuando la acumulación de materia seca a R5 está por debajo de 500 g m<sup>-2</sup>. La mayor acumulación de MS en DH más estrechas, es explicada por una mayor RS interceptada y eficiencia de intercepción, lo que tiene como consecuencia una mayor TCC (Board y Harville, 1996a).

#### 2.5.1.3. Tasa de crecimiento del cultivo

La diferencia de crecimiento entre dos momentos del ciclo medida en términos promedio y diarios, se conoce como TCC la cual está muy relacionada a la intercepción de RS, la que a su vez depende del IAF. La TCC aumenta conforme aumenta el IAF hasta que este alcanza un valor crítico capaz de interceptar el 95% de la RS incidente (Baigorri y Croatto 2000, Toledo 2015). Según Radford (1967) la TCC es el índice más adecuado para determinar el incremento del canopeo y además indica la acumulación de MS por unidad de superficie y tiempo. La TCC generalmente es máxima durante la floración, luego se estabiliza y finalmente disminuye cuando se acerca la madurez (Salado Navarro, citado por Toledo, 2015). Board y Harville (2006) señalan que una mayor TCC durante el PC de determinación del rendimiento, puede estar explicada por un aumento en la fuente generada en el período vegetativo.

Parvez et al. (1989) sostienen que la mayor TCC en distancia entre filas menores en comparación a distancias mayores se correlacionó positivamente con un aumento de biomasa y rendimiento en grano. En este sentido, bajo condiciones inadecuadas de crecimiento en cuanto a condiciones ambientales e hídricas, en siembras tardías, una reducción en la DH, generó un aumento en la TCC, dando como resultado un mayor rendimiento (Board et al., 1996b). Martignone et al. (2011) en un experimento evaluando la respuesta a la DH en dos fechas de siembra (óptima y tardía) y en dos zafas (2009 y 2010), obtuvieron valores de TCC de 14,5 g.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> para una DH de 0,26 m y 12,6 g.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> para 0,52 m durante la zafra 2010 en siembras tardías. En la zafra 2009 las diferencias en cuanto a TCC para las dos DH, en fechas de siembras tardías, no fueron estadísticamente significativas, esto demuestra que no es posible afirmar una correlación alta entre DH estrechas y altas TCC, ya que esto puede variar entre años.

#### 2.5.1.4. Rendimiento y sus componentes

El rendimiento de un cultivo de grano se genera a lo largo de todo el ciclo del mismo, debido al aporte que realizan las distintas estructuras que lo componen. Por lo tanto, se puede definir el rendimiento como un conjunto de distintos componentes que se generan durante el desarrollo del cultivo, quedando cada uno de ellos fijado en determinado momento (Cárcova et al., 2003). Los dos principales componentes del rendimiento de soja son el número de granos por unidad de superficie y el peso promedio unitario de los granos (Cárcova et al., 2003). El número de granos por unidad de superficie es el componente que está más relacionado con el rendimiento y a su vez es el más sensible a la influencia del ambiente. Este presenta una relación lineal con la TCC durante el PC de determinación del rendimiento (R3-R6). Por otra parte, el peso de granos depende del genotipo, de las condiciones ambientales que determinan la capacidad fotosintética del canopeo y la duración de la etapa de llenado de grano (Egli et al., 1987).

Board et al. (1996b) encontraron diferencias significativas en cuanto a rendimiento ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) y número de vainas por superficie para dos DH, siendo mayores los valores en 0,50 m comparado con 0,91 m, para el año 1992 donde hubo condiciones inadecuadas de crecimiento en cuanto a condiciones ambientales e hídricas y el cultivo acumuló menos MS. En cambio, en el año 1993 donde las condiciones ambientales e hídricas fueron propicias para el crecimiento del cultivo, no registraron diferencias significativas en cuanto a rendimiento para las dos distancias estudiadas, pero sí para número de vainas por superficie. En una situación de siembra tardía, evaluando DH de 0,26 m y 0,52 m, Bacigaluppo et al. (2011) registraron los mayores valores en cuanto a número de granos por superficie con una DH estrecha, aunque esto no se tradujo en un mayor rendimiento. Además, De Bruin y Pedersen (2008) también obtuvieron mayores rendimientos con DH menores, explicado por un mayor número de granos y no por mayor peso de granos, ya que no hubo diferencias significativas para este último componente. Lo mismo fue evidenciado por Worku y Astatkie (2011), donde aumentos en el rendimiento para DH menores, estuvieron explicados por un aumento en el número de vainas por metro cuadrado y número de granos por  $\text{m}^2$ .

Los aumentos en rendimiento al disminuir la DH, principalmente cuando se trata de siembras tardías, están asociados directamente a mayores valores de RS interceptada, a una mayor eficiencia de intercepción de la RS, lo que se traduce en una mayor TCC en PC de determinación del rendimiento y por ende una mayor acumulación de MS. Esto tiene como consecuencia directa el aumento de los componentes y sub componentes del rendimiento (Martignone et al., 2011). Por el contrario, Board et al. (1994), Girón et al. (2015), no encontraron aumentos en el rendimiento generados por una disminución en la DH.

### 2.5.2. Densidad de plantas

La selección de la densidad de plantas adecuada para un sistema de producción de soja puede afectar el potencial óptimo de rendimiento, los rendimientos netos económicos, así como algunos factores negativos, incluido el vuelco. La elección de la población de plantas deseada debe tener en cuenta entre otros factores, la fecha de siembra, el GM y la DH (Koger, s.f.). Se considera como una densidad de plantas óptima aquella que a través de un número mínimo de plantas se logre producir un máximo rendimiento. Esta depende de condiciones ambientales, del manejo, y características propias de la especie o del genotipo (Vega y Andrade, 2000). A su vez, Baigorri y Croatto (2000) afirman que una densidad de plantas óptima es la que permite un buen crecimiento evitando el vuelco, que reduzca la incidencia de enfermedades y que asegure una adecuada altura de inserción de las vainas inferiores para facilitar la cosecha y evitar pérdidas durante la misma. Además, señalan que esta densidad óptima es dependiente de la fecha de siembra, latitud, condiciones ambientales, características del cultivar y espaciamiento entre hileras, se recomienda aumentar la densidad mientras más tardía sea la siembra.

Según Duncan (1986) hay tres fases en la respuesta del rendimiento de la soja al aumento de la población de plantas. A muy baja población (1 o 2 plantas por m<sup>2</sup>) no hay competencia interplanta y el rendimiento por planta se maximiza, esta sería la Fase I, la Fase II comienza cuando las plantas compiten entre sí por los recursos necesarios, esta fase se caracteriza por una relación positiva con el aumento de la población de plantas, aunque los incrementos de rendimiento marginales son menores para cada planta adicional. Esta relación continúa para poblaciones de plantas mayores que las requeridas para interceptar el 95% de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) disponible, lo que indica que la intercepción completa de RFA no garantiza el logro de rendimientos máximos. En la Fase III, se maximiza el rendimiento de soja por unidad de superficie y no hay más incrementos en el rendimiento por aumentar la población de plantas.

La densidad de plantas óptima para el cultivo de soja puede ser muy variable, se han encontrado valores que van de 30.000 a 500.000 pl.ha<sup>-1</sup> (Egli et al. 1988, Wells 1991), incluso, para un mismo cultivar creciendo en el mismo lugar, la población óptima puede variar un 100 % o más entre años (Wells, 1991). Fassio et al. (2016) afirman que la población de plantas objetivo promedio utilizada en Uruguay es de 360.000 pl.ha<sup>-1</sup> para siembras de primera y 385.000 pl.ha<sup>-1</sup> para siembras de segunda. Mientras que, Prado y Hamawaki (2008), Rodríguez et al. (2015) determinaron poblaciones objetivo de 300.000 a 400.000 pl.ha<sup>-1</sup> y 320.000 a 360.000 pl.ha<sup>-1</sup> para Brasil y Argentina respectivamente. La disminución de la población de plantas de soja a un nivel que todavía optimice el rendimiento (población mínima óptima de plantas) se ha vuelto muy

importante debido al sostenido aumento del costo de la semilla (Board y Kahlon 2012, Rodríguez et al. 2015).

#### 2.5.2.1. Intercepción y utilización de radiación solar

Purcell et al. (2002) indican que la intercepción de RS por parte de las plantas y la utilización de esta radiación para la producción de biomasa vegetal, son dos procesos fundamentales que determinan el crecimiento y rendimiento de los cultivos. En los sistemas de producción de corta duración y tiempo limitado, como es el caso de una siembra tardía, una alta población de plantas es una forma clave de garantizar que la soja tenga máxima intercepción de luz en el menor tiempo posible, TCC y biomasa. Además, para los sistemas de producción de soja tardía, las poblaciones altas son un medio clave para establecer suficiente área foliar para un crecimiento y rendimiento máximo de los cultivos (Ball et al., 2000).

Asumiendo que la eficiencia en el uso de la radiación es constante y que la duración del ciclo del cultivo no se ve afectada por la densidad de plantas, un aumento de esta acortaría notoriamente el tiempo requerido para lograr la máxima intercepción de luz, incrementando la acumulación total de RFA (Purcell et al., 2002). Para los sistemas de producción de soja de siembra tardía, la alta densidad de plantas asegura el cierre temprano de la entrefila, la máxima intercepción de luz y altas TCC (Ball et al., 2001). La intercepción de luz está directamente relacionada con el IAF. El mismo en soja presenta una respuesta de tipo asintótica frente a aumentos en la densidad como consecuencia de una elevada capacidad de ajuste del área foliar por planta (Wells, 1991).

En un experimento donde se evaluó la intercepción y la eficiencia en el uso de la radiación en relación a la densidad de plantas, Purcell et al. (2002) concluyeron que la intercepción de RS aumentó hasta densidades de aproximadamente 50 pl.m<sup>2</sup>. Además, señalan que la eficiencia en el uso de la radiación disminuyó con el aumento de la densidad de plantas, debido a la senescencia de hojas inferiores. A su vez, Rotundo et al. (s.f.) obtuvieron los menores valores de intercepción de RS con las poblaciones más bajas, este parámetro aumenta conforme aumentaba la población. Por otra parte, Vega y Andrade (2000) obtuvieron valores significativamente mayores de RFA interceptada para tratamientos con una densidad de 55,3 pl.m<sup>2</sup>, en comparación con tratamientos donde la densidad fue de 30,4 y 7,7 pl.m<sup>2</sup>. Los mayores valores de radiación interceptada obtenidos con poblaciones también mayores se deben principalmente a un aumento del IAF (Wells, 1991).

### 2.5.2.2. Producción de materia seca

La producción de MS es función de la cantidad RFA incidente, de la proporción de esta que es interceptada y de la eficiencia de conversión de dicha radiación interceptada (Martignone et al., 2010). La misma, según Pedersen (2004) está influenciada por la TCC, la tasa de crecimiento relativa la cual es un indicador importante de la estrategia de la planta con respecto a la productividad y los regímenes de disturbio del ambiente y la tasa de asimilación neta la cual se define como la eficiencia del follaje que es la principal fuente de fotoasimilados para la producción de MS. Weber et al. (1966) sostienen que la MS acumulada y el IAF son pobres predictores del rendimiento. Por el contrario, Duncan (1986) proponen que una mayor MS total se correlaciona positivamente con mayores rendimientos.

Vega y Andrade (2000) registraron valores de MS acumulada durante el ciclo del cultivo de 7.410 kg.ha<sup>-1</sup>, 9.740 kg.ha<sup>-1</sup> y 9.670 kg.ha<sup>-1</sup> para densidades de 7,7, 30,4 y 55,3 pl. m<sup>2</sup> respectivamente, siendo los dos últimos significativamente mayores que el primero. Por otro lado, Rahman y Hossain (2011) observaron valores de MS total acumulada a R5 de 7.200 kg.ha<sup>-1</sup> y 4.150 kg.ha<sup>-1</sup> para densidades de 60 y 20 pl. m<sup>2</sup> respectivamente. Bustamante y Espínola (2015) realizando experimentos en la EEMAC, determinaron valores máximos de MS acumulada a R4 y R6 de 9.500 kg.ha<sup>-1</sup> y 14.100 kg.ha<sup>-1</sup> respectivamente, para una población de 385.000 pl.ha<sup>-1</sup> con bienestar hídrico; no presentando diferencias significativas con poblaciones más altas y más bajas. Los valores más altos de MS acumulada ocasionados por una mayor densidad de plantas, en ausencia de limitantes hídricas, se explican por un mayor aprovechamiento de la RS, lo que se traduce en aumento de la fotosíntesis y partición de fotoasimilados a los distintos órganos de la planta (Andrade y Sadras, 2002).

### 2.5.2.3. Altura de planta

Las plantas resultantes de una baja densidad son a menudo cortas, de tallos gruesos, muy ramificadas en los nudos inferiores y tendrán más vainas cerca del suelo. En cambio, en densidades altas (mayores a 370.000 pl.ha<sup>-1</sup>) son altas, delgadas y más susceptibles al vuelco. El vuelco afecta la estructura del canopeo y si ocurre en R3, se perjudican las vainas, el desarrollo de los granos y por lo tanto el rendimiento, además de reducir la eficiencia de la cosecha (Elmore y Heatherly, 2004). En este sentido, Baigorri y Croatto (2000) señalan que el vuelco está estrechamente asociado a la altura de planta. Una práctica importante para reducirlo es el manejo de la densidad de siembra. Las plantas más altas son más susceptibles al vuelco. Esto se ve expresado en mayor medida en cultivares de GM medio y largo (Baigorri y Croatto, 2000).

Epler y Staggenborg (2008) observaron que la altura de planta fue afectada por la densidad. A medida que la densidad aumentó, la altura de planta aumentó de forma cuadrática, alcanzando un máximo con densidades de 195.000 pl.ha<sup>-1</sup>. Por otra parte, Elmore (1998) señala que la altura de planta se asoció con la densidad de plantas, pero solo cuando las poblaciones finales fueron mayores a 346.000 pl.ha<sup>-1</sup>. De Bruin y Pedersen (2008) observaron que para tratamientos con densidades de 316.000 y 402.700 pl.ha<sup>-1</sup> la altura de planta aumentó 2 y 6 cm respectivamente, en comparación a 166.900 y 258.600 pl.ha<sup>-1</sup>.

#### 2.5.2.4. Rendimiento y componentes principales

Los estudios de densidad de plantas durante los últimos 60 años han demostrado que el rendimiento aumenta a medida que se incrementa la densidad de plantas hasta cierto nivel, por encima del cual no hay aumento en el rendimiento y en algunos casos este puede disminuir (Ball et al., 2000). El aumento del vuelco (Cooper, 1971) o la disminución en el índice de cosecha (Weber et al., 1966) han sido considerados como dos de los factores responsables de que el rendimiento a cierto nivel de población de plantas deje de aumentar o disminuya (Purcell et al., 2002). Por otra parte, Koger (s.f.) señala que el rendimiento es insensible a una amplia gama de densidades de siembra.

En soja, ante aumentos en la densidad de plantas el rendimiento es más estable (Carpenter y Board, 1997). La alta plasticidad tanto vegetativa como reproductiva que presenta la soja, es la responsable de la mayor estabilidad de los rendimientos (Vega y Andrade, 2000). De los componentes del rendimiento de soja, el que más se ve afectado ante cambios en la densidad de plantas es el número de granos por unidad de superficie. Sin embargo, el peso de granos, ante cambios en la densidad de plantas, es muy poco afectado (Ball et al., 2000). Ball et al. (2001) observaron que los efectos directos con respecto a la densidad de plantas fueron principalmente en vainas por planta, luego grano por vaina y por último el peso de grano. El efecto indirecto del aumento de la población sobre el rendimiento a través del número de vainas por planta fue negativo, esto refleja la relación inversa que hay entre el aumento de densidad y el número de vainas por planta.

El número de granos y vainas por planta se reduce, aumentando la población, pero esta reducción se compensa por el mayor número de plantas por m<sup>2</sup> hasta una población óptima (Boquet, 1990). Ball et al. (2000) destacan que mientras las poblaciones extremas pueden permitir un mayor número de granos, la competencia intensa entre plantas puede anular la ventaja de un valor mayor de este componente. Pedersen (s.f.) señala que del 2003 al 2010, una gran cantidad de trabajos han sido llevados a cabo en Iowa, los cuales permiten concluir que una densidad de 240.000 pl.ha<sup>-1</sup> bien distribuidas maximizaría el rendimiento económico sin tener en cuenta la

fecha de siembra y el espaciamiento entre hileras. En este caso, no parecería ser ventajoso desde el punto de vista económico, siembras por debajo o por encima de 240.000 pl.ha<sup>-1</sup>.

Pérez (s.f.) realizando ensayos donde evaluó el efecto de distintas densidades de plantas, concluyó que con un rango de 16 a 20 pl.m<sup>2</sup>, hay una mayor probabilidad de obtener el 98 % del rendimiento máximo. Además, densidades mayores a 30 pl.m<sup>2</sup> no tuvieron efectos positivos en el rendimiento. A su vez, De Bruin y Pedersen (2008) con una densidad de plantas a la cosecha de 402.700 pl.ha<sup>-1</sup> lograron el máximo rendimiento, el cual fue de 5.486 kg.ha<sup>-1</sup>. Por otra parte, Fassio et al. (2016) observaron que disminuyendo la densidad de plantas a cosecha de 40 a 20 pl.m<sup>2</sup>, se logró una ganancia de 400 kg.ha<sup>-1</sup>, además de un considerable ahorro de semilla. Para GM III, en siembras tardías, la densidad de plantas mínima que maximiza el rendimiento es de 30 pl.m<sup>2</sup>, mientras que para GM IV y V esta densidad mínima que maximiza el rendimiento es de 10 a 20 pl.m<sup>2</sup> (Rotundo et al., s.f.).

### 2.5.3. Interacción entre población y DH

Para maximizar los rendimientos se necesita seleccionar cultivares que tengan un crecimiento vegetativo rápido, el cual se mide como número de nudos por planta y además una rápida cobertura del suelo que logre superar el 90% de radiación interceptada en R5. A su vez, es imprescindible seleccionar la densidad de plantas y la DH para maximizar el número de nudos por unidad de superficie (Martignone et al., 2016). Por otra parte, Salvagiotti (2009) afirma que si se siembran tardíamente cultivares de GM corto, el desarrollo foliar y el número potencial de nudos se vería limitado, por lo tanto, sugiere aumentar la densidad y acortar la DH para lograr un mayor crecimiento foliar y aumentar el número de nudos por superficie.

Rambo et al. (2003) encontraron que hubo respuesta del rendimiento para la interacción de DH y población. El arreglo de plantas que presentó un mayor rendimiento fue la combinación de 20 pl.m<sup>-2</sup> como densidad y un espaciamiento de 0,20 m, el mismo fue de 5.014 kg.ha<sup>-1</sup>. Los autores concluyen que el arreglo de plantas con menor espaciamiento y población proporciona una menor competencia intraespecífica, resultando en mayor rendimiento en grano, ocasionado por un mayor número de vainas por unidad de superficie y mayor peso de grano.

Cavalheiro Tourino et al. (2002) mediante un experimento donde evaluaron DH de 0,45 m y 0,60 m y densidades de plantas en el metro lineal de 10, 13, 16, 19 y 22, encontraron que la productividad de soja aumenta con la reducción de la DH en conjunto con una disminución de la densidad de plantas en el metro lineal. Además, indican que la combinación de 0,45 m de espaciamiento y 10 plantas en el metro lineal tiene como consecuencia una mejor distribución de las plantas y por lo tanto un mayor cierre de las

entre filas. Por otra parte, Baigorri y Croatto (2000) evaluando el efecto de la DH y la densidad de siembra en la acumulación de MS total del cultivo en siembras tardías, encontraron los mayores valores para combinaciones de 0,35 m de DH y 38 semillas por m<sup>2</sup>, además evaluaron distancias de 0,50 y 0,70 m y densidad de siembra de 18 semillas por m<sup>2</sup>.

Boquet (1990) evaluando el efecto de dos DH y distintas densidades de plantas con GM IV y VII obtuvo los mayores rendimientos con la combinación de menor DH y población de 380000 plantas en condiciones de siembra tardía bajo riego. El mayor rendimiento fue explicado por un mayor aprovechamiento de las condiciones ambientales como consecuencia de una mayor uniformidad del cultivo. Además, señala que, para siembras tardías, con espaciamentos entre hileras más estrechos es necesario aumentar la densidad de plantas. En esta misma línea, De Bruin y Pedersen (2008) lograron los mayores rendimientos con la combinación de la menor DH (0,38 m) con la mayor densidad de plantas (402.700 pl.ha<sup>-1</sup>).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO

El ensayo se llevó a cabo durante la temporada 2017-18 en el campo experimental de riego de la estación experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” (EEMAC) perteneciente a la Facultad de Agronomía, ubicada sobre ruta 3, km 363, departamento de Paysandú, Uruguay (32°22' S 58° 2'42.11"O). El ensayo se realizó sobre un suelo clasificado como Brunosol subéutrico típico perteneciente a la unidad San Manuel según la Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay a escala 1:1000000, perteneciente a la formación Fray Bentos (Durán et al., 1976).

Cuadro No. 1. Características hidrológicas del suelo

Horizonte	Profundidad (cm)	Dap. (gr.cm <sup>-3</sup> )	CC (mm)	PMP (mm)	CAAD (mm)
A	0-20	1.25	54	28	26
B	20-70	1.34	235	150	85
AB	0-70		289	178	111

Dap= densidad aparente, CC= capacidad de campo, PMP= punto de marchitez permanente, CAAD= capacidad de almacenaje de agua disponible

##### 3.1.1. Manejo experimental

El ensayo fue sembrado el 16 de diciembre de 2017, los cultivares utilizados fueron DM 4915 IPRO STS (hábito de crecimiento indeterminado, intacta) y DM 6563 RSF IPRO (hábito de crecimiento indeterminado, intacta). Las DH fueron 0,20 y 0,40 m y las poblaciones objetivos 300000 y 500000 pl.ha<sup>-1</sup> las cuales se lograron efectivamente ya que se sembró un número superior de semillas y posteriormente se ajustó la población final mediante raleo manual en el estadio V2 (Fehr y Caviness, 1977).

El ensayo estuvo libre de malezas, enfermedades y plagas. En ese entendido se realizaron tres aplicaciones de glifosato para el control de malezas a razón de 2 lt.ha<sup>-1</sup> de producto comercial y una aplicación de insecticida ENGEO (tiametoxan + lambda ciatrolina) el 28 de febrero con una dosis de 0,2 lt.ha<sup>-1</sup> de producto comercial para el control de chinches (*Piezodorus guildinii* y *Nezara viridula*).

Cuadro No. 2. Calendario de eventos fenológicos

Fecha	Estado fenológico	
	GM IV	GM VI
16/12/2017	Siembra	Siembra
24/12/2017	VE	VE
4/2/2018	R1	
9/2/2018		R1
22/2/2018	R4	
6/3/2018		R4
21/3/2018	R6	
28/3/2018		R6
10/4/2018	Cosecha	
27/4/2018		Cosecha

### 3.1.2. Tratamientos

Los tratamientos evaluados fueron ocho y cada tratamiento combinó una variedad, una distancia entre hileras y una población, de acuerdo al siguiente detalle y denominación:

Variedad DM 6563 de GM VI, distancia entre hileras 0,40 m y población 300.000 pl.ha<sup>-1</sup>  
= VIx0,40x300

Variedad DM 4915 de GM IV, distancia entre hileras 0,40 m y población 300.000 pl.ha<sup>-1</sup>  
= IVx0,40x300

Variedad DM 4915 de GM IV, distancia entre hileras 0,20 m x población 300.000 pl.ha<sup>-1</sup>  
=IVx0,20x300

Variedad DM 6563 de GM VI, distancia entre hileras 0,40 m x población 500.000 pl.ha<sup>-1</sup>  
= VIx0,40x500

Variedad DM 6563 de GM VI, distancia entre hileras 0,20 m x población 300.000 pl.ha<sup>-1</sup>  
= VIx0,20x300

Variedad DM 4915 de GM IV, distancia entre hileras 0,40 m x población 500.000 pl.ha<sup>-1</sup>  
= IVx0,40x500

Variedad DM 4915 de GM IV, distancia entre hileras 0,20 m x población 500.000 pl.ha<sup>-1</sup>  
= IVx0,20x500

Variedad DM 6563 de GM VI, distancia entre hileras 0,20 m x población 500.000 pl.ha<sup>-1</sup>  
= VIx0,20x500

Los tratamientos fueron distribuidos en 24 unidades experimentales ya que se realizaron 3 repeticiones de cada uno. La unidad experimental estuvo formada por 5 hileras de plantas con una longitud de 5 m y 2 m de ancho.

El ensayo se realizó bajo condiciones de bienestar hídrico durante todo el ciclo. El bienestar hídrico fue asumido por un contenido hídrico del suelo de 60% de AD o superior durante el PC y 40% de AD o superior durante las etapas no críticas (Della Maggiora et al., 2000). El sistema de riego utilizado fue por goteo, el mismo estuvo constituido por cintas con goteros cada 0,2 m y con un caudal de 1,49 lt.h<sup>-1</sup> por gotero. Para definir la lámina de riego se realizó un balance hídrico (BH) de suelos de paso diario simplificado de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\Delta H = R + PP - ETc$$

Siendo  $\Delta H$ = variación del AD en suelo, R= mm de riego, PP= mm de lluvia y ETc= mm de evapotranspiración de cultivo. La ETc fue calculada por el método propuesto por Allen et al. (1998) donde  $ETc = ETo \times Kc$ . La ETo es la evapotranspiración del cultivo de referencia y Kc es el coeficiente del cultivo en las diferentes etapas de desarrollo. La ETo se calculó mediante la ecuación de FAO Penman-Monteith y los Kc utilizados fueron los recomendados por FAO.

Cabe destacar, que por problemas técnicos en el sistema de riego durante parte del PC (R4-R6), el suelo presentó un contenido hídrico menor al 60% de AD.

## 3.2. DESCRIPCIÓN ESTADÍSTICA DEL EXPERIMENTO

### 3.2.1. Hipótesis biológica

En siembras tardías de soja bajo régimen de bienestar hídrico durante todo el ciclo, la variedad del GM VI evaluada se comporta productivamente mejor que la variedad del GM IV, así como la DH estrecha, al igual que la población más alta, maximizan el rendimiento. Por otra parte, existe interacción entre los tres factores evaluados.

### 3.2.2. Diseño experimental

El diseño utilizado fue DBCA (diseño en bloques completos al azar), con tres bloques y ocho tratamientos.

## 3.3. DETERMINACIONES REALIZADAS

### 3.3.1. Determinaciones durante el ciclo del cultivo

En el ciclo de desarrollo del cultivo se realizaron dos muestreos de MS en la etapa reproductiva, correspondiendo los mismos a los estadios R4 y R6 (Fehr y Caviness, 1977), que corresponden al inicio y final de PC, respectivamente. Para ello se cortó un metro lineal de plantas por parcela a 5 cm de altura del suelo. Las muestras fueron colocadas en estufa a una temperatura de 60 °C hasta que mantuvieran el peso constante. Los muestreos tuvieron como objetivo evaluar la evolución de la acumulación de biomasa aérea seca y además fueron utilizados para determinar la TCC promedio durante el PC de determinación del rendimiento.

### 3.3.2. Determinaciones a cosecha

El rendimiento fue estimado a partir de la cosecha de 9 m lineales de plantas ubicados en los 3 surcos centrales de cada unidad experimental. Además, se midió el peso de mil granos (PMG) y se le realizó corrección por el porcentaje de humedad comercial de 13%. Los componentes numéricos principales del rendimiento: número de granos por metro cuadrado (NG) y PMG y los sub-componentes del rendimiento: número de vainas por planta, número de nudos por planta, número de granos por vaina y número de granos por planta fueron estimados a través de mediciones realizadas en un metro lineal de plantas en la hilera central de cada parcela. Además, se determinó el número de granos abortados por metro cuadrado.

## 3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados fueron analizados con el software estadístico “RStudio”.

Con el mismo se realizaron:

- Análisis de la varianza, mediante el cual se descompone la variación total en tantos componentes como tenga el modelo.

- Se realizó una prueba de comparación múltiple (test de Tukey), al 10% de significancia, ya que a 5% no se encontraron diferencias entre los tratamientos evaluados.

- Análisis de correlación, se analizaron las variables de interés, de forma de obtener una medida de la magnitud de asociación entre las variables, mediante el coeficiente de Pearson. El análisis de correlación se efectuó para las siguientes variables: relación entre el rendimiento y el NG y relación entre el rendimiento y el PMG, rendimiento y número de vainas por metro cuadrado y rendimiento y número de nudos por metro cuadrado.

### 3.5. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

#### 3.5.1. Precipitaciones

En la figura 1, se presentan las PP mensuales registradas en el campo experimental de riego de la EEMAC y los valores de PP promedio para Paysandú, obtenidos en la serie histórica comprendida entre los años 1961 y 2009 (en base a datos proporcionados por MDN.DNM y la estación meteorológica de la EEMAC).

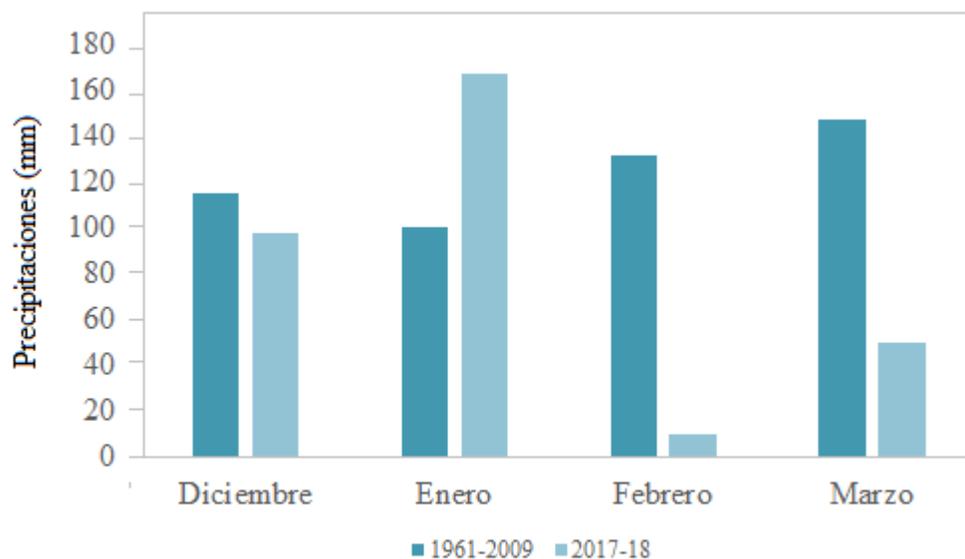


Figura No. 1. Precipitaciones (mm) ocurridas durante los meses de diciembre a marzo para la zafra 2017-2018 y valores promedio de la serie histórica 1961-2009.

#### 3.5.2. Radiación solar incidente

En la figura 2, se muestra la RS incidente media diaria mensual de los meses de diciembre a marzo para la serie histórica entre 2002 y 2016 y la correspondiente a 2017-2018.

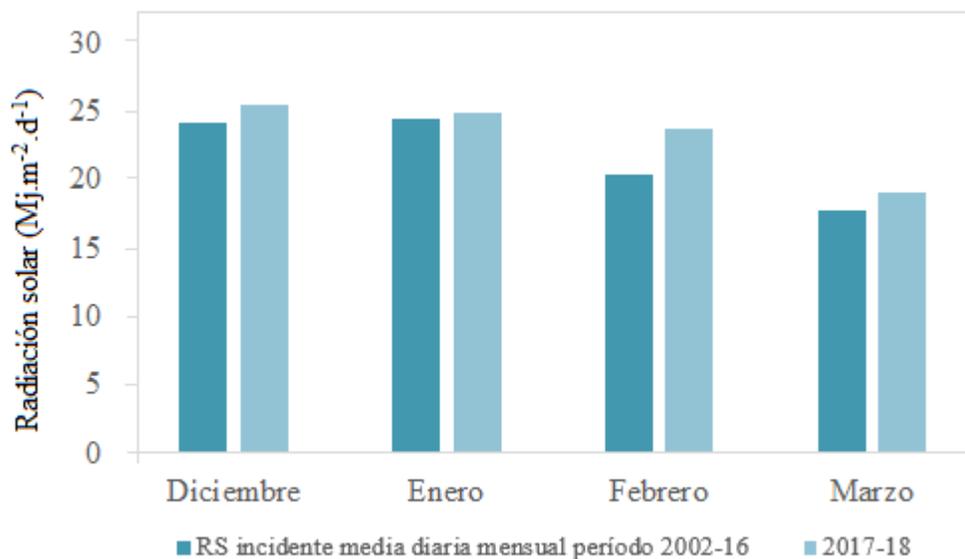


Figura No. 2. Radiación solar ( $\text{Mj.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ ) incidente media diaria mensual de la serie histórica 2002-16 y 2017-18.

En el cuadro 3, se presenta la RS incidente media diaria en el PC para 2017-18, RS incidente total en el PC para 2017-18, RS incidente total hasta marzo para 2017-18, RS incidente total en PC para serie 2002-16 y RS incidente total hasta marzo para la serie 2002-16 en función del GM. Cabe destacar que por problemas en la EMA, no se contó con los datos de RS para el mes de abril de 2018.

Cuadro No. 3. Radiación solar incidente para las variedades de los grupos de madurez IV y VI.

GM	RS inc. media diaria en el PC ( $\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ ) 2017-18	RS inc. total en PC ( $\text{MJ.m}^{-2}$ ) 2017-18	RS inc. total hasta marzo ( $\text{MJ.m}^{-2}$ ) 2017-18	RS inc. total en PC ( $\text{MJ.m}^{-2}$ ) serie 2002-16	RS inc. total hasta marzo ( $\text{MJ.m}^{-2}$ ) serie 2002-16
IV	21	575	2255	520	2069
VI	19	435	2255	407	2069

GM=grupo de madurez; RS=radiación solar; PC=período crítico

### 3.5.3. Temperatura

En la figura 3, se pueden observar las temperaturas medias diarias para los meses de diciembre a marzo en 2017-18 y la serie histórica 2002-2016.

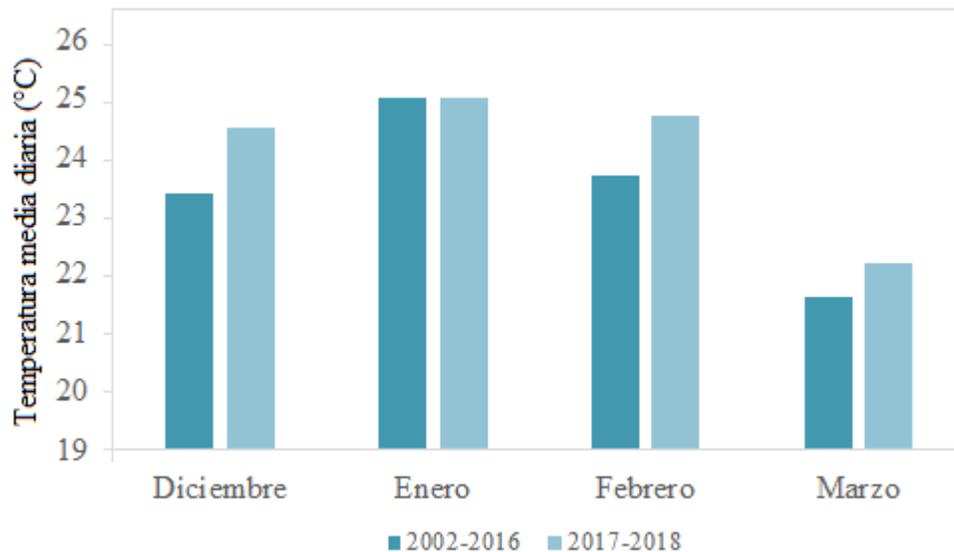
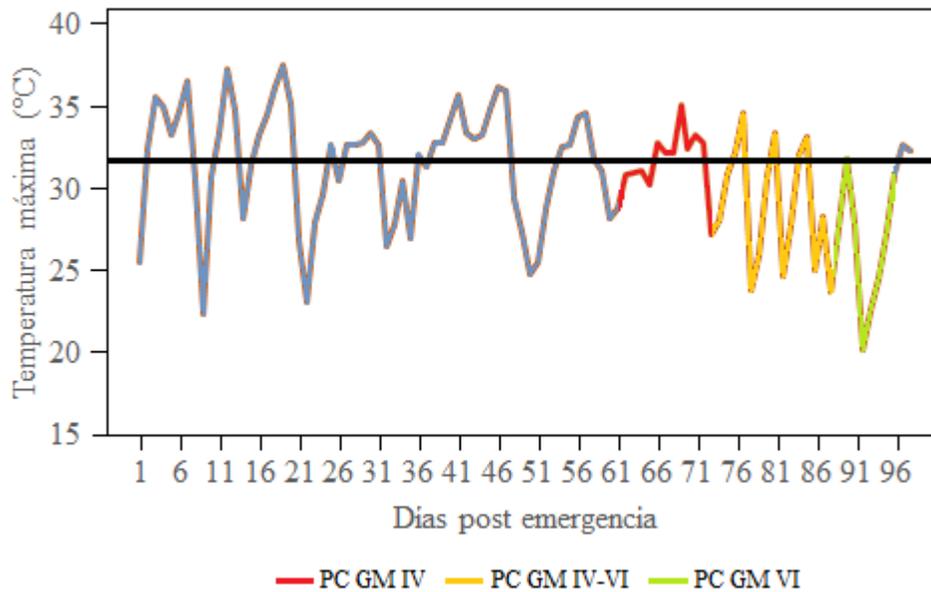


Figura No. 3. Temperatura (°C) media diaria ocurrida durante el año agrícola 2017-18 y valores promedio de la serie histórica 2002-17 (datos obtenidos de la estación meteorológica automática de la EEMAC, Facultad de Agronomía).

En la figura 4, se observan las temperaturas máximas diarias post-emergencia. A su vez, la línea negra separa temperaturas por encima y debajo de 32 °C. Además, se diferencian los PC de ambas variedades referenciados con la línea de distinto color.



Variedad 4915 del GM IV (línea roja), variedad 6563 del GM VI (línea verde) y de ambas variedades (línea amarilla).

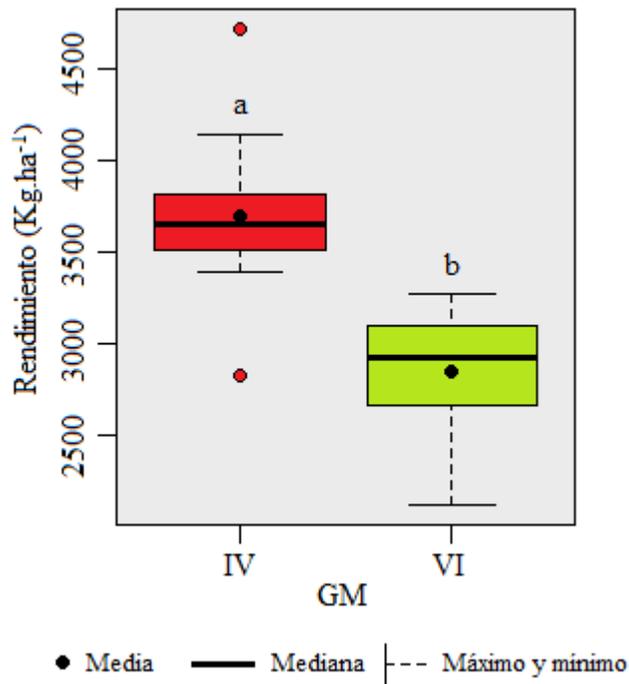
Figura No. 4. Temperatura máxima diaria en post emergencia y durante los periodos críticos (PC) de ambas variedades.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO

#### 4.1.1. Efecto del grupo de madurez sobre el rendimiento

En la figura 5, se aprecia el rendimiento en función del GM. La variedad del GM IV presentó un rendimiento promedio de 3698 kg.ha<sup>-1</sup>, el cual fue 23% superior al logrado por la variedad del GM VI en la que se obtuvo 2850 kg.ha<sup>-1</sup>, encontrándose diferencias significativas. En cuanto a la variabilidad del rendimiento no se puede afirmar que una de las variedades evaluadas haya presentado mayor variabilidad que la otra.



Cajas con diferente letra, sus medias difieren entre sí ( $p < 0.10$ , Tukey). La caja contiene el 50 % de los valores, mientras que el restante 50 % está comprendido dentro de las líneas punteadas. Los extremos de las cajas representan al primer y tercer cuartil.

Figura No. 5. Rendimiento en grano (kg.ha<sup>-1</sup>) en la variedad del GM IV y la variedad del GM VI, su media (punto negro) y su mediana (línea negra) y los límites de las líneas verticales indican mínimos y máximos rendimiento para las variedades evaluadas.

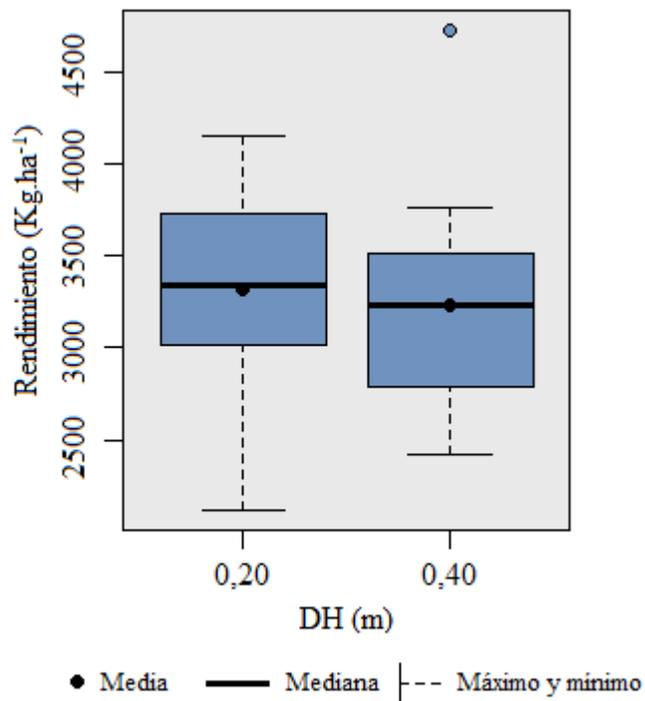
El rendimiento mayor logrado por la variedad del GM IV evaluada en relación a la variedad del GM VI, concuerda con lo establecido por Baigorri (2004) quien señala que en situaciones en las que las condiciones edáficas, climáticas e hídricas son propicias para el desarrollo del cultivo, los cultivares pertenecientes a GM cortos son los que expresan un potencial de rendimiento mayor. Este comportamiento productivo está explicado según Egli y Bruening (2000) por un ambiente más favorable en relación a la RS y las temperaturas durante la etapa reproductiva y una mayor EUR de los GM cortos cuando son sembrados en fechas tardías. En situaciones en las que se logró satisfacer las necesidades hídricas del cultivo por medio del riego suplementario, Fassio et al. (2016) constataron que el cultivar explicó 46% de las variaciones en rendimiento, siendo los GM cortos los que presentaron una respuesta al riego mayor. Además los GM cortos han sido objeto de un mayor mejoramiento genético del rendimiento a través de los años (Baigorri, 2004). Por otra parte, Iglesias (s.f.) reportó valores promedio de las últimas diez zafas superiores para un GM IV largo de 4496 kg.ha<sup>-1</sup> y para el GM VI 2965 kg.ha<sup>-1</sup>, en fechas de siembra tardías atribuyendo estas diferencias a la mejora genética.

Los rendimientos obtenidos en el experimento en función del GM, concuerdan con otros trabajos realizados en similares condiciones en relación a fecha de siembra y régimen hídrico. Zuil (2011), Salmerón et al. (2014), Otero et al., citados por Pérez (2017) evidenciaron mejores comportamientos de variedades de GM cortos en comparación a GM medios-largos. Fassio et al. (2017) obtuvieron una diferencia en cuanto a rendimiento de 1300 kg.ha<sup>-1</sup> a favor de un GM corto (III y IV) en relación a uno largo (VII), mientras que en este experimento la diferencia entre el GM IV y el VI fue de 847 kg.ha<sup>-1</sup>. Por otra parte, Ceretta e Ibáñez (s.f.) reportaron pérdidas en rendimiento de 80 kg.ha<sup>-1</sup> por cada unidad incrementada en el GM, aunque la pérdida en este experimento fue de 65 kg.ha<sup>-1</sup>, la tendencia es la misma. Los autores coinciden en que la explicación de que los GM cortos tengan un mejor desempeño, es por la ubicación del PC en una situación en que la oferta de RS es mayor, una mayor respuesta al riego de GM cortos en comparación a medios-largos, y esto provoca que sean capaces de producir un mayor número de vainas y por ende un mayor NG.

#### 4.1.2. Efecto de la distancia entre hileras sobre el rendimiento

En la figura 6, se observa el rendimiento en función de la DH utilizada. El experimento demostró que fue indiferente utilizar una DH de 0,20 m o 0,40 m, en situaciones de fecha de siembra tardía y condiciones hídricas no limitantes. Esto coincide con lo reportado por Board et al. (1994), Girón et al. (2015), quienes observaron que no se produjo una diferencia en rendimiento entre utilizar DH estrechas o anchas.

En contraposición a lo obtenido en el experimento, diversos trabajos como los realizados por Board et al. (1996b), Vega y Andrade (2000), De Bruin y Pedersen (2008) Angeletti (2010), Bacigaluppo et al. (2011), Worku y Astatkie (2011), Martignone et al. (2011), registraron un rendimiento superior cuando se utilizan DH estrechas en fechas de siembra tardías. Estos autores adjudican esa diferencia en rendimiento a una mayor RS interceptada y a una mayor eficiencia de intercepción de la RS incidente, lo que se traduce en un aumento en la TCC durante el PC.



La caja contiene el 50 % de los valores, mientras que el restante 50 % está comprendido dentro de las líneas punteadas. Los extremos de las cajas representan al primer y tercer cuartil.

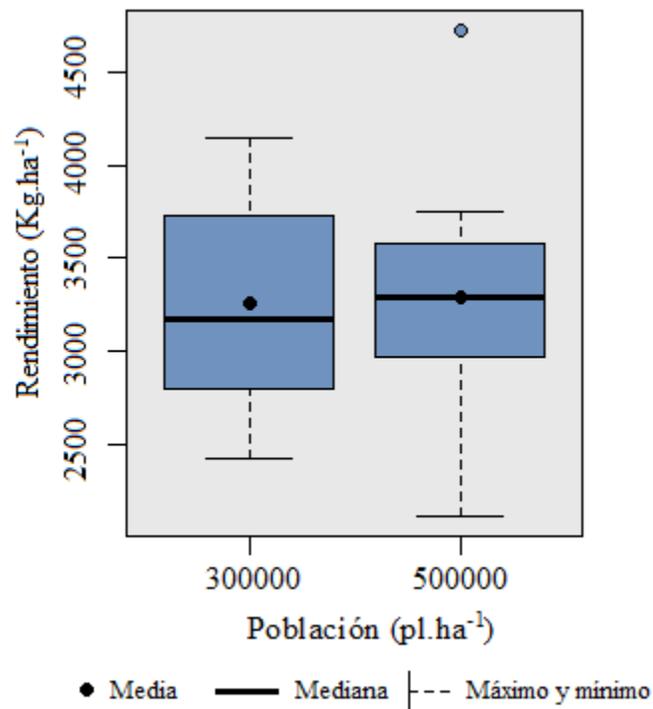
Figura No. 6. Rendimiento en grano ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) según la distancia entre hileras evaluadas, la media (punto negro), la mediana (línea negra) y los límites de las líneas verticales indican mínimos y máximos rendimiento para distancia entre hileras evaluada.

En situaciones donde las condiciones hídricas pueden llegar a ser limitantes, como sucede para soja en secano debido a la variabilidad de las PP, una disminución de la DH en fechas de siembra tardías con el objetivo de maximizar la captación de recursos, principalmente la RS incidente, en un menor tiempo, es una estrategia recomendable que está respaldada por varios trabajos. En cambio, cuando las condiciones hídricas no son limitantes, la disminución de la DH no tuvo efectos en el rendimiento. Sin embargo, se debe considerar que 2017-18 fue un año agrícola con RS incidente muy elevada, incluso en siembras tardías, por tanto, queda aún en duda que

puede suceder en un año con valores de RS promedio o por debajo del promedio. Esto coincide con lo mencionado por Weber et al. (1966), Board et al. (1966b) que el efecto de utilizar DH estrechas en fechas de siembra tardías, se minimiza en ambientes más productivos y se maximiza en ambientes más restrictivos desde el punto de vista productivo. En el sentido de que fue un año con valores de RS elevada en fecha de siembra tardía, la disminución de la DH no tuvo efecto en el rendimiento, por tanto, es posible esperar que en fechas de siembra tempranas tampoco se observen efectos en el rendimiento, teniendo en cuenta las mejores condiciones ambientales en las que se desarrollaría el cultivo.

#### 4.1.3. Efecto de la población sobre el rendimiento

En la figura 7, se muestra el efecto de las poblaciones utilizadas sobre el rendimiento, no constatándose diferencias. Esto concuerda con lo establecido por Koger (s.f.), quien afirma que es posible lograr rendimientos óptimos con poblaciones finales bajas; además señala que para una amplia gama de densidades de siembra el rendimiento es insensible a la variación de la población. La obtención de rendimientos óptimos con poblaciones bajas es posible según Carpenter y Board (1997) por la capacidad que presenta la soja de aumentar el rendimiento por planta a medida que la población disminuye.



La caja contiene el 50 % de los valores, mientras que el restante 50 % está comprendido dentro de las líneas punteadas. Los extremos de las cajas representan al primer y tercer cuartil.

Figura No. 7. Rendimiento en grano ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) según población ( $\text{pl}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) evaluada, la media (punto negro), la mediana (línea negra) y los límites de las líneas verticales indican mínimos y máximos rendimiento para población evaluada.

En fechas de siembra tardías (siembra de segunda) y en condiciones de secano, donde la oferta de RS y temperatura es menor y las probabilidades de ocurrencia de deficiencias hídricas son mayores, un aumento en la población al igual que una disminución en la DH, ayuda a captar más rápida y eficientemente esos recursos que generalmente son más escasos en comparación a una fecha de siembra óptima. Esto se ve reflejado en trabajos como los realizados por Rotundo et al. (s.f.), Baigorri y Croatto (2000), De Bruin y Pedersen (2008). Sin embargo, para situaciones sin limitantes hídricas, no se evidenció una diferencia en rendimiento entre las poblaciones utilizadas. Este resultado concuerda con lo obtenido por Bustamante y Espínola (2015), a través de un experimento realizado en la EEMAC donde se evaluaron distintas poblaciones (200000, 300000, 400000 y 500000  $\text{pl}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en condiciones de bienestar hídrico y fecha de siembra óptima, en las que no se evidenciaron diferencias en rendimiento. En base a los resultados obtenidos en este experimento, se recomienda utilizar una población final de 300000  $\text{pl}\cdot\text{ha}^{-1}$ , generando así un menor gasto en semilla, coincidiendo con lo establecido por Fassio et al. (2016), quienes recomiendan utilizar una población de 250000  $\text{pl}\cdot\text{ha}^{-1}$  para maximizar el rendimiento y ahorrar en semilla.

#### 4.1.4. Parámetros de crecimiento

##### 4.1.4.1. Producción de materia seca y tasa de crecimiento del cultivo

En el cuadro 4, se presenta la producción de MS medida a principios del PC (R4), al final de este (R6) y la TCC medida en el PC (R4-R6) en función del GM, la DH y la población. En la MS a principios del PC, se detectaron diferencias entre ambas variedades y ambas poblaciones, siendo mayor para la variedad del GM VI y la población de 500000  $\text{pl}\cdot\text{ha}^{-1}$ , en cambio, para ambas DH no se registraron diferencias. En la MS al final del PC, no se detectaron diferencias para ninguno de los factores estudiados. En relación a la TCC durante el PC, fue mayor para la variedad del GM IV, para la población de 300000  $\text{pl}\cdot\text{ha}^{-1}$  y la DH de 0,40 m.

La diferencia obtenida en producción de MS a principios del PC, entre ambas variedades, está explicada principalmente por una mayor duración de la etapa vegetativa en la variedad del GM VI. En fechas de siembra tardías, la etapa vegetativa tiende a acortarse por efectos térmicos y fotoperiódicos, siendo más afectados los GM cortos. En contraposición, en la producción de MS a fines del PC, no se encontraron diferencias

entre ambas variedades, ya que las dos lograron una acumulación similar en la etapa R6. La mayor producción de MS durante el PC de la variedad del GM IV en relación a la del GM VI (3448 vs. 1683 kg MS.ha<sup>-1</sup>), es consecuencia de una mayor TCC durante el PC. Los autores de este trabajo interpretan que la mayor producción de MS está explicada por la ocurrencia de mayor valor de RS incidente durante esta etapa, siendo cuantificada en 575 MJ.m<sup>-2</sup> en comparación a la del GM VI la cual fue de 435 MJ.m<sup>-2</sup> (cuadro 3).

Cuadro No. 4. Materia seca y tasa de crecimiento del cultivo según variedad, distancia entre hileras y población.

GM	MS R4 (kg MS.ha <sup>-1</sup> )	MS R6 (kg MS.ha <sup>-1</sup> )	TCC (kg MS.ha <sup>-1</sup> .día <sup>-1</sup> )
IV	8144 b	11592	128
VI	10536 a	12219	113
Población (pl.ha <sup>-1</sup> )			
300000	8350 b	11494	132
500000	10317 a	12317	107
DH (m)			
0,2	10209	12214	116
0,4	8457	11596	125

Valores con diferente letra dentro de la misma columna difieren entre sí (p<0.10, Tukey)

En relación a la MS medida a principios del PC (R4) en función de la población utilizada, se puede observar que se detectaron diferencias, siendo mayor para la población de 500000 pl.ha<sup>-1</sup>. Esta diferencia puede estar explicada, según Andrade y Sadras (2002), por un mayor aprovechamiento de la RS, lo que se traduce en un aumento de la fotosíntesis y partición de fotoasimilados a los distintos órganos de la planta. El mayor aprovechamiento de la RS, según Wells (1991) se debe a un mayor IAF desarrollado por las poblaciones más altas. Por otra parte, Ball et al. (2001), Purcell et al. (2002), señalan que, en sojas de siembra tardía, aumentar la población de plantas garantiza que el cultivo tenga máxima intercepción de luz en el menor tiempo posible, mayor TCC y mayor biomasa.

Por otro lado, Bustamante y Espínola (2015) en un experimento realizado en la EEMAC, no obtuvieron diferencias en relación a la MS tanto al principio del PC como al final del mismo, para un rango de poblaciones que fue de 200000 a 500000 pl.ha<sup>-1</sup>, para una situación de FS óptima pero con peores condiciones en cuanto a RS comparadas a las de este experimento. En el mismo sentido, Vega y Andrade (2000) tampoco registraron diferencias en producción de MS para poblaciones de 300000 y 550000 pl.ha<sup>-1</sup>. En cambio, Rahman y Hossain (2011) si evidenciaron diferencias significativas en MS acumulada a R4, entre poblaciones de 200000 y 600000 pl.ha<sup>-1</sup>,

siendo mayores para las poblaciones más altas, coincidiendo con los resultados obtenidos en este experimento.

En relación al efecto de la DH en la producción de MS, tanto a principios del PC como al final de este, ambas DH no evidenciaron diferencias significativas. Esto no coincide con lo reportado por Egli et al. (1987), Board et al. (1990), Board et al. (1996b), Board y Modali (2004), Martignone et al. (2011), Worku y Astatkie (2011), quienes señalan que a menor DH, la acumulación de MS fue mayor, esto está explicado, según Board y Harville (1996a) por una mayor RS interceptada y con ello una mejora en la eficiencia de intercepción y mayor TCC. En este experimento, se interpretó que debido a la RS incidente elevada ocurrida en el año agrícola 2017-18 tanto durante el PC como en el ciclo total (cuadro 3), la disminución de la DH no presentó respuesta en rendimiento.

En la figura 8, se presenta la relación entre la MS medida a principios del PC y el rendimiento para la variedad del GM IV, mientras que en la figura 9 se muestra la relación entre la MS medida a principios del PC y el rendimiento para la variedad del GM VI. Se puede observar que las correlaciones para ambas variedades son bajas, siendo positiva en la variedad del GM IV y negativa en la variedad del GM VI. Esto indica que la MS a R4 no fue un gran predictor del rendimiento final. Esta respuesta concuerda con la mencionada por Weber et al. (1966), quienes afirman que la MS acumulada, no es un buen predictor del rendimiento. En cambio, Duncan (1986), Board et al. (1996b) sostienen que existe una alta correlación entre la MS medida en R4 y el rendimiento. Esta baja correlación entre la MS medida a R4 y el rendimiento, demuestra la importancia que tiene el PC en la determinación del mismo, la exposición del cultivo a óptimas condiciones ambientales durante este período son claves para la obtención de rendimientos elevados ya que en este caso, una acumulación de MS a R4 mayor, no garantizó los mejores rendimientos debido a que la variedad perteneciente al GM VI ubicó el PC en una situación de menor calidad ambiental.

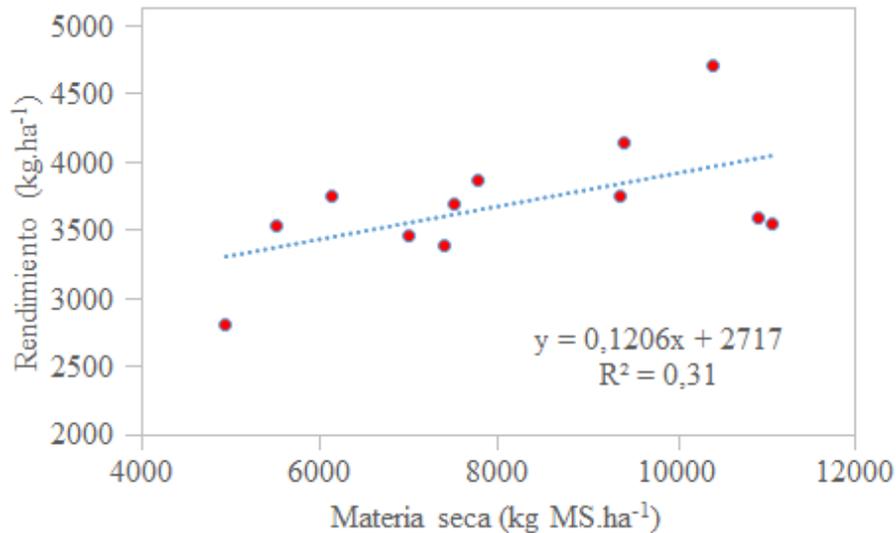


Figura No. 8. Relación entre la MS medida en R4 (kg MS.ha<sup>-1</sup>) y el rendimiento en grano (kg.ha<sup>-1</sup>) para la variedad del GM IV.

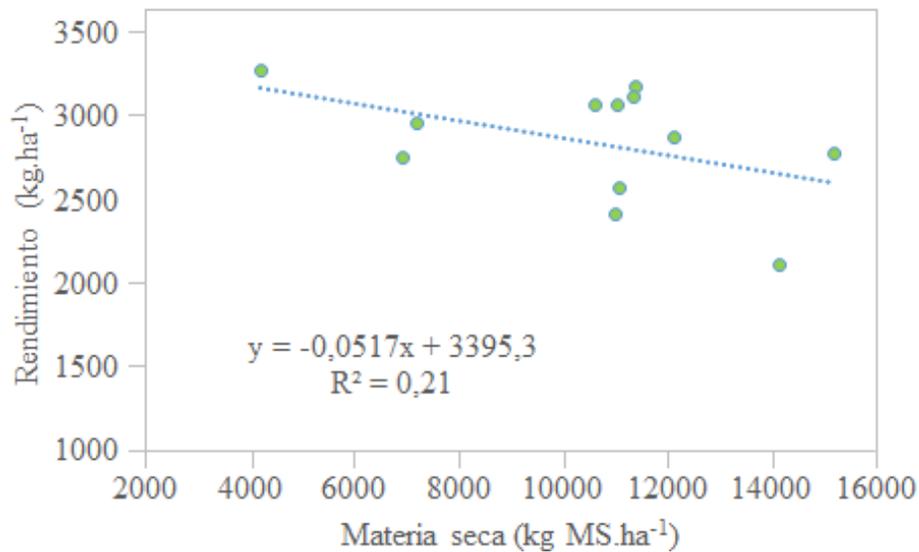


Figura No. 9. Relación entre la MS medida en R4 (kg MS.ha<sup>-1</sup>) y el rendimiento en grano (kg.ha<sup>-1</sup>) para la variedad del GM VI.

En referencia al efecto que tuvo el GM utilizado sobre la TCC durante el PC, se puede observar que la variedad del GM IV alcanzó valores más altos en relación a la variedad del GM VI. Esta mayor TCC lograda por la variedad del GM corto, está directamente relacionada a la mayor oferta de RS y temperatura, lo que lo hizo más eficiente a la hora de generar estructuras reproductivas. La TCC según Radford (1967) es el índice más adecuado para determinar el incremento del canopeo y además indica la

acumulación de MS por unidad de superficie y tiempo. Board y Harville (2006) señalan que una mayor TCC durante el PC puede estar producida por un aumento en la fuente generada en el período vegetativo. Estos valores de TCC fueron menores a los reportados por Larrama (2019), quien obtuvo para una variedad del GM IV 190 kg.MS.ha<sup>-1</sup>.día<sup>-1</sup> y 168 kg.MS.ha<sup>-1</sup>.día<sup>-1</sup> para una variedad del GM VI, pero superiores a los obtenidos por Friza et al. (2018), quienes registraron valores de 110 kg.MS.ha<sup>-1</sup>.día<sup>-1</sup> utilizando una variedad del GM IV en FS del 16/11. Las diferencias en cuanto a TCC entre los diferentes experimentos, están explicadas principalmente por la oferta de RS incidente durante el PC y la ocurrencia o no de algunos eventos como pueden haber sido las temperaturas elevadas o deficiencias hídricas.

#### 4.1.5. Efectos sobre los componentes y sub-componentes del rendimiento

En el cuadro 5, se pueden apreciar los componentes principales y sub-componentes del rendimiento y como estos se vieron afectados por el GM, la DH y la población. En cuanto al efecto del GM, el valor más alto en relación al NG fue para el GM IV, al igual que el número de nudos y el número de vainas por metro cuadrado, siendo las diferencias significativas con respecto a la variedad del GM VI, mientras que el PMG fue mayor para la variedad del GM VI.

Cuadro No. 5. Componentes y sub-componentes del rendimiento según variedad de GM IV y VI, población (pl.ha<sup>-1</sup>) y distancia entre hileras (m, DH) evaluadas.

GM	No. de granos.m <sup>-2</sup>	Peso mil granos (g)	No. nudos.m <sup>-2</sup>	No. vainas.m <sup>-2</sup>
IV	2493 a	148 b	548 a	1293 a
VI	1760 b	163 a	403 b	795 b
DH (m)				
0,2	2167	154	473	1016
0,4	2086	157	478	1031
Población (pl.ha <sup>-1</sup> )				
300.000	2172	151 b	471	1057
500.000	2081	160 a	480	990

Valores con diferente letra dentro de la columna difieren entre sí (p<0.10, Tukey)

La DH no presentó diferencias para los componentes y sub-componentes del rendimiento. Por este motivo, es que no se registraron diferencias en cuanto al rendimiento entre las DH estudiadas. En un experimento bajo riego, Rambo et al. (2003) no constataron diferencias entre componentes y sub-componentes del rendimiento para distancias de 0,20 y 0,40 m. Por otro lado, Bacigaluppo et al. (2011) en experimentos

realizados en Argentina en condiciones de secano, evaluaron dos DH (0,26 y 0,52 m) en fecha de siembra tardía. Los autores encontraron diferencias significativas para NG y PMG, logrando un mayor número y menor peso con la distancia menor, explicados nuevamente por valores de RS interceptada y TCC, mayores. La disponibilidad hídrica y las condiciones ambientales en cuanto a la RS, estarían marcando una posible respuesta o no a la disminución de la DH. En condiciones de riego suplementario y con RS incidente no limitante, no se constató respuesta, ya que las plantas fueron de mayor tamaño e interceptaron más RS suficiente en DH anchas. No obstante la bibliografía es contundente en señalar que en condiciones de deficiencias hídricas y/o RS incidente limitante las DH estrechas permiten mejorar los rendimientos, en relación a las DH más anchas.

En relación al efecto de la población, la única variable que presentó diferencias fue el PMG. Esto explica por qué no se registraron diferencias en cuanto al rendimiento entre las dos poblaciones. Estos resultados pueden estar explicados por una compensación de la menor población, aumentando el rendimiento por planta.

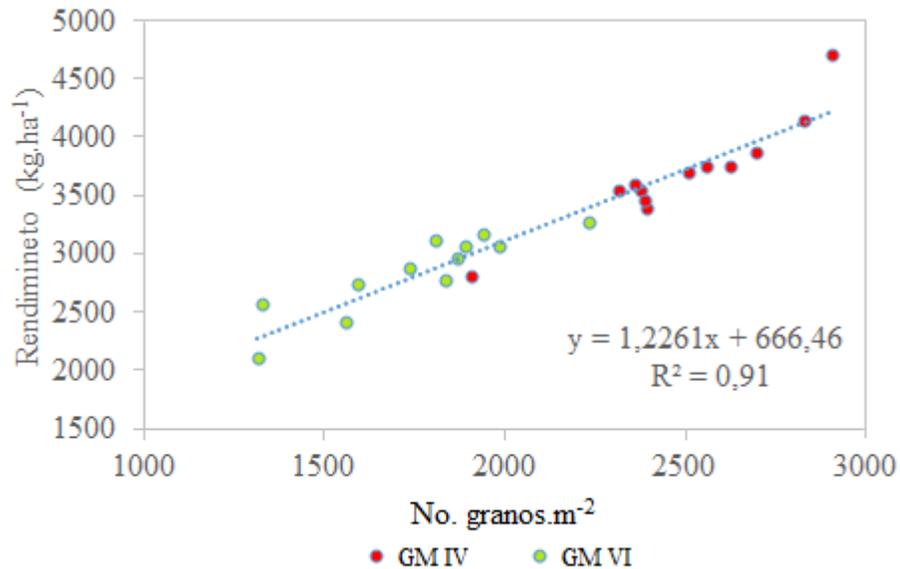
En el cuadro 6, se muestra el NG, el número de vainas por planta y el número de nudos por planta en función de la población. La menor población registró rendimientos por planta mayores, produciéndose así una compensación, para lograr rendimientos similares (figura 4). Esto se ajusta a lo señalado por Boquet (1990), quien afirma que el NG y el número de vainas por planta, se reduce al aumentar la población, pero esta reducción se ve compensada por un mayor número de plantas por superficie. A su vez, Ball et al. (2000) destacan que, si bien las poblaciones elevadas pueden permitir un NG mayor, la competencia intensa por recursos entre plantas puede anular la ventaja de un mayor valor de este componente.

Cuadro No. 6. Número de granos, vainas y nudos por planta en las poblaciones evaluadas

Población (pl.ha <sup>-1</sup> )	No. granos.pl <sup>-1</sup>	No. vainas.pl <sup>-1</sup>	No. nudos.pl <sup>-1</sup>
300000	82 a	40 a	16 a
500000	44 b	22 b	10 b

Valores con diferente letra dentro de la columna difieren entre sí (p<0.10, Tukey)

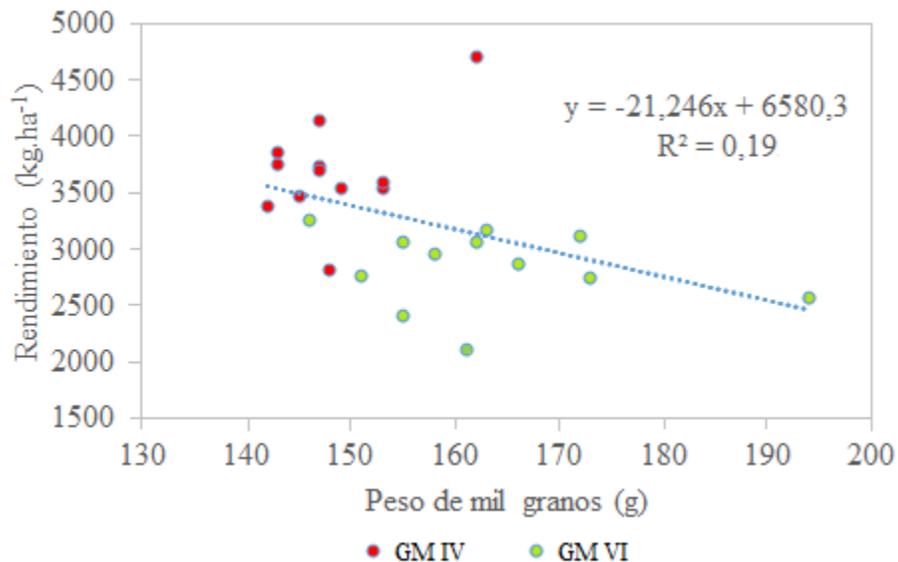
En la figura 10, se relaciona el rendimiento con el componente numérico principal del rendimiento que es el NG. Esta correlación, como era esperable, fue lineal y positiva, indicando que con un mayor NG fue mayor el rendimiento. Además, se puede apreciar como la variedad del GM IV (puntos rojos) presentó los valores más altos de NG y por tanto un mayor rendimiento, con respecto a la variedad del GM VI (puntos verdes). El NG mayor logrado por la variedad del GM IV es responsable principal del rendimiento más elevado.



Puntos rojos pertenecen a la variedad del GM IV y puntos verdes pertenecen a la variedad del GM VI.

Figura No. 10. Relación entre el rendimiento en grano (kg·ha<sup>-1</sup>) y el número de granos·m<sup>-2</sup>.

En la figura 11, se muestra la relación entre el rendimiento y el PMG. La correlación fue baja, lineal y negativa, esto puede estar explicado según Karam et al. (2005) porque el peso de grano es un componente residual, por lo tanto, se determina después que se fijó el NG.



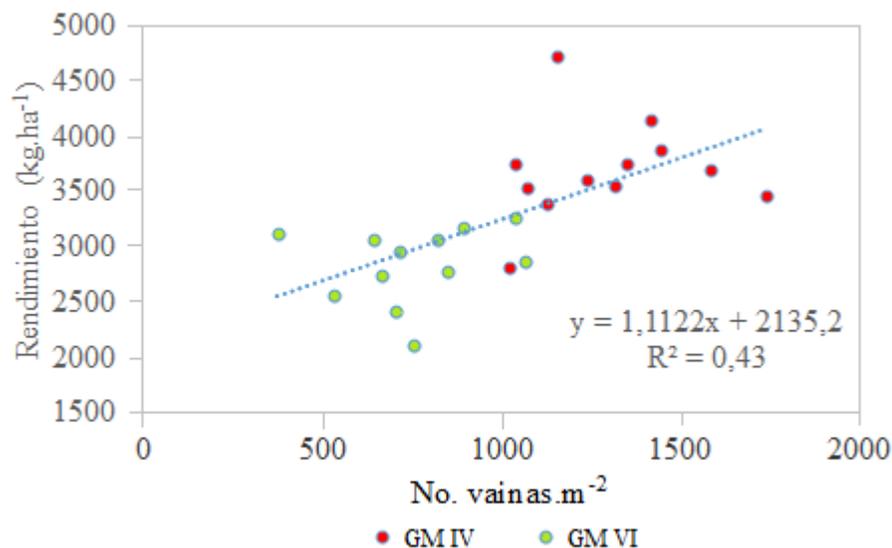
Puntos rojos pertenecen a la variedad del GM IV y puntos verdes pertenecen a la variedad del GM VI.

Figura No. 11. Relación entre el rendimiento en grano ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) y el peso de mil granos (g).

El PMG mayor se relacionó con los rendimientos menores y a su vez estos se obtuvieron en la variedad del GM VI (puntos verdes), mientras que los valores menores se asociaron con rendimientos mayores y con la variedad del GM IV (puntos rojos). Estos resultados confirman la relación existente entre NG y el PMG, a mayor NG el peso promedio del grano fue menor.

La información presentada muestra una correlación más elevada entre el NG y el rendimiento, esta respuesta coincide con lo mencionado por Egli et al. (1987) quienes señalan que este componente es el principal determinante del rendimiento y a su vez es el más influenciado por el ambiente. Kantolic et al. (2003) también señalan que cambios en el NG por variaciones ambientales están altamente asociados con cambios en el rendimiento.

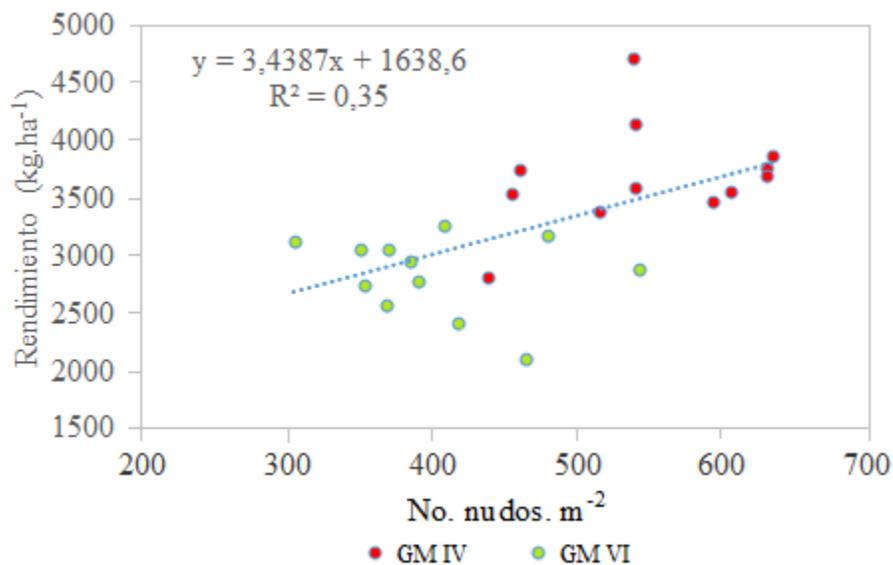
En la figura 12, se observa la relación del rendimiento con el número de vainas por superficie. Esta correlación es moderada, lineal y positiva, indicando que, con mayor número de vainas por metro cuadrado, en general los rendimientos fueron mayores, explicado por un NG mayor. De la misma manera que sucedió con el NG, el número de vainas por metro cuadrado mayor fue logrado con la variedad del GM IV (puntos rojos) y los valores menores de vainas con la variedad del GM VI (puntos verdes). Se interpreta que esto fue producto de la RS incidente mayor durante el PC que permitió TCC mayores, teniendo como resultado un número superior de estructuras reproductivas.



Puntos rojos pertenecen a la variedad del GM IV y puntos verdes pertenecen a la variedad del GM VI.

Figura No. 12. Relación entre el rendimiento en grano ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) y el número de vainas. $\text{m}^{-2}$ .

En la figura 13, se presenta la relación entre el rendimiento y el número de nudos por metro cuadrado. Esta correlación fue moderada, lineal y positiva. La correlación de este subcomponente fue más débil en relación a los otros, esto podría estar explicado por eventos como el aborto floral, de vainas o de granos, lo cual puede llevar a que un alto número de nudos, no se vea reflejado en un mayor rendimiento. Aunque hay valores intermedios, se observa una tendencia a que la variedad del GM IV (puntos rojos) presente los valores mayores y la variedad del GM VI (puntos verdes) los menores.



Puntos rojos pertenecen a la variedad del GM IV y puntos verdes pertenecen a la variedad del GM VI.

Figura No. 13. Relación entre el rendimiento en grano ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) y el número de nudos. $\text{m}^{-2}$ .

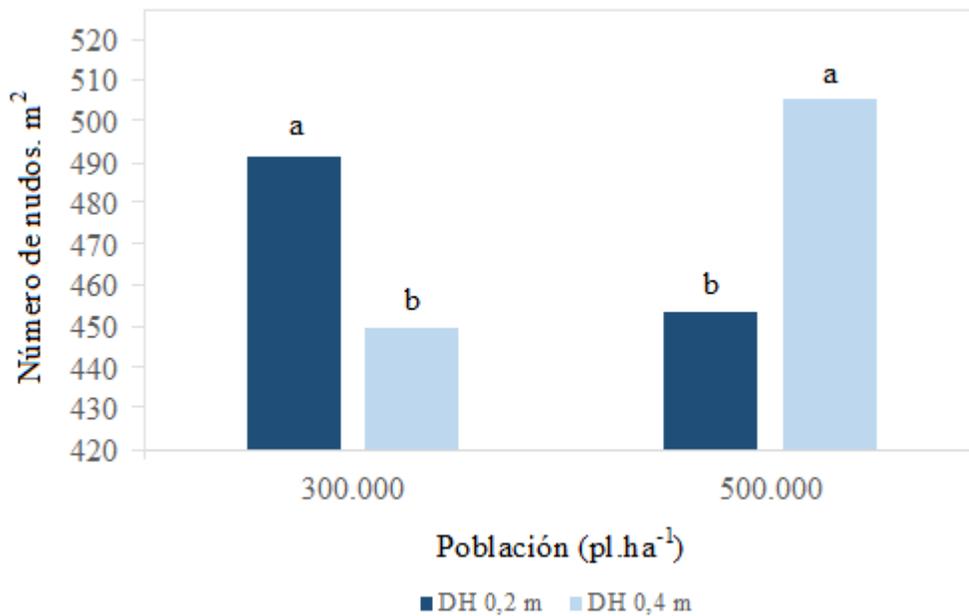
#### 4.1.6. Interacción entre población y distancia entre hileras

En el cuadro 7, se presenta el rendimiento y el NG en función de la interacción entre la población y la DH. Para ninguna de las combinaciones hubo efecto sobre el NG y rendimiento. Este resultado podría estar explicado por el efecto de las temperaturas elevadas ocurridas durante el PC asociado a ciertas deficiencias hídricas ocurridas durante el mismo.

Cuadro No. 7. Rendimiento en grano ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) y número de granos. $\text{m}^{-2}$  en función de la combinación entre la población ( $\text{pl}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) y la distancia entre hileras (DH, m).

Población (pl.ha <sup>-1</sup> ) x Distancia entre hileras (DH, m)	No. granos.m <sup>-2</sup>	Rendimiento (kg.ha <sup>-1</sup> )
300000 x 0,20	2050	3425
300000 x 0,40	2290	3095
500000 x 0,20	2040	3200
500000 x 0,40	2115	3360

En la figura 14, se observa el efecto de la interacción entre población y DH sobre el número de nudos por metro cuadrado, mientras que en la figura 15 se observa el efecto de esta interacción sobre el número de vainas por metro cuadrado. Cuando la población fue de 300000 pl.ha<sup>-1</sup>, el mayor número de nudos por superficie se logró con una DH de 0,20 m. En el caso de la población de 500000 pl.ha<sup>-1</sup>, la DH de 0,40 m presentó un número de nudos por superficie mayor, mientras que el número de vainas por superficie mostró un comportamiento similar. Estos resultados pueden estar explicados por un arreglo espacial entre plantas más equidistante cuando se utilizaron las poblaciones y DH menores evaluadas. Rambo et al. (2003) en experimentos realizados en Brasil, no obtuvieron diferencias en número de nudos y número de vainas con combinaciones entre poblaciones de 300000 pl.ha<sup>-1</sup> y 400000 pl.ha<sup>-1</sup> y DH de 0,20 y 0,40 m, mientras que si las obtuvieron cuando la población estudiada fue de 200000 pl.ha<sup>-1</sup>, logrando los valores mayores con DH estrechas. Los autores adjudican esas diferencias a favor de la DH estrecha, a una intercepción de la RS mayor, lo que se tradujo en rendimientos mayores por planta, explicados principalmente por un número de ramas por planta elevado. Además, señalan que cuando las necesidades hídricas del cultivo son cubiertas, la combinación de una población más baja y una DH estrecha disminuye la competencia entre plantas y maximiza la intercepción de RS debido a que la luz llega a los estratos inferiores del cultivo, generando esto un impacto positivo en el rendimiento.



Letras distintas dentro de cada variable indican que difieren entre sí ( $p < 0.10$ ), Tukey)

Figura No. 14. Número de nudos.m<sup>2</sup> en función de la población (pl.ha<sup>-1</sup>) 300 y 500 mil pl.ha<sup>-1</sup> y la distancia entre hileras (DH; 0,2 y 0,4 m).

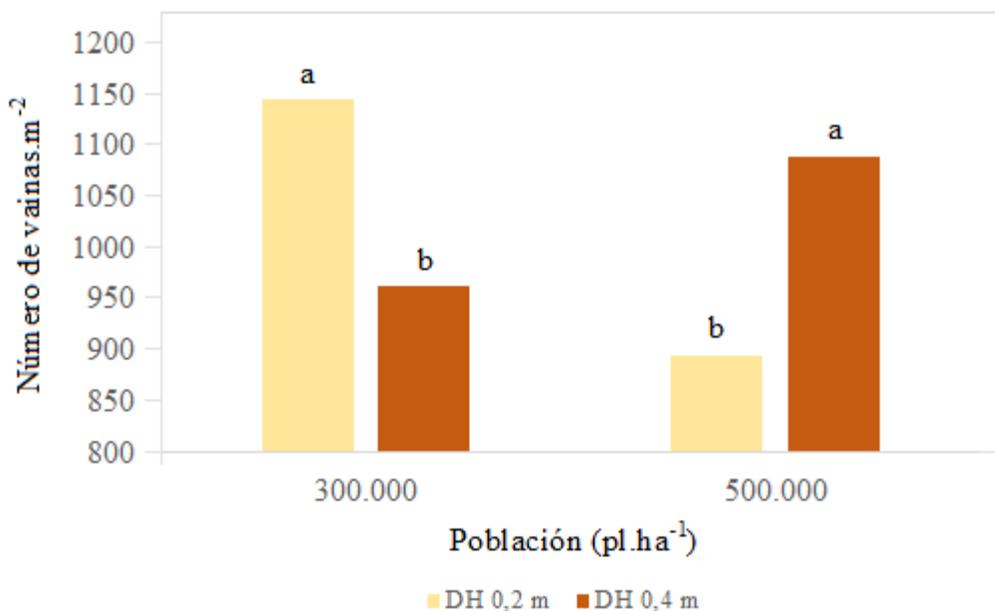


Figura No. 15. Número de vainas.m<sup>-2</sup> en función de la población (pl.ha<sup>-1</sup>) 300 y 500 mil pl.ha<sup>-1</sup> y la distancia entre hileras (DH; 0,2 y 0,4 m).

En el cuadro 8, se presenta el NG, el número de granos abortados por metro cuadrado y el % de granos abortados en función del GM.

Cuadro No. 8. Número de granos.m<sup>-2</sup>, número de granos abortados.m<sup>-2</sup> y el porcentaje de granos abortados según GM.

GM	No. granos.m <sup>-2</sup>	No. granos abortados.m <sup>-2</sup>	Porcentaje de granos abortados
IV	2493	480	16
VI	1760	275	13,5

La variedad del GM IV presentó durante el PC el 44% de los días con temperaturas por encima de 32 °C, según Vu et al. (1997) estas temperaturas afectan negativamente la tasa fotosintética y el rendimiento. En la variedad del GM VI, estas temperaturas ocurrieron en un 23% de los días del PC (figura 4). La variedad del GM IV al tener un mayor potencial genético de rendimiento logró los valores de NG mayores a pesar de haber sido la variedad más afectada por las altas temperaturas y las deficiencias hídricas no provocadas, si esto no hubiera ocurrido, las diferencias en rendimiento probablemente hubieran sido mayores. Reynolds et al. (2001), Rossi y González (2006), señalan que el efecto combinado de temperaturas elevadas y estrés hídrico durante el llenado de granos, afectan directamente al NG, dando origen a granos inmaduros, verdes, arrugados o deformados, como fue constatado en este experimento (Anexo I). Este efecto puede haber provocado una disminución en el rendimiento, teniendo en consideración que las condiciones ambientales en cuanto a RS fueron excepcionales, tanto en el PC como en el resto del ciclo comparándolas con la serie 2002-16 (cuadro 3).

Para las restantes interacciones, tanto GM x DH, GM x población y GM x DH x población, no se encontraron efectos sobre ninguna de las variables estudiadas. Esto está explicado principalmente por el efecto que tuvo el GM, lo que genera una gran variabilidad.

## 5. CONCLUSIONES

Las diferentes combinaciones de manejo evaluadas de GM, DH y población en condiciones de FS tardía y BH no presentaron diferencias en rendimiento, así como tampoco interacción entre los factores.

La diferencia mayor la presentó el GM, la variedad perteneciente al GM IV mostró un mejor comportamiento productivo. Se interpretó esto debido a mejores condiciones de RS durante el PC y en el ciclo. Las temperaturas máximas de la temporada fueron muy elevadas, estando por encima de los promedios, provocando abortos de granos, siendo este efecto mayor aún en la variedad del GM IV.

Las prácticas de manejo como el estrechamiento de las hileras y el incremento de la población, que en secano son consideradas prácticas de manejo importantes para mejorar la estructura del cultivo en siembras tardías ya que permiten una mayor captación de RS incidente, no mostraron en las condiciones del ensayo efectos sobre el rendimiento. Se debe considerar que el año presentó particularidades con valores de RS incidente elevados en relación al promedio para siembras tardías, incluso superiores a los de siembras tempranas.

Dado que la información nacional es escasa en cuanto al comportamiento del cultivo en siembras tardías y BH, se sugiere continuar con la línea de investigación, evaluando variedades más cortas dentro del GM IV o GM III largo con el objetivo de determinar mejor el intervalo de GM que más se adapta a las siembras tardías. Además, sería útil realizar la medición de IAF e intercepción de la RS incidente, con el fin de evaluar posibles ventajas de la DH estrechas en cuanto a estos parámetros y posibles efectos en el rendimiento en años pobres o neutros desde el punto de vista de las condiciones ambientales, donde la disminución de la DH puede maximizar la captación de recursos.

## 6. RESUMEN

Se realizó un experimento de soja (*Glycine max*, L.) en la estación experimental “Dr. M. A. Cassinoni” en Paysandú, Uruguay, en el verano 2017-18. Con el objetivo principal de evaluar la respuesta en rendimiento de soja sembrada en fecha de siembra tardía y con bienestar hídrico. El ensayo consistió en evaluar dos variedades de GM contrastantes, dos DH y dos poblaciones y además las interacciones entre estos tres factores y como se vio afectado el rendimiento y sus componentes, así como la producción de MS y la TCC durante el PC. Se evaluaron 8 tratamientos: VIx0,40x 300; IVx0,40x300; IVx0,20x300; VIx0,40x500; VIx0,20x300; IVx0,40x500; IVx0,20x500; VIx0,20x500. Hubo diferencias significativas entre IVx0,2x300 con VIx0,4x300 y VIx0,2x500, y entre IVx0,4x500 con respecto a VIx0,2x500. Las restantes combinaciones no presentaron diferencias. El máximo rendimiento logrado fue de 3909 kg.ha<sup>-1</sup> con IVx0,2x300, el mínimo fue de 2770 kg.ha<sup>-1</sup> con VIx0,2x500, mientras que el rendimiento promedio del ensayo fue de 3274 kg.ha<sup>-1</sup>. La variedad DM 4915 registró un rendimiento promedio de 3698 kg.ha<sup>-1</sup> mientras que la DM 6563 2850 kg.ha<sup>-1</sup>, siendo esta diferencia significativa. En relación al efecto de la DH y la población sobre el rendimiento, no se encontraron diferencias en cuanto a esta variable de respuesta. La variedad DM 6563 perteneciente al GM VI obtuvo una acumulación de MS (kg MS.ha<sup>-1</sup>) medida a principios del PC (R4) de 10536 kg MS.ha<sup>-1</sup>, mientras que la DM 4915 obtuvo 8144 kg MS.ha<sup>-1</sup>, por otro lado, la MS (kg MS.ha<sup>-1</sup>) medida a finales del PC fue similar para ambas variedades (11592 kg MS.ha<sup>-1</sup> la DM 4915 y 12219 kg MS.ha<sup>-1</sup> la DM 6563). Los tratamientos donde la DH utilizada fue 0,2 m, obtuvieron una acumulación de MS (kg MS.ha<sup>-1</sup>) medida en R4 17,3 % mayor que las obtenida por los tratamientos donde la DH utilizada fue 0,4 m, mientras que en R6 esta diferencia fue de 5,1 %. Cuando la población utilizada fue 500000 pl.ha<sup>-1</sup>, la MS (kg MS.ha<sup>-1</sup>) medida en R4 fue un 19 % mayor que cuando la población utilizada fue 300000 pl.ha<sup>-1</sup>, pero cuando la MS (kg MS.ha<sup>-1</sup>) fue medida en R6, esta diferencia fue de 6,7 %. La variedad DM 4915 logró una TCC (kg MS.ha<sup>-1</sup>.día<sup>-1</sup>) promedio de 128 kg MS.ha<sup>-1</sup>.día<sup>-1</sup>, la cual fue un 11,8 % mayor que la lograda por la variedad DM 6563. Por otro lado, se analizaron los componentes y sub-componentes del rendimiento. La variedad DM 4915 obtuvo los mayores valores en cuanto a NG, en comparación a los logrados por la variedad DM 6563, estas diferencias se atribuyeron al mayor potencial genético que presentan los GM cortos, así como a la mayor cantidad de RS incidente producida durante el PC, lo que provocó las mayores TCC y posterior rendimiento.

Palabras clave: *Glycine max*; Grupo de madurez; Distancia entre hileras; Población; Rendimiento; Fecha de siembra; Riego.

## 7. SUMMARY

A soybean experiment (*Glycine max*, L.) was carried out in the experimental station "Dr. M. A. Cassinoni" in Paysandú, Uruguay, in the summer 2017-18. With the main objective of evaluating the yield response of soybeans planted on late sowing date and with water wellbeing. The trial consisted in evaluating two contrasting maturity group (MG) varieties, two row spacing, and two populations and also the interactions between these three factors and how performance and its components were affected, as well as the production of dry matter (DM) and the growth rate of the crop during the CP. Eight treatments were evaluated: VIx0,40x 300; IVx0,40x300; IVx0,20x300; VIx0,40x500; VIx0,20x300; IVx0,40x500; IVx0,20x500; VIx0,20x500. There were significant differences between IVx0,2x300 with VIx0,4x300 and VIx0,2x500, and between IVx0,4x500 with respect to VIx0,2x500. The remaining combinations didn't show differences. The maximum yield was 3909 kg.ha<sup>-1</sup> with IVx0,2x300, the minimum was 2770 kg.ha<sup>-1</sup> with VIx0,2x500, while the average performance of the trial was 3274 kg.ha<sup>-1</sup>. The variety 4915 recorded an average yield of 3698 kg.ha<sup>-1</sup> while the variety 6563 recorded a yield of 2850 kg.ha<sup>-1</sup>, this difference was significant. In relation to the effect of row spacing and population on performance, no differences were found regarding this response variable. The variety 6563 belonging to MG VI obtained an accumulation of DM (kg DM.ha<sup>-1</sup>) measured at the beginning of the CP (R4) of 10536 kg DM.ha<sup>-1</sup>, while variety 4915 obtained 8144 kg DM.ha<sup>-1</sup>, on the other hand, the DM (kg DM.ha<sup>-1</sup>) measured at the end of the CP was similar for both varieties (11592 kg DM.ha<sup>-1</sup> variety 4915 and 12219 kg DM.ha<sup>-1</sup> variety 6563). The treatments where the row spacing used was 0,2 m, obtained an accumulation of DM (kg DM.ha<sup>-1</sup>) measured in R4 17.3% higher than those obtained by the treatments where the row spacing used was 0,4 m, while that in R6 this difference was 5.1%. When the population used was 500000 plant.ha<sup>-1</sup>, the DM (kg DM.ha<sup>-1</sup>) measured in R4 was 19% higher than when the population used was 300000 plant.ha<sup>-1</sup>, but when the DM (kg DM .ha<sup>-1</sup>) was measured in R6, this difference of 6.7%. The variety 4915 achieved a crop growth rate average of 128 kg DM.ha<sup>-1</sup>day<sup>-1</sup>, which was 11.8% higher than that achieved by the variety 6563. On the other hand, the components and sub-components of the performance were analyzed. The variety 4915 obtained the highest values in terms of NG, compared to those obtained by the variety 6563, these differences were attributed to the greater genetic potential of short MG, as well as to the greater amount of solar radiation incident produced during the CP, which caused the highest crop growth rate, and subsequent performance.

Keywords: *Glycine max*; Maturity group; Row spacing; Population; Yield; Seedtime; Irrigation.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome, Italy, FAO. 300 p.
2. Álvarez, C.; White, M.; Bagnato, R.; Quiroga, A.; Lienhard, C. P.; Noellemeyer, E. 2015. Manejo del cultivo de soja por ambiente: efecto sobre la dinámica de agua. (en línea). General Pico, Asociación Argentina Ciencia del Suelo. 10 p. Consultado 1 jul. 2018. Disponible en [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_manejo\\_del\\_cultivo\\_de\\_soja\\_por\\_ambiente\\_efecto\\_sobre\\_la\\_dinamica\\_de\\_agua\\_0.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manejo_del_cultivo_de_soja_por_ambiente_efecto_sobre_la_dinamica_de_agua_0.pdf)
3. Andrade, F. H.; Sadras, V. O. 2000. Efectos de la sequía sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos. In: Andrade, F. H.; Sadras, V. O. eds. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Buenos Aires, Argentina, INTA/UNMP. Facultad de Ciencias Agrarias. pp. 173-206.
4. \_\_\_\_\_.; Calvin, P.; Cirilo, A.; Barbieri, P. 2002. Yield responses to narrow rows depend on increased radiation interception. *Agronomy Journal*. 94: 975-980.
5. Andriani, J. M. 2002. Estrés hídrico en soja. *IDIA XXI*. 2 (3): 48-51.
6. \_\_\_\_\_. 2016. Lo que hay que saber del “consumo de agua de los cultivos”. Santa Fe, INTA Oliveros. 10 p.
7. Angeletti, S. 2010. Soja de segunda. (en línea). Santa Fe, Argentina, s.e. s.p. Consultado 29 set. 2018. Disponible en <http://www.cooperativalehmann.coop/agroinsumos/notas-tecnicas/50/soja-de-segunda>
8. Arbeletche, P.; Gutiérrez, G. 2010. Crecimiento de la agricultura en Uruguay: exclusión social o integración económica en redes. *Revista Pampa*. no. 6: 113-138.
9. Aydinsakir, K. 2017. Yield and quality characteristics of drip-irrigated soybean under different irrigation levels. *Agronomy Journal*. 110 (4): 1473-1481.
10. Bacigaluppo, S.; Enrico, J. M.; Martignone, R. A.; Bodrero, M. L. 2011. Respuesta al espaciamiento entre hileras en soja. Rendimiento y sus componentes. Santa Fe, INTA. 4 p.

11. Baigorri, H.; Croatto, D. 2000. Manejo del cultivo de soja en Argentina. Marcos Juárez, INTA. 96 p.
12. \_\_\_\_\_. 2004. Criterios para la elección y el manejo de cultivares de soja. Marcos Juárez, INTA. 21 p.
13. Ball, R. A.; Purcell, L. C.; Vories, E. D. 2000. Crop ecology, production and management: short-season soybean yield compensation in response to population and water regime. *Crop Science* 40: 1070-1078.
14. \_\_\_\_\_.; McNew, R. W.; Vories, E. D.; Keisling, T. C.; Purcell, L. C. 2001. Path analyses of population density effects on short-season soybean yield. *Agronomy Journal*. 93: 187-195.
15. Bastidas, A. M.; Setiyono, T. D.; Dobermann, A.; Cassman, K. G.; Elmore, R. W.; Graef, G. L.; Specht, J. E. 2008. Soybean sowing date: the vegetative, reproductive and agronomic impacts. *Crop Science*. 48: 727-740.
16. Board, J. E.; Harville, B. G.; Saxton, A. M. 1990. Growth dynamics of determinate soybean in narrow and wide rows at late planting dates. *Field Crops Research*. 25: 203-213.
17. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; Kamal, M. 1994. Radiation-use efficiency in relation to row spacing for late-planted soybean. *Field Crops Research*. 36: 13-19.
18. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 1996a. Growth dynamics during the vegetative period affects yield of narrow-row, late-planted soybean. *Agronomy Journal*. 88: 567-572.
19. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; Zhang, W. 1996b. Yield rankings for soybean cultivars grown in narrow and wide rows with late planting date. *Agronomy Journal*. 88: 240-245.
20. \_\_\_\_\_.; Modali, H. 2004. Dry matter accumulation predictors for optimal yield in soybean. *Crop Science*. 45(5): 1790-1799.
21. \_\_\_\_\_.; Kahlon, C. S. 2012. Morphological responses to low plant population differ between soybean genotypes. *Crop Science*. 53(3): 1109-1119.
22. Bodrero, M. 2003. Algunos factores genéticos y ambientales que influyen sobre el rendimiento de la soja. In: Jornada Nacional de Soja (2003, Mercedes). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 1-13 (Actividades de Difusión no. 325).
23. Boerma, H. R.; Ashley, D. A. 1982. Irrigation, row spacing, and genotype effects on late and ultra-late planted soybeans. *Agronomy Journal*. 74: 995-999.

24. Boquet, D. J. 1990. Plant population density and row spacing effects on soybean at post-optimal planting dates. *Agronomy Journal*. 82(1): 59-64.
25. Bustamante, M.; Espínola, A. 2015. Estudio del efecto de la población sobre el rendimiento en soja en condiciones hídricas no limitantes. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 72 p.
26. Calviño, P. A.; Sadras, V. O.; Andrade, F. H. 2003. Developments, growth and yield of late-sown soybean in the southern Pampas. *European Journal of Agronomy*. 19: 265-275.
27. Canfalone, A.; Villacampa, Y.; Cortés, M.; Navarro, M. 2002. Crecimiento de soja en función de la temperatura del aire y de la radiación fotosintéticamente activa. *Revista Brasileira de Agrociência*. 8(3): 185-189.
28. Canosa, G.; Prieto, C. 2013. Estudio del efecto de las deficiencias hídricas sobre el rendimiento de soja. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 59 p.
29. Capurro, J.; Bodrero, M. L.; Andriani, J. 2006. Espaciamento en soja de segunda época de siembra en Cañada de Gómez, Argentina, en lotes de alta y baja productividad. *In: Congreso de Soja del MERCOSUR (3º., 2006, Rosario, Argentina). Actas. Rosario, s.e. pp. 586-589.*
30. Caraballo de Silva, L. 1990. Manejo del riego en soja sembrada en suelos arenosos de la mesa de Guanipa. *Agronomía Tropical (San José de Guanipa)*. 40: 35-56.
31. Cárcova, J.; Abeledo, L. G.; López Pereira, M. 2003. Análisis de la generación del rendimiento; crecimiento, partición y componentes. *In: Satorre, E. H.; Benech Arnold, R. L.; Slafer, G. A.; de la Fuente, E. B.; Miralles, 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. 75-98.*
32. Carpenter, A. C.; Board, J. E. 1997. Branch yield components controlling soybean yield stability across plant population. *Crop Science*. 37: 885-891.
33. Castaño, J. P.; Ceroni, M.; Giménez, A.; Furest, J.; Aunchayna, R.; Bidegain, M. 2011. Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009. (en línea). Montevideo, INIA. 40 p. (Serie Técnica no.193). Consultado 1 jul. 2018. Disponible en

<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2538/1/18429021211104157.pdf>

34. Cavalheiro Tourino, M. C.; Milanez de Rezende, P.; Salvador, N. 2002. Espacamento, densidade e uniformidade de sementeira na produtividade e características agronómicas da soja. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 37(8): 1071-1077.
35. Ceretta, S.; Ibáñez. V. s.f. Siembra tardía de soja: elección de grupos de madurez para minimizar posibles pérdidas de rendimiento. (en línea). Colonia, INIA. 3 p. Consultado 5 jul. 2018. Disponible en [http://www.inia.org.uy/estaciones/la\\_estanzuela/actividades/documentos/siembras\\_tardias\\_soja.pdf](http://www.inia.org.uy/estaciones/la_estanzuela/actividades/documentos/siembras_tardias_soja.pdf)
36. Cooper, R. L. 1971. Influence of early lodging on yield of soybean. *Agronomy Journal*. 63: 449-450.
37. \_\_\_\_\_. 2003. A delayed flowering barrier to higher soybean yields. *Field Crops Research*. 82: 27-35.
38. Dardanelli, J. L.; Collino, D.; Otegui, M. E.; Sadras, V. O. 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de granos. *In*: Satorre, E. H.; Benech Arnold, R. L.; Slafer, G. A.; de La Fuente, E. B.; Miralles, 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. 377-440.
39. \_\_\_\_\_.; Severina, I.; Andriani, J. 2010. Funcionalidad de raíces y agua del subsuelo: su rol en la optimización del riego suplementario. *In*: Seminario Internacional de Riego en Cultivos y Pasturas (1º., 2012 Paysandú, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. pp. 19-28.
40. De Bruin, J. L.; Pedersen, P. 2008. Effect of row spacing and seeding rate on soybean yield. *Agronomy Journal*. 100: 704-710.
41. 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/UNMP. Facultad de Ciencias Agrarias. pp. 155 -171.
42. Duncan, W. G. 1986. Crop ecology, production and management. Planting patterns and soybean yields. *Crop Science*. 26: 584-588.

43. Durán, A.; Aguirre, L.; Altamirano, A.; Álvarez, C.; Cayssials, R.; Da Silva, H.; Echeverría, A.; Falco, L.; Liesegang, J.; May, H.; Molfino, J.; Morelli, C.; Panario, D.; Piñeyrúa, J.; Puentes, R.; Sacco, G.; Sganga, J.; Terra, J.; Trambauer, A.; Victoria, C.; Acosta, G.; Palacios, J. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay. Montevideo, Uruguay, Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de Suelos y Fertilizantes. Esc. 1:1.000.000. Color
44. \_\_\_\_\_; Califra, A.; Molfino, J. H. 1999. Suelos del Uruguay según soil taxonomy. (en línea). Montevideo, MGAP. 14 p. Consultado 26 jun. 2018. Disponible en [http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/multimedia/1615\\_suelos\\_del\\_uruguay\\_segun\\_soil\\_taxonomy\\_0.pdf](http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/multimedia/1615_suelos_del_uruguay_segun_soil_taxonomy_0.pdf)
45. Edwards, J. T.; Purcell, L. C.; Karcher, D. E. 2005. Soybean yield and biomass responses to increasing plant population among diverse maturity groups: II. Light interception and utilization. *Crop Science*. 45: 1778-1785.
46. Egli, D. B.; Wardlaw, I. F.; 1980. Temperature response of seed growth characteristics of soybean. *Agronomy Journal*. 72:560-564.
47. \_\_\_\_\_; Guffy, R. D.; Heitholt, J. J. 1987. Factors associated with reduced yields of delayed plantings of soybean. *Journal Agronomy and Crop Science*. 159: 176-185.
48. \_\_\_\_\_. 1988. Plant density and soybean yield. *Crop Science*. 28: 977-981.
49. \_\_\_\_\_; Bruening, W. 1992. Planting date and soybean yield: evaluation of environmental effects with a crop simulation model: SOYGRO. *Agricultural and Forest Meteorology*. 62: 19-29.
50. \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. 2000. Potential of early-maturing soybean cultivars in late. *Agronomy Journal*. 92 (3): 532-537.
51. Elmore, R. W. 1998. Soybean cultivar responses to row spacing and seeding rates in rainfed and irrigated environment. *Journal of Production Agriculture*. 11 (3): 273-279.
52. \_\_\_\_\_; Heatherly, L. G. 2004. Managing inputs for peak production. In: Boerma, H. R.; Specht, J. E. eds. *Soybeans: improvement, production and uses*. 3rd. ed. Madison, Wisconsin, USA, s.e. pp. 451-536 (Agronomy Monograph no. 16).
53. Epler, M.; Staggenborg, S. 2008. Soybean yield and yield component response to plan density in narrow row systems. *Crop Management*. 7 (1): 1-14.

54. Farias, J. R. B. 1995. Requisitos climáticos. In: Minor, H. C. ed. El cultivo de la soja en los trópicos: mejoramiento y producción. Roma, Italia, FAO. pp. 13–17 (FAO. Producción y Protección Vegetal no. 27).
55. \_\_\_\_\_.; Nepomuceno, A. L.; Neumaier, N. 2007. Ecofisiología da soja. EMBRAPA. Circular Técnica. no. 48: 1-9.
56. Fassio, A.; Pérez, O.; Ibáñez, W.; Rabaza, C.; Vergara, G.; Sawchik, J.; Schusselin, M.; Silva, L. 2016. Soja: rendimiento con y sin riego a diferentes poblaciones de siembra. Revista INIA. no. 47: 22-26.
57. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; 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.
58. Fehr, W. R.; Caviness, C. E. 1977. Stages of soybean development. Iowa State University. Cooperative Extension Service. Special report no. 80. pp. 929-931.
59. Forján, H.; Iriarte, L. s.f. Siembra de “segunda” de cultivos estivales. (en línea). Buenos Aires, s.e. s.p. Consultado 29 set. 2018. Disponible en <http://www.agritotal.com/nota/siembra-de-segunda-de-cultivos-estivales/>
60. Friza, S.; Sebben, G.; Tejera, M. 2018. Efecto de distintas estrategias de riego deficitario sobre el rendimiento y el uso del agua en soja. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 71 p.
61. García, H.; Ferrarotto, M. 2009. Efecto del déficit hídrico sobre la acumulación de biomasa y nitrógeno en soja (*Glycine max*) inoculada con *Bradirhizobium japonicum* (en línea). Revista Facultad Agronomía (UCV). 35(1): 21 - 27. Consultado 3 jul. 2018. Disponible en [http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev\\_agro/article/view/130/108](http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_agro/article/view/130/108).
62. García Petillo, M. 2012a. Conceptos básicos para el diseño y el manejo del riego. In: Seminario Internacional de Riego en Cultivos y Pasturas (2º., 2012, Paysandú, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. pp. 25-32.
63. \_\_\_\_\_.; Puppo, L.; Hayashi, R.; Morales, P. 2012b. Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 10 p.

64. Giménez, L.; García Petillo, M. 2011. Evapotranspiración de cultivos de verano para dos regiones climáticamente contrastantes de Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*. 15(2): 100-108.
65. \_\_\_\_\_. 2012. ¿Cuánto estamos perdiendo por no regar cultivos en Uruguay? *In: Seminario Internacional de Riego en Cultivos y Pasturas (2º., 2012, Salto, Uruguay)*. Trabajos presentados. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. pp. 33-41.
66. \_\_\_\_\_. 2014. Efecto de las deficiencias hídricas en diferentes etapas de desarrollo sobre el rendimiento de soja. *Agrociencia (Uruguay)*. 18: 53-64.
67. Girón, P.; Miranda, W.; Barraco, M.; Lardone, A. 2015. Evaluación de distintas fechas de siembra de soja en función de grupos de madurez y espaciamiento entre hileras. Buenos Aires, Argentina, INTA. pp. 43-48.
68. Han, T.; Wua, C.; Tongc, Z.; Mentreddyd, R.; Tanc, K.; Gai, J. 2006. Postflowering photoperiod regulates vegetative growth and reproductive development of soybean. *Environmental and Experimental Botany*. 55: 120-129.
69. Hu, M.; Wiatrak, P. 2012. Effect of planting date on soybean growth, yield, and grain quality: review. *Agronomy Journal*. 104(3): 785-790.
70. INIA. GRAS (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Unidad de Agro-clima y Sistemas de Información, UY) s.f. Banco de datos agroclimáticos. (en línea). Salto. s.p. Consultado 24 set. 2018. Disponible en <http://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>
71. INUMET (Instituto Uruguayo de Meteorología, UY). s.f. Climatología estacional. Climatología de la primavera en Uruguay 1981-2010. (en línea). Montevideo. 14 p. Consultado 13 set. 2018. Disponible en <https://www.inumet.gub.uy/sites/default/files/2018-05/Info%20SON.pdf>
72. \_\_\_\_\_. s.f. Climatología estacional. Climatología del verano (dic.-ene.-feb.) en Uruguay 1981-2010. (en línea). Montevideo. 14 p. Consultado 13 set. 2018. Disponible en [https://www.inumet.gub.uy/sites/default/files/2018-04/verano\\_1981\\_2010.pdf](https://www.inumet.gub.uy/sites/default/files/2018-04/verano_1981_2010.pdf)
73. Kantolic, 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.; Miralles, 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. 167-186.

74. Karam, R. M.; Sfeir, F.; Mounzer, O.; Rouphael, Y. 2005. Evapotranspiration and seed yield of field grown soybean under deficit irrigation conditions. *Agricultural Water Management*. 75: 226-244.
75. Koger, T. s.f. Optimal plant populations / seeding rates for soybean. Starkville, Mississippi State University. Extensión Service. 4 p.
76. Larrama, J. 2019. Efecto de la fecha de siembra, el grupo de madurez y la interacción sobre el rendimiento de soja. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 69 p.
77. Letey, J. 1985. Relationship between soil properties and crop production. *Advances in Soil Science*. 1: 277-294.
78. Major, D. J.; Johnson, D. R.; Tanner, J. W.; Anderson, I. C. 1975. Effects of daylength and temperature on soybean development. *Crop Science*. 15(2): 174-179.
79. Martignone, R. A.; Enrico, J. M.; Bodrero, L.; Andriani, J. M. 2010. Factores asociados con la variabilidad de rendimientos entre grupos de madurez en soja. Santa Fe, INTA. 10 p.
80. \_\_\_\_\_; Bacigaluppo, S.; Enrico, J. M.; Bodrero, M. L. 2011. Respuesta al espaciamiento entre hileras en soja. Intercepción de radiación y parámetros de crecimiento. Santa Fe, INTA. 4 p.
81. \_\_\_\_\_; Enrico, J. M.; Andriani, J. M.; Sanmarti, N. 2016. Rendimiento de soja en siembras muy tardías: características diferenciales entre cultivares. Santa Fe, INTA. 8 p.
82. Massigoge, J. I. 2012. Soja de segunda: manejo de grupos de madurez según fecha para maximizar el rinde. (en línea). Buenos Aires, INTA. 4 p. Consultado 16 set. 2018. Disponible en [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_-\\_maa\\_barrow\\_-\\_soja\\_de\\_segunda.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_maa_barrow_-_soja_de_segunda.pdf)
83. Mayers, J. D.; Lawn, R. J.; Byth, D. E. 1991. Adaptation of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) to the dry season of the tropics, 2. Effects of genotype and environment on biomass and seed yield. *Australian Journal of Agricultural Research*. 42: 517-530.
84. Meckel, L.; Egli, D. B.; Phillips, R. E.; Radcliffe, D.; Leggett, J. E. 1984. Effect of moisture stress on seed growth in soybeans. *Agronomy Journal*. 76: 647-650.

85. Melgar, R.; Vitti, G.; Melo Benítez, V. 2011. Fertilizando para altos rendimientos: soja en Latinoamérica. Berna, Instituto Internacional de la Potasa. 174 p. (Boletín IIP no. 20).
86. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2016. Encuesta agrícola invierno 2016. (en línea). Montevideo. 21 p. Consultado 1 jul.2018. Disponible en [http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/encuesta\\_agricola\\_invierno\\_2016.pdf](http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/encuesta_agricola_invierno_2016.pdf)
87. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 2017. Encuesta agrícola invierno 2017. (en línea). Montevideo. 26 p. Consultado 1 jul.2018. Disponible en [http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/enc\\_agricola\\_inv2017.pdf](http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/enc_agricola_inv2017.pdf)
88. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 2018. Encuesta agrícola invierno 2018. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 2 set. 2018. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/noticia/unidad-organizativa/oficina-de-programacion-y-politica-agropecuaria/13-07-2018/diea-presenta>
89. Molfino, J. H.; Califra, A. 2001. Agua disponible de las tierras del Uruguay: segunda aproximación. (en línea). Montevideo, MGAP. División Suelos y Aguas. Dirección de Recursos Naturales Renovables. 12 p. Consultado 16 set. 2018. Disponible en [http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/publicaciones/rec\\_nat/agua\\_disp\\_uru.doc](http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/publicaciones/rec_nat/agua_disp_uru.doc)
90. Mondino, M.; Gómez, D. 2006. Evolución de la intercepción de la radiación incidente y la producción de biomasa en soja de siembras extratempranas a diferentes espaciamientos. In: Congreso de soja del MERCOSUR (2006, Rosario, Argentina). Trabajos presentados. Santiago del Estero, Argentina, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Agropecuarias. pp. 83-86.
91. Otegui, M. E.; López Pereira, M. 2003. Fecha de siembra. In: Satorre, E. H.; Benech Arnold, R. L.; Slafer, G. A.; de la Fuente, E. B.; Miralles, 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. 259-274.
92. \_\_\_\_\_. 2009. Bases ecofisiológicas para el manejo del agua en cultivos para grano conducidos en secano. Manejo del agua en cultivos para grano conducidos en secano. *Informaciones Agronómicas*. 44: 16-20.

93. Otero, A.; Gaso, D.; Capurro, M. C.; Berger, A.; Pérez, O.; García, C.; Terra, J.; Sawchik, J. 2014. Construyendo los componentes de un sistema productivo con la inclusión del riego. *In*: Seminario internacional de riego en cultivos y pasturas (3°. 2012 Paysandú, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. pp. 43-52.
94. Oyhantcabal, G.; Narbondo, I. 2008. Radiografía del agronegocio sojero. Montevideo, Uruguay, s.e. 120 p.
95. Pedersen, P. s.f. Estudios sobre densidad de siembra en Estados Unidos. (en línea). Buenos Aires, s.e. pp. 25-28. Consultado 1 jul. 2018. Disponible en [http://www.syngentaenvivo.com.ar/2014/manual/files/img/soja/manual\\_de\\_densidad\\_de\\_siembra\\_en\\_soja.pdf](http://www.syngentaenvivo.com.ar/2014/manual/files/img/soja/manual_de_densidad_de_siembra_en_soja.pdf)
96. \_\_\_\_\_; Lauer, J.G. 2004. Soybean growth and development in various management systems and planting dates. *Crop Science*. 44: 508-515.
97. Pérez, D. H. s.f. Experiencias en la respuesta del rendimiento de soja frente a cambios en densidades de siembra. (en línea). Buenos Aires, s.e. pp. 29-37. Consultado 1 jul. 2018. Disponible en [http://www.syngentaenvivo.com.ar/2014/manual/files/img/soja/manual\\_de\\_densidad\\_de\\_siembra\\_en\\_soja.pdf](http://www.syngentaenvivo.com.ar/2014/manual/files/img/soja/manual_de_densidad_de_siembra_en_soja.pdf)
98. Pérez, O. 2017. Respuesta vegetal con riego. (en línea). *In*: Jornada de Riego (1ª. 2017, La Estanzuela, Colonia). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. s.p. Consultado 8 jul. 2018. Disponible en <http://www.inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20La%20Estanzuela/riego%20set%202017/P%C3%A9rez%20-%20INIA%20-%20riego%20set%202017.pdf>
99. Prado Berbert, R.; Hamawaki, O. T. 2008. Análise da plasticidade da cultura de soja em diferentes arranjos populacionais e diferentes espaçamentos entre linhas. *Horizonte Científico*. 2 (1): 1-19.
100. Purcell, C. L.; Ball, R. A.; Reaper III, J. D.; Vories, D. E. 2002. Radiation use efficiency and biomass production in soybean at different plant population densities. *Crop Science*. 42: 172-177.
101. Radford, P. J. 1967. Growth analysis formulae-their use and abuse. *Crop Science*. 7(3): 171-175.
102. Rahman, M. M.; Hossain, M. M. 2011. Plant density effects on growth, yield and yield components of two soybean varieties under equidistant planting arrangement. *Asian Journal of Plant Sciences*. 10: 278-286.

103. Rambo, L.; Costa, J. A.; Fernandes Pires, J. L.; Parcianello, G.; Gutheil Ferreira, F. 2003. Rendimiento de grãos da soja em função do arranjo de plantas. *Ciência Rural* (Santa Maria). 33(3):405-411.
104. Reynolds, M. P.; Nagarajan, S.; Razzaque, M. A.; Ageeb, O. A. A. 2001. Heat tolerance. *In*: Reynolds, M. P.; Ortiz-Monasterio, J. I.; McNab, A. eds. *Application of physiology in wheat breeding*. México, D. F., s.e. pp. 124-135.
105. 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. *Concepción del Uruguay, INTA*. 4 p.
106. Rossi, C.; González, S. 2006. Problemas en la calidad de semillas de soja. *Revista INIA*. no. 9:34-36.
107. Rotundo, J. L.; Borrás, L.; Rugeroni, P. s.f. Rendimiento y densidad de siembra en soja: análisis de ensayos en la UNR. (en línea). Buenos Aires, s.e. pp. 11-23. Consultado 1 jul. 2018. Disponible en [http://www.syngentaenvivo.com.ar/2014/manual/files/img/soja/manual\\_de\\_densidad\\_de\\_siembra\\_en\\_soja.pdf](http://www.syngentaenvivo.com.ar/2014/manual/files/img/soja/manual_de_densidad_de_siembra_en_soja.pdf)
108. Salmeron, M.; Gbur, E. E.; Bourland, F. M.; Buehring, N. W.; Earnest, L.; Fritschi, F. B.; Golden, B. R.; Hathcoat, D.; Lofton, J.; Miller, T. D.; Neely, C.; Shannon, G.; Udeigwe, T. K.; Verbree, D. A.; Vories, E. D.; Wiebold, W. G.; Purcell, L. C. 2014. Soybean maturity group choices for early and late plantings in the midsouth. *Agronomy Journal*. 106: 1893-1901.
109. Salvagiotti, F. 2009. Manejo de soja de alta producción. Santa Fe, INTA. pp. 57-62.
110. Shibles, R. M.; Weber, C. R. 1965. Leaf area, solar radiation interception, and dry matter production by various soybean planting patterns. *Crop Science*. 6: 575-577.
111. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 1966. Interception of solar radiation and dry matter production by various soybean planting patterns. *Crop Science*. 6:55-59.
112. Sionit, N.; Kramer, P. J. 1977. Effect of water stress during different stages of growth of soybean. *Agronomy Journal*. 69: 274-278.
113. SYNGENTA. s.f. Determinantes del rendimiento. (en línea). Buenos Aires. s.p. Consultado 10 jul. 2018. Disponible en <https://www.syngenta.com.ar/determinantes-del-rendimiento>

114. Toledo, R. 2015. Principios básicos de ecofisiología y manejo de soja. Cereales y oleaginosas. (en línea). Córdoba, s.e. 30 p. Consultado 4 jul.2018. Disponible en <https://www.buscagro.com/biblioteca/Ruben-Toledo/Ecofisiologia-de-la-soja.pdf>
115. van Ittersum, M. K.; Cassman, K. G.; Grassini, P.; Wolf, J.; Tittonell, P.; Hochman, Z. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance: a review. *Field Crops Research*. 143: 4-17.
116. Vega, C. R.; Andrade, F. H. 2000. Densidad de plantas y espaciamento entre hileras. In: Andrade, F. H.; Sadras, V. O. eds. Bases para el manejo del maíz, girasol y la soja. Buenos Aires, Argentina, INTA/UNMP. Facultad de Ciencias Agrarias. pp. 97-133.
117. Vu, J. C. V.; Allen Jr, L. H.; Boote, K. J.; Bowes, G. 1997. Effects of elevated CO<sub>2</sub> and temperature on photosynthesis and rubisco in rice and soybean. *Plant, Cell and Environment*. 20:68-76.
118. Wardlaw, I. F.; Wrigley, C. W. 1994. Heat tolerance in temperate cereals: an overview. *Journal Plant Physiology*. 21:695-703.
119. Weber, C. R.; Shibles, R. M.; Byth, D. E. 1966. Effect of plant population and row spacing on soybean development and production. *Agronomy Journal*. 58: 99-102.
120. Wells, R. 1991. Soybean growth response to plant density: relationship among canopy photosynthesis, leaf area, and light interception. *Crop Science*. 31: 755-761.
121. Worku, M.; Astatkie, T. 2011. Row and plant spacing effects on yield and yield components of soya bean varieties under hot humid tropical environment of Ethiopia. *Journal Agronomy and Crop Science*. 197: 67-74.
122. Zanon, A. J.; Streck, N. A.; Grassini, P. 2016. Climate and management factors influence soybean in a subtropical environment. *Agronomy Journal*. 108: 1447-1454.
123. Zuil, S. G. 2011. Efecto del riego sobre el rendimiento de soja en el Norte de Santa Fe. *Revista Voces y Ecos*. no. 27: 6-8.

## 9. ANEXOS

Anexo No. 1



