

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EFFECTO DE LA FECHA DE SIEMBRA, EL GRUPO DE MADUREZ Y LA
INTERACCIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO DE SOJA

por

Juan Miguel LARRAMA UDAQUIOLA

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. (PhD.) Guillermo Siri

Ing. Agr. (MSc.) Andrés Locatelli

Fecha: 26 de marzo de 2019

Autor: -----
Juan Miguel Larrama Udaquiola

AGRADECIMIENTOS

A mi tutor, Luis Giménez por todo su apoyo y dedicación durante la elaboración de este trabajo. A Federico Rovegno, Richard Arévalo y Gastón Sebben por la colaboración. A Darío Umpiérrez y Silvina Schölderle por su trabajo en conjunto.

A toda mi familia, especialmente a mis hermanas Nancy y María, mis cuñados Martín y Darwin, a mis sobrinos, a la familia Otarola-Espíndola, a los abuelos Delcides y Guillerma, a la familia Laborda-Robaina, gracias por su apoyo incondicional durante todos estos años y por brindarme aliento cuando más lo necesitaba. A mi novia Florencia por apoyarme y alentarme en momentos complicados. A mi padre quien fue y será un pilar fundamental en mi vida, un ejemplo de persona, quien inculcó en mí desde pequeño valores y principios que hoy llevo presente. Sin su ejemplo de que mantener en el tiempo la misma línea de pensamiento y de conducta, y de que los logros vienen de la mano del sacrificio y el trabajo duro, hoy no sería la persona que soy. A todos ellos les dedico este logro que es tanto mío como suyo.

A mis amigos del pueblo, a los que la facultad me regaló, vaya mi saludo y un abrazo fraternal para ellos.

A la Facultad de Agronomía – UdelaR, institución que hizo posible mi formación.

Al personal de Biblioteca de Facultad de Agronomía, a la Lic. Sully Toledo por su atención y dedicación.

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. CARACTERÍSTICAS DE LA PRODUCCIÓN DE SOJA EN URUGUAY	2
2. 2. CARACTERÍSTICAS FENOLÓGICAS DE LA SOJA	2
2. 3. FACTORES AMBIENTALES QUE REGULAN EL DESARROLLO DEL CULTIVO DE SOJA	3
2. 3. 1. <u>Requerimientos climáticos</u>	3
2. 3. 1. 1. Fotoperíodo	4
2. 3. 1. 2. Temperatura	4
2. 3. 1. 3. Respuesta conjunta a la temperatura y al fotoperíodo	5
2. 3. 1. 4. Radiación solar	6
2. 4. IMPORTANCIA DEL AGUA EN EL CULTIVO DE SOJA	6
2. 4. 1. <u>Potencial productivo</u>	6
2. 4. 2. <u>Producción de materia seca</u>	7
2. 4. 3. <u>Tasa de crecimiento del cultivo</u>	8
2. 5. FACTORES DE MANEJO QUE MODIFICAN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO	9
2. 5. 1. <u>Fecha de siembra y grupo de madurez</u>	9
2. 5. 1. 1. Grupos de madurez	9
2. 5. 1. 2. Fecha de siembra	10
2. 6. EFECTOS DE LA FECHA DE SIEMBRA SOBRE LA BIOMASA, RENDIMIENTO Y COMPONENTES DEL RENDIMIENTO	12
2. 6. 1. <u>Producción de biomasa</u>	12
2. 6. 2. <u>Rendimiento</u>	13

2. 6. 3. <u>Componentes numéricos del rendimiento</u>	14
2. 7. EFECTOS DEL GRUPO DE MADUREZ SOBRE LA BIOMASA, RENDIMIENTO Y COMPONENTES DEL RENDIMIENTO	15
2. 7. 1. <u>Producción de biomasa</u>	16
2. 7. 2. <u>Rendimiento</u>	17
2. 7. 3. <u>Componentes numéricos del rendimiento</u>	17
2. 8. EFECTO DE LA INTERACCIÓN ENTRE LA FECHA DE SIEMBRA Y EL GRUPO DE MADUREZ SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA, RENDIMIENTO Y COMPONENTES DEL RENDIMIENTO	19
2. 8. 1. <u>Producción de biomasa</u>	20
2. 8. 2. <u>Rendimiento</u>	21
2. 8. 3. <u>Componentes numéricos del rendimiento</u>	22
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	24
3. 1. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO	24
3. 1. 1. <u>Manejo experimental</u>	24
3. 1. 2. <u>Tratamientos</u>	26
3. 2. DESCRIPCIÓN ESTADÍSTICA DEL EXPERIMENTO	27
3. 2. 1. <u>Hipótesis biológica</u>	27
3. 2. 2. <u>Diseño experimental</u>	27
3. 3. DETERMINACIONES REALIZADAS	27
3. 3. 1. <u>Determinaciones durante el ciclo del cultivo</u>	27
3. 3. 2. <u>Determinaciones a cosecha</u>	27
3. 4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	28
3. 5. CONDICIONES CLIMÁTICAS EN EL PERÍODO DEL CULTIVO.....	28
3. 5. 1. <u>Precipitaciones</u>	28
3. 5. 2. <u>Radiación solar incidente y temperatura</u>	29
3. 5. 3. <u>Fotoperíodo</u>	34
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	36
4. 1. DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO	36
4. 1. 1. <u>Parámetros de crecimiento</u>	36

4. 1. 1. 1. Altura de planta y número de nudos por planta	36
4. 1. 1. 2. Materia seca acumulada al inicio y al final del período crítico y tasa de crecimiento del cultivo durante el período crítico.....	38
4. 1. 2. <u>Efecto de la FS y el GM sobre el rendimiento</u>	41
4. 1. 3. <u>Partición de la materia seca y el rendimiento</u>	42
4. 1. 4. <u>Efecto de la FS y el GM sobre los componentes principales del rendimiento</u>	44
4. 1. 5. <u>Relación entre el rendimiento y sus componentes</u>	46
4. 1. 6. <u>Efecto de la FS y el GM sobre los sub-componentes del rendimiento</u>	47
4. 1. 7. <u>Efecto de la RS incidente sobre la materia seca, el rendimiento y los componentes numéricos principales del rendimiento</u>	49
5. <u>CONCLUSIONES</u>	51
6. <u>RESUMEN</u>	52
7. <u>SUMMARY</u>	53
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	54

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Características hidrológicas del suelo.	24
2. Calendario de eventos fenológicos FS noviembre.	25
3. Calendario de eventos fenológicos FS diciembre.	25
4. Calendario de eventos fenológicos FS enero.	26
5. Radiación solar (RS) incidente media diaria en el período crítico (PC) (MJ.m ⁻² .d ⁻¹), radiación solar (RS) incidente total en el período crítico (PC) (MJ.m ⁻²), radiación solar (RS) incidente total en el ciclo (MJ.m ⁻²), temperaturas medias diarias en el período crítico (PC) (°C), temperaturas medias diarias en el total del ciclo (°C) para las variedades DM 6563 y DM 4915, sembradas en noviembre, diciembre y enero.	34
6. Altura de planta promedio (AP, cm) y número de nudos por planta (NNud.pl ⁻¹) de las variedades DM 4915 y DM 6563, para las fechas de siembra (FS) de noviembre, diciembre y enero.	36
7. Materia seca (MS, kg.ha ⁻¹) depositada a inicios del período crítico (PC), materia seca (MS, kg.ha ⁻¹) depositada al final del período crítico (PC) y tasa de crecimiento del cultivo (TCC, kg.ha ⁻¹ .d ⁻¹) durante el período crítico (PC) para dos variedades que difieren en su grupo de madurez (GM) sembradas en tres fechas de siembra (FS) diferentes.	38
8. Materia seca (MS, kg.ha ⁻¹) depositada al final del período crítico (PC), rendimiento en grano convertido a 0% de humedad (kg.ha ⁻¹) e índice de cosecha (IC) para las variedades DM 4915 y DM 6563 en las fechas de siembra (FS) de noviembre, diciembre y enero.	43
9. Número de granos por metro cuadrado (NG.m ⁻²) y peso de mil granos (PMG) para las variedades DM 4915 y DM 6563 en las fechas de siembra (FS) de noviembre, diciembre y enero.	44
10. Número de vainas por planta (NV.pl ⁻¹), número de vainas por nudo (NV.nudo ⁻¹), número de granos por vaina (NG.vaina ⁻¹) y número de granos por planta (NG.pl ⁻¹) de las variedades DM 4915 y DM 6563 para las fechas de siembra (FS) de noviembre, diciembre y enero.	48

Figura No.

1. Precipitaciones ocurridas durante 2016-2017 y valores promedio de la serie histórica 1961 a 2009.	29
2. Radiación solar (RS, MJ.m ⁻² .d ⁻¹) media diaria incidente y temperaturas medias diarias (T., °C) de la serie histórica 2002-15	30
3. Radiación solar incidente (MJ.m ⁻² .d ⁻¹) media diaria mensual y temperatura media diaria mensual (°C) del período noviembre-abril de 2016-17.....	31
4. Radiación solar incidente (MJ.m ⁻² .d ⁻¹) media diaria mensual y temperatura media diaria mensual (°C) del período diciembre-abril de 2016-17.....	32
5. Radiación solar incidente (MJ.m ⁻² .d ⁻¹) media diaria mensual y temperatura media diaria mensual (°C) del período enero-mayo de 2017.....	33
6. Fotoperíodo (horas.d ⁻¹) según quincena del mes para el período noviembre-mayo de 2016-17	35
7. Rendimiento en grano (kg.ha ⁻¹) para las variedades DM 4915 y DM 6563 en fechas de siembra (FS) de noviembre, diciembre y enero.	41
8. Relación entre el rendimiento (kg.ha ⁻¹) y el número de granos por unidad de superficie en el cultivo de soja (NG.m ⁻²), para dos variedades DM 4915 y DM 6563 y tres fechas de siembra (FS), noviembre, diciembre y enero.....	46
9. Relación entre el rendimiento (kg.ha ⁻¹) y el peso de mil granos (PMG, g) en el cultivo de soja, para dos variedades DM 4915 y DM 6563 y tres fechas de siembra, noviembre, diciembre y enero.	47

1. INTRODUCCIÓN

En los inicios del siglo XXI, comenzó un fuerte proceso de expansión agrícola en Uruguay, impulsado principalmente por el crecimiento del área de soja. Las causas que generaron este fenómeno son diversas, destacándose como las principales: el crecimiento de la siembra directa, la generalización del uso de los cultivos transgénicos y la estandarización de labores que incrementan la competitividad, un mercado externo demandante de grano de soja, el incremento sostenido de los precios del grano y productores argentinos que deciden comenzar a realizar agricultura en Uruguay.

Ernst (2004), señala que el crecimiento en la superficie de siembra de soja ocurre principalmente en la región agrícola tradicional, asimismo en zonas agrícolas no tradicionales como el centro, y la región noreste del país la superficie de soja también crece. El área de soja aumentó de 12.000 ha en la zafra 2000/01 a 1.334.000 ha en la zafra 2014/15 (MGAP. DIEA, 2017). El crecimiento en la superficie originó un aumento significativo en la producción, no obstante, los rendimientos presentan cierto estancamiento y sobre todo una variabilidad elevada entre años. Esto se debe principalmente a la insuficiente y variable disponibilidad hídrica que presentan los cultivos de verano que en consecuencia es la determinante fundamental del rendimiento y de la brecha entre el rendimiento potencial y el obtenido a nivel comercial. A esta situación, se adhiere un incremento gradual de la frecuencia de eventos extremos, que cada vez más genera deficiencias hídricas severas comprometiendo seriamente la producción, incrementando los costos económicos e impactando en diferentes aspectos productivos, económicos y sociales (Giménez et al., 2010). En estas condiciones, la ecuación económica de la producción de soja muestra una fuerte dependencia del clima y de los precios del grano, en un escenario de costos en aumento, la sustentabilidad de los sistemas productivos que incluyen agricultura estival de secano se encuentra amenazada.

En condiciones de secano, la elección de la fecha de siembra (FS) combinada con el grupo de madurez (GM) es la principal estrategia para reducir el riesgo de déficit hídrico durante el período crítico (PC) de determinación del rendimiento (R4-R6, Fehr y Caviness, 1977). Sin embargo, bajo riego completo, la estrategia de la elección de la FS y el GM radica en tratar de ubicar las etapas más demandantes del cultivo en términos de calidad ambiental, como el PC con la época de mayor oferta de recursos y así poder alcanzar el máximo rendimiento en condiciones de sostenibilidad. Por tanto, es necesario evaluar el comportamiento agronómico y el potencial productivo de distintos GM y prácticas de manejo de soja, como la FS, de forma tal de brindar herramientas para la toma de decisiones en el manejo del cultivo de soja. La soja que se realiza en el país se desarrolla en una amplia gama de FS conjuntamente con diferentes variedades de distintos GM. Por estas razones, el objetivo principal de este trabajo fue generar información sobre el rendimiento de soja bajo riego completo en diferentes FS combinando variedades pertenecientes a GM contrastantes.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2. 1. CARACTERÍSTICAS DE LA PRODUCCIÓN DE SOJA EN URUGUAY

El Uruguay presenta un clima templado y húmedo, sin embargo el potencial físico y económico de los sistemas de producción agrícolas es altamente dependiente del comportamiento de las precipitaciones ya que la mayor parte del área de los cultivos de verano se realiza en secano y durante el verano el contenido de agua de los suelos, en general, no satisface la demanda hídrica de los cultivos (Giménez et al., 2010).

La soja se ha tornado el cultivo más importante en nuestro país en los últimos años, pasando de 12.000 ha sembradas en 2000/01 a 1.100.000 ha en la temporada 2016/17. En la zafra 2014/15 el área de siembra representó 1.334.000 ha, siendo la máxima superficie destinada a este cultivo. Para la zafra 2016/17, la producción alcanzó los 3,34 millones de toneladas siendo hasta ahora la máxima obtenida a nivel nacional. Esta disminución en el área de siembra se explicó fundamentalmente por el descenso de los precios internacionales de dicho commodity, no obstante sigue siendo el cultivo de mayor importancia para el sector agropecuario (MGAP. OPYPA, 2017). En la zafra 2017/18 el rendimiento medio nacional fue de 1.214 kg.ha⁻¹, lo que implicó una disminución del orden del 59 % respecto al rendimiento promedio de la zafra 2016/17 que se consideraba hasta el momento como el máximo histórico con 2.951 kg.ha⁻¹ (MGAP. DIEA, 2018).

2. 2. CARACTERÍSTICAS FENOLÓGICAS DE LA SOJA

La escala de desarrollo de soja propuesta por Fehr y Caviness (1977), es la más difundida a nivel mundial. Dicha escala propone una descripción de la morfología del cultivo, cuya validez es independiente del cultivar utilizado así como de las condiciones generales del cultivo (sitio, fecha de siembra, densidad), ya que toma en cuenta los cambios morfológicos ocurridos en el tallo principal del 50% de las plantas del cultivo (Kantolic et al., 2003a). En ella se describen los estadios fenológicos del cultivo de soja, distinguiéndose dos etapas principales, una que describe los estadios vegetativos y la otra los reproductivos, asignándole las letras V y R respectivamente, dichas letras son seguidas de índices numéricos que representan estadios específicos, con excepción de los estadios VE (emergencia) y VC (cotiledonar).

En la determinación de los estadios vegetativos (V1-Vn) los nudos cotiledonares no son considerados, ya que no poseen hojas verdaderas. Los nudos que se ubican por encima de los cotiledonares corresponden a las hojas unifoliadas, como estas dos hojas se disponen de forma opuesta en el tallo son consideradas como un nudo. Los nudos ubicados por encima de las hojas unifoliadas se disponen de forma alterna ocupando diferentes posiciones en el tallo y presentan una hoja trifoliada. Se considera

que una hoja está completamente expandida cuando los bordes de la hoja que se ubica inmediatamente por encima no se tocan (Neumaier et al., 2000).

En el tallo principal y en las ramificaciones, la expansión de las hojas continúa durante el período de floración y fructificación, originando una superposición de estadios, entre la aparición de hojas y la formación de estructuras reproductivas. Asimismo, el número de nudos que aparecen y se hace visible luego de iniciado el proceso de floración depende del hábito de crecimiento y puede ser fuertemente afectado por factores ambientales (Kantolic et al., 2003a).

En forma simultánea, al crecimiento de la parte aérea, las raíces crecen y se desarrollan. Las raíces principales pueden alcanzar una longitud aproximada de 200 cm y las laterales de 250 cm, pero la expansión de las mismas está muy afectada por la competencia entre plantas y por limitantes físicas del perfil del suelo. En general, un 80% del peso seco y un 40% de la superficie de las raíces se encuentra en los primeros 15 cm de suelo (Lersten y Carlson, 2004).

Fehr y Caviness (1977), indican que la fase reproductiva puede dividirse en la floración (R1 y R2), el desarrollo de vainas (R3 y R4), el llenado de granos (R5 y R6) y la maduración (R7 y R8), los cuales se identifican considerando el estado de los nudos superiores del tallo principal, independiente del estado de los órganos en otras partes de la planta. El estado reproductivo a nivel externo hace su primer manifestación con la apertura de la primer flor (R1) en posición basal de un racimo axilar, ubicado en una posición intermedia del tallo principal. El proceso puede durar varias semanas y en un mismo momento (e incluso en un mismo nudo) se pueden encontrar flores recientemente abiertas, flores ya marchitas y vainas en crecimiento (Farias et al., 2007).

La madurez fisiológica es la etapa final del ciclo del cultivo cuando cesa la acumulación de materia seca en el grano. Según Kantolic et al. (2003a), el signo más evidente de que se ha alcanzado este estado es que la semilla y, generalmente, también la vaina, pierde su color verde y adquiriendo el color típico marrón pajizo. Sin embargo, no todas las vainas alcanzan la madurez al mismo tiempo sino que según condiciones ambientales y genotípicas, entre 5 y 10 días después de observada la primera vaina madura, se alcanza la madurez en toda la planta (estado R8, Kantolic et al., 2003a).

2. 3. FACTORES AMBIENTALES QUE REGULAN EL DESARROLLO DEL CULTIVO DE SOJA

2. 3. 1. Requerimientos climáticos

El momento en el que ocurren los diferentes estados del cultivo y la duración de las fases de desarrollo dependen fundamentalmente de dos factores ambientales: la temperatura y el fotoperíodo. El resto de los factores ambientales (radiación, agua,

nutrientes, propiedades edáficas) no modifica sustancialmente la duración del ciclo y de las fases que lo componen (Kantolic, 2008). Farias et al. (2007), señalan que la disponibilidad hídrica incide sobre la duración de algunas etapas, aumentando la duración de la fase siembra-emergencia cuando su disponibilidad es insuficiente. Es frecuente además un acortamiento de las fases finales del ciclo (fructificación y llenado de granos) bajo condiciones de estrés hídrico pero, al menos parte de estos efectos no son directos sobre el desarrollo, sino que están mediados por respuestas del cultivo a las deficiencias hídricas (incremento de la temperatura del canopeo, aumento de la senescencia, etc.). Por su parte, Sinclair et al. (2005) relacionando la respuesta del cultivo a ambos factores, evidencian la acción simultánea y la interacción entre ambos factores.

2. 3. 1. 1. Fotoperíodo

El efecto principal del fotoperíodo es el de inducir la floración (Toledo, 2016). La soja es una especie de día corto con respuesta cuantitativa. El fotoperíodo regula la mayor parte de los eventos reproductivos: la floración, la fructificación y el llenado de los granos, condicionando el momento en que comienzan y finalizan las distintas fases y la tasa con que progresan los cambios dentro de la planta (Kantolic et al., 2003a).

Toledo (2013) señala que a diferencia de la temperatura que influye durante todo el ciclo, el fotoperíodo comienza su regulación cuando termina la fase juvenil o preinductiva (posterior a V1), es decir la inducción floral puede ocurrir en cualquier estadio después del desarrollo de la hoja unifoliada. El mismo autor menciona que en general a partir de V2 la planta comenzaría a ser sensible al fotoestímulo fotoperiódico, dicho estímulo culminaría en el estado de madurez fisiológica (R7), indicando que la sensibilidad al fotoperíodo varía a lo largo del ciclo, aumentando a medida que este avanza.

Según Kantolic et al. (2003a) el valor de fotoperíodo crítico y la sensibilidad fotoperiódica tienen una alta dependencia de la variación genotípica, coincidiendo con el autor antes mencionado, Gilli et al. (2016) señalan que el fotoperíodo umbral o crítico depende de los distintos materiales genéticos dentro de la especie y si estos son expuestos a fotoperíodos superiores la floración se retrasa. Los cultivares de los grupos de madurez bajos presentan una menor sensibilidad y un mayor umbral que los grupos de madurez mayores.

2. 3. 1. 2. Temperatura

La temperatura regula el desarrollo durante todo el ciclo, pero los requerimientos térmicos y las temperaturas cardinales que regulan la tasa de desarrollo difieren a lo largo de las fases de desarrollo (Kantolic et al., 2003a). Por su parte, Setiyono et al. (2007) añaden que el efecto de la temperatura sobre la duración de las

fases en soja, se manifiesta cuando el cultivo acelera o retrasa el desarrollo según el rango térmico pertinente.

Para la mayor parte de las fases de desarrollo se ha estimado una temperatura base por debajo de la cual la tasa de desarrollo es nula. En la medida que la temperatura aumenta por encima de la base, la tasa de desarrollo aumenta hasta que se alcanza una temperatura o un rango de temperaturas óptimas, en las cuales la tasa de desarrollo es máxima. Las temperaturas mayores al rango óptimo disminuyen la tasa de desarrollo, hasta una temperatura máxima donde el desarrollo es nulo (Kantolic, 2008). En general, las temperaturas cardinales (base, óptimas, máxima) tienden a disminuir a medida que avanza el ciclo (Toledo, 2016).

La temperatura también afecta el desarrollo, el establecimiento y el crecimiento de los órganos reproductivos. Se han estimado temperaturas óptimas para el establecimiento de vainas, la duración del llenado de granos, entre otras. También se señala que a pesar de que los efectos de la temperatura sobre los órganos reproductivos pueden ser directos sobre su desarrollo, varias de las respuestas observadas pueden resultar de una combinación de la temperatura sobre el desarrollo y el crecimiento (Kantolic, 2008). Por su parte, Farias et al. (2007) indicaron que el cultivo de soja presenta mayor adaptación a regiones con temperaturas entre 25-30 °C, mientras que regiones con temperaturas inferiores a 10 °C no son recomendables para el cultivo, así como tampoco temperaturas por encima de 40 °C, debido a que las mismas tienen un efecto negativo sobre la tasa de crecimiento, provocan daños en la floración y disminuyen la capacidad de retención de vainas.

La temperatura base varía entre 6 y 10 °C, las temperaturas óptimas diurnas para fotosíntesis están comprendidas entre los 30 y 35 °C (Kantolic, 2008). Las temperaturas óptimas nocturnas para crecimiento se encuentran entre los 21 y 27 °C. La fijación de vainas se retarda con temperaturas menores a 22 °C y cesa con temperaturas menores a 14 °C. Las temperaturas medias por encima de los 25 a 30 °C aceleran el desarrollo. Por lo tanto, la temperatura óptima para el desarrollo normal vegetativo y reproductivo del cultivo se encuentra entre los 25 °C y 30 °C (Toledo, 2016).

2. 3. 1. 3. Respuesta conjunta a la temperatura y al fotoperíodo

La duración de las etapas de desarrollo en soja está regulada simultáneamente por el fotoperíodo y por la temperatura, por lo tanto, la fenología del cultivo depende de la respuesta genotípica a ambos factores (Toledo, 2016). Sinclair et al. (2007), sostienen que el desarrollo de cultivares de GM menores resulta más dependiente de la temperatura que del fotoperíodo, debido a su baja sensibilidad a este factor, a partir de R5, la tasa de desarrollo pasa a depender del fotoperíodo y no es tan afectada por los cambios en la temperatura, mientras que en GM mayores el efecto de la temperatura es mayor.

Por otra parte, Giménez (2007) obtuvo una respuesta diferencial de distintos cultivos a los factores ambientales que regulan el desarrollo en soja y afirma que se debe a mecanismos que controlan la duración de las etapas fenológicas, siendo que en los GMs III y IV la temperatura es el factor determinante y en los GMs V a VIII operan conjuntamente el fotoperíodo y la temperatura.

2. 3. 1. 4. Radiación solar

La producción de biomasa total a cosecha de los cultivos resulta de la acumulación neta del CO₂ asimilado durante todo el ciclo de crecimiento (Melgar et al., 2011). Los mismos autores mencionan que debido a que la asimilación del CO₂ resulta de la absorción de la radiación y dado que ésta última está distribuida uniformemente sobre una superficie, con adecuada disponibilidad de agua y nutrientes, los factores primarios que afectan la biomasa total son la radiación solar absorbida y la eficiencia de utilización de la radiación durante estos períodos de máxima heliofanía. Para nuestra región, a medida que se acerca el solsticio de verano (21 de diciembre) los días se van alargando, en el norte del territorio nacional la duración del día más largo del año es de 14 horas 04 minutos, en el sur la duración es un poco mayor, alcanzando las 14 horas 31 minutos.

La cantidad de radiación solar interceptada acumulada por un cultivo depende de la duración del ciclo y de la dinámica de intercepción de dicho cultivo, por lo que, para lograr altos valores de intercepción de la radiación en un cultivo, es importante 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 el mayor tiempo posible (Cárcova et al., 2003). Existe una sólida base experimental que demuestra que el número de granos del cultivo está limitado por su actividad fotosintética, y no por la cantidad de órganos reproductivos que se generen, por lo que hay una relación bastante robusta entre el número de granos y la radiación interceptada acumulada entre R3 y R6, y una mayor duración de la etapa permite aumentar el nivel de radiación capturado por el cultivo durante el PC (Kantolic, 2003b).

2. 4. IMPORTANCIA DEL AGUA EN EL CULTIVO DE SOJA

2. 4. 1. Potencial productivo

El rendimiento potencial de una especie es aquel que se obtiene en un ambiente dado en ausencia de estreses bióticos y abióticos (Otegui, 2009). En 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 (asumiendo al CO₂ como un recurso de oferta constante por parte de la atmósfera y que no está sujeto a modificaciones significativas en el corto plazo). Por su parte Salvagiotti (2009) menciona que para alcanzar la máxima productividad, es necesario que la oferta

de recursos esté disponible en suficiente cantidad y en el tiempo requerido, es decir cuando el cultivo tiene las mayores tasas de crecimiento y se están generando los principales componentes del rendimiento, número y peso de los granos.

Por otra parte Baigorri et al. (2000) indican que el potencial productivo es un atributo genético cuya expresión está fuertemente condicionada por el ambiente y generalmente asociado de forma inversa a la longitud del ciclo. Esto se debe a que los materiales de ciclo largo instalan su llenado de granos más tarde recibiendo menor radiación solar y temperatura durante este período. Asimismo Cooper, citado por Giménez (2007), destaca que la temperatura y el fotoperíodo son las principales limitantes climáticas en la obtención del rendimiento potencial de soja, en ausencia de deficiencias hídricas. Kantolic et al. (2003a), además añaden que estos parámetros ambientales son los que regulan las variaciones en la fenología de la soja.

2. 4. 2. Producción de materia seca

Para lograr altas producciones de materia seca (MS) en una estación de cultivo se necesitan elevadas radiaciones solares y temperaturas diurnas óptimas para el proceso fotosintético, las que posibiliten altas tasas de crecimiento y prolongadas duraciones de las etapas fenológicas (Andrade y Sadras, 2000a). Mientras que Shibles et al., citados por Mondino (2006), mencionan que es fundamental lograr una alta producción de MS en estados vegetativos antes de ingresar en el período reproductivo, ya que el rendimiento es función directa de la producción de biomasa. Por otra parte, Salvagiotti (2009) sostiene que en ausencia de limitantes hídricas y nutricionales, se debe manejar el cultivo de soja de modo que desarrolle un canopeo que permita maximizar la interceptación de radiación durante la etapa reproductiva temprana.

Mondino (2006) afirma que la máxima acumulación de MS vegetativa se produce después de R5.5, mientras que los valores máximos de MS reproductiva se alcanzan a R7, etapa en la que se obtienen los valores mayores de MS total. Andrade y Sadras (2000a) midieron la producción de MS en ensayos conducidos bajo riego, donde se obtuvieron aproximadamente 12 t ha⁻¹ de MS en todo el ciclo del cultivo. Sin embargo, los trabajos realizados por Canfalone et al. (2002), en un experimento conducido en Buenos Aires, obtuvieron resultados donde el tratamiento regado alcanzó su rendimiento máximo durante los tres años de 23 t ha⁻¹ de MS, mientras en el tratamiento sin riego, el máximo alcanzado fue de 13,8 t ha⁻¹ de MS.

Las evaluaciones realizadas por Giménez (2014), en los años 2009/10 y 2010/11, en soja bajo riego, se lograron producciones de 8347 kg ha⁻¹ de MS al estadio R6 en el primer año y en el segundo se logró una producción máxima de 16168 kg ha⁻¹ de MS a R6. El autor señala que las diferencias encontradas entre años se debieron a la reducción en la radiación solar incidente a causa de excesos de precipitaciones en el primer año del experimento. En cambio, en el segundo año las condiciones climáticas se

caracterizaron por tener menores precipitaciones y alta radiación solar incidente lo que permitió obtener mejores producciones. Posteriormente, fueron presentados datos por Giménez (2012), donde en los años 2010/11 y 2011/12 la producción de MS total fue de 16.000 kg.ha⁻¹.

2. 4. 3. Tasa de crecimiento del cultivo

La tasa de crecimiento del cultivo (TCC) como una función lineal de la radiación interceptada, es una variable que indica la acumulación de materia seca por unidad de superficie de suelo y por unidad de tiempo (Shibles et al., citados por Mondino, 2006). Por otra parte, Radford, citado por Mondino (2006), menciona que la TCC es el índice más significativo para caracterizar el incremento del canopeo del cultivo. La TCC está estrechamente relacionada con la intercepción solar alcanzando su máximo valor cuando el canopeo es capaz de interceptar el 95% de la radiación solar incidente (Shibles et al., citados por Mondino, 2006).

El IAF crítico para soja se ubica entre 3,1 y 4,5 y es dependiente de la estructura de la planta, que a su vez depende de la FS y del GM, la densidad de siembra y el espaciamiento entre surco son otras variables que inciden sobre la estructura (Toledo, 2013). El mismo autor afirma que por más que el cultivo alcance un valor de IAF muy elevado, la TCC no disminuye, lo que significa que las hojas sombreadas no actúan como parásitas para la planta.

Baigorri et al. (2000), para Argentina y Shibles et al., citados por Mondino (2006), para EEUU, mencionan que los valores de TCC durante la fase lineal del crecimiento oscilan entre 86 y 186 kg.ha⁻¹.d⁻¹. Andrade y Sadras (2000a) reportan valores de tasa de crecimiento media entre los 40 y 80 días pos-emergencia de 180 ± 8 kg.ha⁻¹.d⁻¹. Grasso y Montero (2011), reportaron resultados de TCC durante el PC de 250 kg.ha⁻¹ d⁻¹ en situaciones de bienestar hídrico.

Para lograr altos niveles de TCC en el período deseado se debe tener un IAF elevado, adecuada disponibilidad hídrica y radiación solar, minimizando los efectos del estrés ambiental que enlentece la TCC entre emergencia y comienzos del llenado de granos (R5) y de esta forma maximizar el rendimiento (Modali, 2004). A su vez, Kantolic (2003b), indica que para lograr altos rendimientos en soja la TCC se debe maximizar durante el período R1-R6, y en consecuencia también se maximizarán el número de nudos logrados por unidad de superficie y la supervivencia de vainas, y el cultivo contará con mayor cantidad de asimilados para sostener un correcto llenado de granos.

Es de particular importancia la determinación de la TCC en el PC, ya que la misma se correlaciona positivamente con la deposición de MS y con el NG fijados (Radford, citado por Mondino, 2006). Grasso y Montero (2011), reportaron que la TCC

entre R1 y R5 es directamente proporcional al NG por superficie a cosecha, en el mismo sentido Jiang y Egli (1995), Egli (1998), Kantolic (2003b) establecen que el NG fijados por las plantas están relacionados con la TCC entre floración y mediados del llenado de grano, más precisamente durante el PC.

2. 5. FACTORES DE MANEJO QUE MODIFICAN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO

2. 5. 1. Fecha de siembra y grupo de madurez

El comportamiento fenológico de la soja en condiciones ambientales diferentes, es un aspecto a considerar en la elección de los cultivares con mayor adaptación a las regiones de producción y en el ajuste de las prácticas de manejo del cultivo (Giménez, 2007). Asimismo, Egli (1998) sostiene que el comportamiento fenológico del cultivo permite tener conocimientos de la ubicación temporal del PC de determinación del rendimiento en los diferentes GMs, siendo una característica relevante debido a que el ambiente de producción, durante esta etapa, condiciona la TCC, la cual determina el número de granos por superficie, que es el componente principal del rendimiento.

Martignone et al., citados por Giménez (2007), señalan la importancia de caracterizar la respuesta de los cultivares de soja a variaciones de temperatura y fotoperíodo con el objeto de lograr que los estadios más críticos para la determinación del rendimiento se desarrollen en las condiciones ambientales más favorables. Giménez (2007) sostiene que a partir del año 2001, se ampliaron los GMs y las FSs utilizadas en el país a nivel comercial, se incorporaron los GMs III y IV.

2. 5. 1. 1. Grupos de madurez

Los cultivares comerciales de soja se clasifican en GM o grupos de precocidad, existen en el mundo una amplia gama de materiales, los que se clasifican desde el GM 000 al GM X constituyen trece grupos en total; este agrupamiento se basa fundamentalmente en la duración de la etapa de emergencia (VE) a floración (R1), y la adaptación del cultivo a las condiciones de fotoperíodo y temperatura explicaría la distribución geográfica de los GM en el área de producción de soja (Toledo, 2013). Por otra parte, Kantolic et al. (2003a) añaden que el valor de fotoperíodo crítico y la sensibilidad fotoperiódica dependen de los distintos materiales genéticos dentro de la especie. Los cultivares de los GMs de menor ciclo presentan una menor sensibilidad y un umbral fotoperiódico mayor, siendo la inducción floral provocada básicamente por la temperatura, mientras que los GMs de mayor ciclo la inducción floral ocurre por efecto conjunto del fotoperíodo y la temperatura, y cuanto mayor es el ciclo, mayor es la importancia que posee el fotoperíodo en la inducción floral.

La soja es una especie de día corto con respuesta cuantitativa, en función de la misma cada GM tiene un comportamiento medio en una banda latitudinal de adaptación (aproximadamente de 200 km de ancho), al sur de su respectiva franja responderá como un GM de mayor ciclo, y cuanto a mayor latitud se desplace, esto generaría un mayor atraso en el momento de inicio de la floración, provocando por lo tanto un retraso en el período de llenado de los granos lo que puede ser interrumpido por heladas tempranas (Toledo, 2013). El mismo autor afirma que al desplazarse hacia el norte de su respectiva franja de adaptación cada uno se comportaría como un GM de menor ciclo, debido a que se desplaza hacia una menor latitud, el momento de floración se adelantaría provocando una reducción del tamaño de la planta que traerá como consecuencia principal un menor rendimiento.

Según Toledo (2013), los GM de menor largo de ciclo presentan ciertas características que los representan, en épocas de siembra no favorables presentan un claro descenso en el crecimiento y en altura de plantas, raramente se observa vuelco, poseen una mayor respuesta productiva cuanto mejores son las condiciones ambientales (fertilidad y disponibilidad hídrica), asociado con el alto potencial productivo, son muy inestables en su respuesta ante cualquier deficiencia u estrés ambiental, y en su mayoría son de hábito de crecimiento (HC) indeterminado. En cambio, los GM de mayor largo de ciclo en general, salvo en épocas de siembras tardías, presentan mayor crecimiento de las plantas, son proclives al vuelco bajo situaciones de alta calidad ambiental, siendo su principal característica la estabilidad productiva, aumentando a medida que aumenta el GM y sobre todo en los de HC determinado, pero presentan menor potencial productivo.

En experimentos realizados por Giménez (2007) se demostró que a medida que las FS se atrasaron las longitudes de los ciclos se redujeron, debido fundamentalmente al acortamiento de la etapa entre VE-R6, ya que a medida que avanza el verano, se producen fotoperíodos más cortos y temperaturas medias más bajas. En las localidades del norte del país, se presentaron ciclos más cortos, con una ubicación anterior del período crítico (PC) de determinación del rendimiento explicado por fotoperíodos menores y las temperaturas medias mayores comparadas con el sur del país. Los GM cortos sembrados en octubre presentaron una parte significativa del PC durante el mes de enero, lo que los posiciona en un período en el que ocurren las mayores demandas atmosféricas, y en el cual es posible maximizar los rendimientos siempre y cuando el estatus hídrico y nutricional no sea un factor limitante.

2. 5. 1. 2. Fecha de siembra

El fotoperíodo y la temperatura son los factores que en mayor medida determinan el desarrollo del cultivo de soja. En zonas de clima templado, estos factores varían marcadamente a lo largo del año. Por esto, al variar la FS en estas zonas, se modifican las condiciones ambientales a las que está expuesto el cultivo a lo largo de la estación (Andrade y Cirilo, 2000b). Bodrero (2003), Tuttolomondo et al. (2006) afirman

que, al modificarse la FS, se alteran ambos factores ambientales de suma importancia dado que controlan la duración de los distintos estadios y la velocidad de varios procesos fisiológicos en las plantas.

Al ser la temperatura uno de los factores determinantes en la duración de cada uno de los estados fenológicos del cultivo, a medida que esta aumenta por encima de una temperatura base, se incrementa la velocidad con que se cumple cada etapa, por lo que la duración de la fase disminuye (Bianchi et al., 2011). Bianchi et al. (2011), coincidiendo con Bodrero (2003), señalan que el fotoperíodo no solo incide en la iniciación floral sino que también tiene una marcada influencia en la duración de las etapas fenológicas y del ciclo del cultivo y por lo tanto, en el rendimiento. Bodrero (2003), Tuttolomondo et al. (2006) añaden que, la duración de estas fases está determinada por el grado de sensibilidad termo-fotoperiódica del cultivar.

El atraso en la FS se traduce en una menor duración de las primeras etapas fenológicas del cultivo, por un rápido acortamiento de los días y la ocurrencia de temperaturas mayores en las primeras etapas del cultivo, disminuyendo el período para interceptar una alta proporción de la radiación solar incidente. Se produce un aumento de la tasa de desarrollo durante la etapa vegetativa provocando menor altura, menor número de nudos por planta y una reducción significativa del área foliar y biomasa del cultivo (Bianchi et al., 2011). Además, Bianchi et al. (2011) indican que esto redundaría en una menor duración del período de llenado de granos por la influencia marcada del fotoperíodo durante esta etapa y una menor acumulación diaria de materia seca durante el establecimiento y llenado de los granos, donde los días son más cortos y las temperaturas y la radiación solar incidente son menores. Toledo (2013) añade que se genera un menor desarrollo radicular y un atraso e ineficiente cierre de la canopia, que producen mayores pérdidas de agua por evaporación.

Tuttolomondo et al. (2006) indican que con el atraso de la FS, la etapa de R3-R5, etapa en la cual se establecen las estructuras reproductivas tuvo un importante acortamiento en cultivares de ciclo corto (GM II al IV) que produjo reducciones en la captación de radiación solar, afectando también el número de granos. Los mismos autores señalan que la etapa R5-R7 (llenado de granos) no manifestó reducciones importantes entre los diferentes genotipos evaluados en sus ensayos. En ese sentido, Villasuso (2015) indica que un atraso o anticipo en la FS puede generar la exploración de un ambiente pobre, influyendo de manera negativa principalmente entre las etapas R3 – R5.5. En el caso de siembras tardías, el PC ocurrirá en un ambiente con días cortos y de altas temperaturas, provocando un aumento en la tasa de desarrollo que conlleva a plantas de menor porte con una disminución de las estructuras reproductivas.

Los cambios en la provisión de asimilados durante la etapa de crecimiento de las semillas, afectan su tasa de llenado y pueden afectar también la duración de la etapa (Bodrero, 2003). Además, Bodrero (2003) indica que la duración del llenado de granos

depende del fotoperíodo, mientras que la tasa de llenado es función de la temperatura, lo que implica que, cambios en la FS modifican las condiciones ambientales que imperarán durante el ciclo del cultivo.

2. 6. EFECTOS DE LA FECHA DE SIEMBRA SOBRE LA BIOMASA, RENDIMIENTO Y COMPONENTES DEL RENDIMIENTO

La soja es considerada un cultivo de alta plasticidad ya que existe una gran cantidad de genotipos adaptados a múltiples latitudes y alternativas de manejo (Kantolic et al., 2003a). Esta amplia disponibilidad de genotipos permite que la buena combinación de prácticas de manejo conduzca a rendimientos óptimos dentro de cada área de producción. Sin embargo, para el logro de altos rendimientos, es necesario conocer cuáles son los principales factores limitantes de la expresión de potencialidad, cómo influyen, y cómo deben manejarse (Villasuso, 2015).

La FS es uno de los factores de manejo más importantes, ya que su interacción con el potencial genético varietal influye significativamente sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de soja. Además, determina el régimen fototermal e hídrico al que estará expuesto el cultivo (Otegui et al., 2003).

2. 6. 1. Producción de biomasa

Andrade (1995) expone cómo interactúan algunos factores para definir el rendimiento del cultivo. En su modelo ecofisiológico, explica que el rendimiento depende de la habilidad de un cultivo para acumular biomasa total (BT) y establecer su índice de cosecha (IC). A su vez, dicha biomasa depende de la oferta de radiación solar en un determinado ambiente y de la eficiencia del cultivo para interceptar y convertir dicha radiación solar en materia seca.

La mayor duración del ciclo, permite una mayor intercepción de radiación y, por ende, una mayor acumulación de biomasa que pueda dar lugar a mayores rendimientos. Sin embargo, si bien la producción de biomasa es mayor cuando el ciclo es más largo, esto no siempre implica mayores rendimientos, ya que el IC puede modificarse dependiendo de la disponibilidad de recursos durante la etapa crítica de definición del rendimiento (de la Vega y de la Fuente, 2003). Asimismo, Villasuso (2015) coincide con Andrade (1995), y menciona que la cantidad de radiación solar acumulada depende de la intensidad de la radiación solar, de la longitud del ciclo del cultivo y de la dinámica con que éste capture dicha radiación.

La radiación solar es un factor importante en la generación de los componentes de rendimiento, puesto que la misma tiene relación directa con la generación de biomasa entre las etapas de R2 a R5 y por ende, está relacionada con el rendimiento. Al sembrar en fechas de siembra más tardías el período comprendido entre R2 y R5 se sitúa en días

con menor aporte de radiación en simultáneo con altas temperaturas. Por lo tanto, a medida que disminuye la radiación solar interceptada por menor disponibilidad de radiación y por acortamiento de fases, disminuye el rendimiento (Cortés, 2015).

El retraso en la FS ubica el período reproductivo en condiciones de menor radiación y temperatura. Sin embargo, siembras muy tempranas pueden repercutir en un lento crecimiento inicial y un menor desarrollo del canopeo (Andrade y Cirilo, 2000b).

Los cultivos de soja implantados en octubre presentan una menor biomasa total y altura de sus plantas, respecto a una siembra de noviembre, aunque esto no debería afectar su rendimiento potencial mientras se logren niveles aceptables de cobertura durante el período R4-R6 (Baigorri, 2000). De la misma manera, Andrade y Cirilo (2000b), Cortés (2015) indican que el atraso en la FS a partir de mediados de noviembre produce disminuciones importantes en los rendimientos, debido a una menor radiación interceptada total como consecuencia del acortamiento de las etapas vegetativas y reproductivas. El fotoperíodo más corto al que está expuesto el cultivo cuando la siembra se retrasa, resulta en una producción de BT menor, y también altura de planta, ramificaciones, número de nudos y vainas por planta menores con la consiguiente disminución del rendimiento.

Paredes et al. (2015) en el norte de China con FS de mediados de junio, obtuvieron producciones de biomasa final para cuatro años consecutivos (2008-2011) de 9631, 9118, 11840 y 10757 kg MS ha⁻¹ respectivamente. Los mismos autores señalan que las diferencias en biomasa producida se le adjudican a las variaciones de temperaturas diurnas y nocturnas, ya que los promedios de radiación y temperatura para esas temporadas fueron similares.

2. 6. 2. Rendimiento

El rendimiento de soja está dado por el producto entre la BT y el IC, que a su vez, está integrado por el número de plantas por unidad de superficie, número de vainas por planta, número de granos por vaina y tamaño de granos (Liu et al., 2005).

En las FS primaverales, el PC se ubica bajo condiciones que favorecen una alta tasa y una mayor duración del período de crecimiento, por lo que el rendimiento potencial tiende a ser máximo, sin embargo la limitante está dada en etapas tempranas donde el cultivo está expuesto a fotoperíodos cortos y a bajas temperaturas lo que puede dar como resultado la reducción del tamaño potencial de las plantas (Kantolic, 2008). En FS tardías, el rendimiento potencial tiende a disminuir dado que la etapa crítica del cultivo se ubica en condiciones de menor radiación, a esto se le suma la menor duración no solo del PC sino también de la longitud de las etapas vegetativas y reproductivas (Kantolic, 2008).

Grassini et al. (2014, 2015) destacan la importancia que tiene la FS como factor de manejo, siendo ésta responsable de las principales variaciones de rendimientos dentro de una región. En FS tempranas de inicios de verano, las diferencias en rendimiento entre variedades de diferente GM son mayores, y que a medida que se atrasa la FS, estas diferencias en rendimiento se ven disminuídas llegando a no ser significativas entre variedades (Grassini et al., 2015). Sin embargo, Villasuso (2015), Ferraris y Díaz Zorita (2016) reportaron que el atraso de la FS de noviembre a diciembre determina diferencias claras en los rendimientos logrados tanto por cultivares de GM de ciclo corto como de GM de ciclo largo, pero que estas diferencias se mantienen entre FS. Los autores sostienen que estas diferencias en rendimiento son explicadas por las condiciones ambientales imperantes durante el llenado de los granos.

Van Roekel et al. (2015) en las investigaciones realizadas en Fayetteville (Arkansas, EEUU) utilizando como FS el 12 de abril en 2012 y 14 de mayo en 2013 obtuvieron rendimientos superiores a 7500 y 5500 kg ha⁻¹ con cultivares de alto y bajo rendimiento, respectivamente. Los autores sostienen que la FS determina una barrera así como una oportunidad para alcanzar rendimientos elevados por la ubicación de la floración y que tanto el NG m⁻² como el rendimiento están limitados por la disponibilidad de recursos siendo el cultivo capaz de ajustar el NG m⁻², el cual aumenta o disminuye haciéndolo coincidir con dicha disponibilidad.

2. 6. 3. Componentes numéricos del rendimiento

En el cultivo de soja, el número de granos (NG) por m² es el componente más asociado con las variaciones en los rendimientos (Egli, 1998). Este depende de la TCC en la etapa reproductiva y la duración de la misma (Alemán y Barrere, 2014). El segundo componente de rendimiento del cultivo, es el peso de granos (PG), tiene un rango de variabilidad mucho menor que el NG por m² (Sadras, 2007). Sin embargo, es particularmente sensible a la disponibilidad de asimilados durante la floración (Alemán y Barrere, 2014).

Los reportes de Egli (1998), Sadras (2007), señalan que los dos componentes principales del rendimiento son i) el NG por unidad de superficie, variable que se encuentra sujeta a las estructuras que lo determinan (número de nudos, número de vainas por nudo y número de granos por vaina), y ii) el PMG a madurez fisiológica. En soja, existe una relación lineal entre el NG y la TCC durante el PC (Jiang y Egli, 1995). Por otro lado, Villasuso (2015) sostiene que el PMG está altamente influenciado por i) el NG fijados, ii) dinámica de la acumulación que depende a su vez, de la duración del período de llenado y de la tasa de acumulación de biomasa.

Las condiciones de estrés hídrico durante la floración y el llenado de granos pueden provocar, el aborto de flores y vainas jóvenes, considerado como el mecanismo preponderante en definir el número final de vainas, y ante restricciones severas, la

mortandad de vainas de mayor tamaño puede incrementarse (Egli y Bruening, 2006). En este sentido, Alemán y Barrere (2014) señalan que períodos con el mismo tipo de condiciones hídricas durante el llenado de granos provocan reducciones significativas en el rendimiento debido al menor crecimiento de los granos, como consecuencia del desencadenamiento de una senescencia acelerada. Cualquier tipo de estrés que sufra el cultivo en el período entre comienzo de floración (R1) y comienzo de llenado de granos (R5) afectará el número potencial de granos. Asimismo, si este estrés ocurre durante el período entre R5 y madurez fisiológica (R7), el PG será afectado. En cualquiera de las situaciones antes mencionadas, el rendimiento tendrá severas disminuciones (Salvagiotti et al., 2010).

Villasuso (2015) señala que el NG es el primer componente en definirse y que queda sujeto a fluctuaciones ocurrentes en el ambiente, mientras que el PMG al definirse luego de haberse establecido el NG, es menos propenso a cambios. Además, este autor sostiene que el PMG no explica el rendimiento cuando los cultivos son sembrados en fecha óptima, en base a los resultados obtenidos en dicho experimento, donde el 63% de las variaciones del rendimiento fueron explicadas por el NG. Por otro lado, la variable PMG representó el 31 % de las variaciones en el rendimiento.

Por otra parte, Ferraris y Díaz Zorita (2016) en INTA Pergamino, Bs As (Argentina) en la campaña 2014/15, con FS del 14 de noviembre, reportan un rango de valores para NG entre 2489-2883 granos m⁻² y el PMG osciló entre 173-191 g. El NG explicó el 87% de las variaciones en el rendimiento, mientras que el PMG solo un 2%. En la FS del 12 de diciembre, obtuvieron valores de NG por m⁻² entre 3028-3414, con valores de PMG entre 167-181 g, para este caso, el NG explicó el 87% de la variabilidad en rendimiento y el PMG solo el 2%. Estos autores coinciden con lo expresado por Braz et al. (2010), quienes señalan que el PMG solo es responsable de variaciones significativas en el rendimiento cuando los recursos RS, agua y nutrientes no son limitantes.

2.7. EFECTOS DEL GRUPO DE MADUREZ SOBRE LA BIOMASA, RENDIMIENTO Y COMPONENTES DEL RENDIMIENTO

La característica más importante del genotipo a tener en cuenta es el GM ya que determina la duración del ciclo del cultivo en un determinado ambiente. Para una misma fecha y ambiente, la duración de la etapa siembra a R1 es mayor a medida que aumenta el GM (de la Vega y de la Fuente, 2003). El GM es un factor que determina la duración del ciclo de crecimiento y la adaptabilidad general del cultivo para un ambiente en particular (Villasuso, 2015).

Los cultivares de soja continúan eligiéndose en base a su GM, esto es así porque si la floración ocurre de manera muy temprana, el crecimiento de la planta puede

resultar insuficiente para lograr un buen crecimiento del canopeo y posterior rendimiento (Baigorri y Martini, 2007). En el otro extremo, una floración demasiado tardía puede resultar en que el ambiente explorado hacia el final del ciclo sea poco favorable para el crecimiento y la maduración de las semillas (Kantolic, 2008).

Por lo tanto, provocar que el PC del cultivo coincida con las mejores condiciones ambientales posibles permite maximizar los rendimientos, mediante prácticas de manejo tales como la elección del GM en combinación con la FS, constituyen una de las estrategias de bajo costo más importantes para lograr dichos objetivos (Cortés, 2015). Por otra parte, Villasuso (2015) añade que, los criterios de manejo antes mencionados pueden afectar de manera significativa la calidad ambiental a la que es expuesto el cultivo, particularmente en etapas críticas de definición del rendimiento R3-R5.

En mención al potencial de rendimiento, Egli (1997) señala que si bien los GMs de ciclo más largo presentan un mayor número de días que GM de ciclo más corto, la etapa de llenado de granos no difiere entre GM, lo que indica que los GMs largos no tendrían ninguna ventaja potencial con respecto a los GM cortos.

2. 7. 1. Producción de biomasa

El largo del ciclo, es la característica principal por la cual se clasifican los GM, es un factor importante y que redundante de forma significativa sobre la producción de biomasa del cultivo, una mayor duración de ciclo permite mayor intercepción de radiación, y por ende, una mayor acumulación de biomasa que pueda dar lugar a mayores rendimientos. Sin embargo, si bien la producción de biomasa es mayor cuando el ciclo es más largo, esto no siempre implica mayores rendimientos, ya que el IC puede modificarse dependiendo de la disponibilidad de recursos durante la etapa crítica de definición del rendimiento y del potencial de rendimiento en grano de cada cultivar (de la Vega y de la Fuente, 2003).

Liu et al. (2005), Bajgain et al. (2015) indican que los cultivares pertenecientes a GM de ciclo corto presentan un patrón de acumulación de MS lineal durante la etapa reproductiva, y que en este tipo de cultivares la MS acumulada en esta etapa presenta un alto grado de asociación con el NV y el NG por planta, con respecto a cultivares pertenecientes a GM de ciclo más largo. Asociado a esto, Baigorri (2002), Martignone et al. (2010) expresan que los cultivares pertenecientes a GM mayores presentan una menor eficiencia reproductiva y que el IC presenta generalmente una relación inversa con la longitud del ciclo de los cultivares, debido a que si bien producen un mayor número de nudos, presentan un bajo NG y un bajo NG por nudo, respecto a cultivares pertenecientes a GM menores. En este sentido, Egli (1997), Sinclair et al. (2005), Villasuso (2015) reportaron valores de IC entre 0,4 y 0,7 obtenidos en experimentos de cultivares pertenecientes a GM cortos e intermedios.

Los experimentos llevados a cabo por Martignone et al. (2010) en INTA-Oliveros de Argentina, mostraron producciones de biomasa total mayores para cultivares pertenecientes al GM VI con respecto a cultivares pertenecientes a GM IV. Los autores adjudicaron estas diferencias al largo de ciclo de cada uno de los cultivares, indicando que los cultivares que produjeron menor biomasa, registraron un menor número de nudos que determinó un bajo número de frutos y granos por m^{-2} y consecuentemente los menores rendimientos.

2. 7. 2. Rendimiento

Según lo reportado por Toledo (2013), coincidiendo con Baigorri (2002), los dos aspectos principales del rendimiento son: potencial y estabilidad. El potencial de rendimiento es un atributo genético condicionado fuertemente por el ambiente, el mismo, es afectado de forma significativa según el largo del ciclo, donde los GMs menores tienen mayor potencial de rendimiento que los GMs mayores, pero exigen mejores condiciones ambientales durante el PC. La estabilidad, en cambio, está asociada en forma directa al largo de ciclo, por lo tanto, los GMs mayores son los de mayor estabilidad.

Egli (1997), Edwards y Purcell (2005) señalan que los cultivares de ciclo más largo presentan un menor índice de cosecha que los de ciclo corto e incluso un menor rendimiento potencial. Por otra parte, Kantolic (2008) indica que en la medida que la precocidad de un cultivar sea mayor y su floración se adelante hacia principios del verano, el rendimiento potencial tenderá a incrementarse. Edwards y Purcell (2005), coincidiendo con ambos autores, añaden además que, los cultivares de ciclo largo consumen más agua antes del período crítico.

Ventimiglia y Torrens Baudrix (2015) obtuvieron rendimientos de 7196 y de 7883 $kg\ ha^{-1}$ para una variedad perteneciente al GM III y GM IV, respectivamente. Estos autores afirmaron, que la distribución de las precipitaciones durante el ciclo del cultivo, donde no se registraron lluvias en la etapa de fructificación y principalmente en llenado de grano, permitió que el cultivo disponga de días luminosos y también de noches cálidas. Estas condiciones sumadas a la buena fertilidad del suelo, buen control de malezas, plagas y enfermedades, permitieron a los cultivares lograr rendimientos superiores a 7 toneladas por ha.

2. 7. 3. Componentes numéricos del rendimiento

El rendimiento de un cultivo es el resultado final de la suma de dos componentes, el NG por unidad de superficie ($NG\ m^{-2}$, $NG\ ha^{-1}$), multiplicado por su peso, el PMG. Si bien existen compensaciones entre estos componentes, guardan cierta independencia entre sí, que permite suponer, que un aumento en cualquiera de los dos puede aumentar la productividad de un genotipo. Sin embargo, en un rango amplio de

condiciones agronómicas, el NG es el componente que mejor explica las variaciones en la productividad del cultivo. Tanto para los GMs cortos, medios y largos, más del 80% de la variación en el rendimiento está explicada por la modificación del NG, y entre el 20% y 30% de la variación del PG explica la variación de la productividad, tanto en los GM de ciclo más corto y largo respectivamente (Toledo, 2013). Martignone et al. (2010) sostienen que, hay situaciones en que el rendimiento se explica por las variaciones en el peso unitario y/o por las variaciones conjuntas con el NG, debido a que cada componente es afectado con distinta intensidad por el ambiente en cada etapa de desarrollo y dentro de ciertos límites, hay capacidad de compensar, las reducciones en un componente aumentando el subsiguiente, una vez desaparecido el estrés.

Egli (2004) sostiene que la duración de las fases posteriores a floración se relaciona directamente con los componentes numéricos que definen el rendimiento potencial, determinando aumentos en el NG al incrementar la duración de la fase de fructificación. El mismo autor indica que, el peso final de las semillas tiende a incrementarse cuando aumenta la duración del período de llenado. El PG, además de la duración del período de llenado, depende de la TCC en dicho período.

El NG y el PMG son atributos que están gobernados genéticamente, pero junto al número de nudos (NNud) en el tallo principal son variables que dependen del fotoperíodo, las variedades correspondientes a los GMs más altos, tendrán más nudos en el tallo principal que las pertenecientes a GMs más cortos. Las variedades con hábito de crecimiento indeterminado, en un mismo GM, tendrán más nudos en el tallo principal que las variedades determinadas (Kantolic, 2003b).

Por otra parte, Kantolic (2003b), menciona que el NG por vaina, tiene alto grado de control genético y, en general, resulta poco modificado ante cambios en la disponibilidad de recursos. Por lo tanto, las características genéticas del GM juegan un rol determinante para esta variable. El NV por nudo, es variable y muy sensible a cambios ambientales que reduzcan la TCC y con ello el crecimiento del cultivo, modificando el NG por unidad de superficie. En este sentido, Liu et al. (2005) sostienen que tanto el NV como el NG por planta presentan un alto grado de asociación con las variaciones en el rendimiento, en cambio el PG tiene un grado de asociación menor y que este responde más a un mecanismo de compensación ante aumentos o reducciones en el NG.

En los experimentos realizados por Egli (1997) en Lexington (EEUU), durante los años 1993 y 1994, para dos cultivares de GM V, manejados bajo riego obtuvo valores promedio para el NG de 2540 granos.m², mientras que para la variable PMG se obtuvo un promedio de 147 g.

Martignone et al. (2010) en base a resultados obtenidos sostienen que, el crecimiento vegetativo está determinado en gran parte por el NNud por m², ya que estos son los sitios potenciales donde se desarrollan los frutos. Se evidencia en el

comportamiento de los cultivares pertenecientes a los GMs más cortos fueron los que presentaron menores registros para esta variable y por ende, menor NV y NG por m². Sin embargo, estos cultivares han logrado compensar el crecimiento de un NG relativamente alto en relación a la biomasa acumulada a lo largo del ciclo.

2. 8. EFECTO DE LA INTERACCIÓN ENTRE LA FECHA DE SIEMBRA Y EL GRUPO DE MADUREZ SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA, RENDIMIENTO Y COMPONENTES DEL RENDIMIENTO

El comportamiento fenológico de soja en condiciones ambientales diferentes, es un aspecto a considerar en la elección de los cultivares con mayor adaptación a las regiones de producción y en el ajuste de las prácticas de manejo del cultivo (Giménez, 2007). El crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo son el resultado del potencial genético varietal interactuando con el medio ambiente (Sadras et al., 2000).

Es importante tener en cuenta que la época de siembra influye en forma relevante en la respuesta de cada GM, por lo tanto, el largo del ciclo del cultivar y la FS se constituyen en herramientas claves en el ajuste del momento de ocurrencia del PC, estableciendo las condiciones ambientales que incidirán directamente en la generación del rendimiento (Andrade y Cirilo, 2000b). En el mismo sentido, Cortés (2015) coincide con Sadras et al. (2000) e indica que la combinación de los GMs con las FS, de forma tal que, permitan ubicar las etapas críticas de determinación del rendimiento en momentos de alta calidad ambiental en términos de adecuada radiación solar, temperatura y condición hídrica, representa uno de los pilares más importantes para obtener buenos rendimientos en soja.

Asimismo, Egli (1998) destaca que el conocimiento de la ubicación temporal del PC de determinación del rendimiento en los diferentes GMs, es una característica relevante debido a que el ambiente de producción durante esta etapa, condiciona la TCC, la cual determina el NG por superficie, componente principal del rendimiento.

Por otra parte, la FS afecta el tiempo y el desarrollo de las etapas principales, así como los factores ambientales que afectan la determinación de los componentes del rendimiento durante estas etapas (Pedersen y Lauer, 2004). Por lo tanto, la cantidad de radiación interceptada, la tasa fotosintética y la TCC durante la floración y el inicio de formación de vainas, están relacionados con el número final de granos y el rendimiento de soja y puede explicar las diferencias en rendimientos asociadas con la FS (Andrade et al., 2002).

En el rango de fechas considerado óptimo, el adelanto de la FS incrementa la longitud del ciclo total (días de emergencia-madurez) de los cultivares independiente del GM; a mayor GM es mayor este incremento. En FS tempranas, las etapas críticas de fijación de vainas y de llenado de granos ocurren en períodos con mayor radiación solar

y temperaturas óptimas que se traducen en mayores rendimientos, en condiciones hídricas no limitantes. A su vez, en las FS muy tardías (fines de diciembre en adelante), los cultivares de GMs más altos acortan proporcionalmente más su ciclo que otros GMs más cortos (Cortés, 2015). Girón et al. (2015) sostienen que el retraso de la FS desplaza el período reproductivo hacia momentos de radiación solar y temperaturas menores, provocando que disminuya el potencial de rendimiento.

Por otra parte, Martínez Álvarez et al. (2001), indican que atrasos en la FS produjeron una reducción mayor del período reproductivo (R1-R7) que la fase vegetativa (VE-R1), explicado básicamente por efecto del fotoperíodo. Asimismo, estos mismos autores señalan que existe una relación lineal y decreciente entre la duración de las distintas etapas fenológicas y el atraso de la FS, desde octubre a diciembre. Sin embargo, Murgio et al. (2015), señalan que si bien el atraso en el momento de la implantación, disminuye la duración del ciclo, parte de este cambio se debe a reducciones en el período VE-R5 y que la magnitud de este cambio es diferente entre GMs, siendo este mayor en GMs de ciclo más largos. Además, este retraso, o el aumento del largo del ciclo (GM mayores), determina que el período reproductivo y sus etapas más críticas se den en momentos donde la radiación solar incidente es menor.

El conocimiento de la respuesta fenológica a la FS resulta importante para optimizar la expresión del potencial de rendimiento de cada cultivar en un ambiente determinado (Martínez Álvarez et al., 2001).

2. 8. 1. Producción de biomasa

Según Baigorri (2002), en una FS determinada, la producción de biomasa aérea total (BAT) se incrementa con la longitud del ciclo. Los cultivares que funcionan como ciclos cortos a cualquier latitud, son los que presentan mayores limitaciones para alcanzar niveles adecuados de biomasa vegetativa (BV). Los cultivares de GM III y IV, producen la mayor cantidad de BV en la etapa de R1-R5 y presentan una relación directa entre la TCC en esta etapa y el rendimiento. En cambio, los cultivares de GM V al VII, que se comportan como de ciclo medio a largo, producen generalmente mayor cantidad de BV que los anteriores y la mayor proporción de la misma en la etapa de VE-R1. Además, debido a que tienen más tiempo para generar una adecuada cantidad de BV, el rendimiento guarda relación más estrecha con la disponibilidad hídrica durante el llenado de granos.

Los cultivares de ciclo corto, generalmente alcanzan su máxima producción de BAT con la misma FS en la que logran su mayor altura, es decir en las FS de noviembre y los de ciclo más largo en FS de octubre, a pesar que en dicha FS presenten menor altura (Baigorri, 2002).

Según Villasuso (2015), la producción de biomasa reproductiva está estrechamente asociada con la duración de la etapa crítica y la eficiencia del uso de la radiación, por lo tanto las variaciones en la FS así como también el grado de sensibilidad que cada GM tenga al fotoperíodo y a la temperatura determinará la duración de dicha etapa. Gaso et al. (2015) afirman que en FS de octubre la duración del PC es mayor que en FS de noviembre y que independientemente del GM, esto permite una mayor acumulación de biomasa determinando así un mayor número de estructuras reproductivas.

Los registros de producción de biomasa aérea (BA) obtenidos por Toledo et al. (2010) según la FS, se destacaron en la FS de mediados de octubre el GM IV y el GM VI, el GM VI fue el que tuvo la mejor respuesta en la FS de mediados de setiembre. Dicho autor señala que a partir de la FS de mediados de octubre existe una tendencia decreciente de la BA a medida que se atrasa el momento de siembra.

2. 8. 2. Rendimiento

Es importante tener en cuenta que el rendimiento tiene relación directa con la FS, e influye en forma preponderante en la respuesta del GM, es decir: el largo de ciclo de la variedad y la FS se constituyen en elementos claves en el ajuste del momento de ocurrencia del PC (Andrade et al., 2002).

Cortés (2015) señala que sin tener como limitantes el contenido de agua en el suelo y nutrientes, los principales factores que tienen implicancia en el rendimiento son la temperatura y la radiación solar. Las FS tempranas, determinan que, la duración del período de llenado de granos sea mayor, lo cual resulta en más radiación solar acumulada y por ende, en mayor rendimiento y calidad (Andrade y Cirilo, 2000b). La temperatura es el factor de mayor implicancia en los cultivos, puesto que regula la duración de las etapas en forma inversa. A medida que se atrasa la FS desde primavera al verano, el cultivo está expuesto a temperaturas más altas, lo cual acorta la duración de las fases y redundando en una menor captación de radiación solar, particularmente en grupos con menor sensibilidad fotoperiódica, como los GMs cortos. La menor duración de las etapas vegetativas impactan negativamente en la producción de BA afectando la generación de sitios reproductivos, como NNud y ramificaciones con la consiguiente disminución del rendimiento (Murgio et al., 2012).

Toledo y Rubiolo (2008), en función de las tendencias observadas en sus experimentos, dividieron dentro del rango de FS posibles, tres ambientes basados en la calidad ambiental, un primer ambiente de mayor calidad, entre la segunda quincena de octubre y la primer quincena de noviembre. El segundo ambiente de calidad intermedia, con FS extratempranas de setiembre y la primer quincena de octubre, y un tercer ambiente de menor calidad, a partir de la primer quincena de diciembre, donde la respuesta de los GMs se redujo a medida que se atrasó la FS. En el ambiente de mayor

calidad el autor señala que se destacan los GM III y IV con los mejores rendimientos, más precisamente los materiales de ciclo largo del GM IV. Mientras que Toledo et al. (2010), coincidiendo con lo anterior indican que el mejor comportamiento productivo de los GMs se obtuvo entre las FS de mediados de octubre hasta mediados de noviembre.

Gasó et al. (2015) según sus ensayos llevados a cabo en INIA La Estanzuela, en busca de rendimientos potenciales bajo riego sostienen que tanto en FS de octubre como de noviembre, los cultivares pertenecientes al GM IV no presentaron diferencias en sus rendimientos y que a su vez, estos se ubicaron dentro de los rendimientos más altos del experimento junto a cultivares del GM VI superando los 4700 kg ha⁻¹.

Según Toledo y Rubiolo (2008), el rendimiento tiene una relación directa con la FS, a medida que se atrasa la FS se observa una disminución en la respuesta de los GM, siendo el GM VII el de mayor estabilidad ante modificaciones en la FS y el de menor estabilidad el GM III. Estos autores sostienen que a medida que mejora la calidad ambiental determinada por el cambio en la FS, mejora la respuesta potencial de los cultivares pertenecientes a GM menores. Por otro lado, los cultivares de GM mayores mejoran su comportamiento cuando la calidad ambiental desciende. Villar y Cencig (2011) reafirman que los GMs de ciclo intermedio, como el GM VI son las elecciones más recomendables para estabilizar los rendimientos, debido a que presentaron las menores variaciones entre fechas de siembra.

Cortés (2015) menciona que la menor variabilidad en rendimientos entre distintos GMs fue observada en las FS tardías y donde se obtuvieron los menores rendimientos. El autor destaca que existe una fuerte interacción entre los factores de manejo FS*GM y que esta es en muchos casos la responsable del comportamiento diferencial entre los distintos GMs. Los atrasos en la FS implicaron disminuciones en el rendimiento, siendo estas variables según el GM, uno de los GM que se destacó en mantener niveles de rendimiento altos en todas las FS es el GM VI.

2. 8. 3. Componentes numéricos del rendimiento

El NG por unidad de superficie, se correlaciona con la cantidad de radiación absorbida durante R1-R5, por lo que modificaciones en la FS alteran las condiciones ambientales en las que se desarrollará el cultivo (Murgio et al., 2015).

Toledo y Rubiolo (2008) reportan que a medida que se atrasó la FS los cultivares de GM IV lograron el mayor NNud en el tallo principal entre el 07/11 y el 30/11 (18), mientras que el GM VI de HC indeterminado y los GM VI de HC determinado diferenciaron en R1 17 y 16 nudos, respectivamente en la FS del 30/11.

Dentro de un mismo GM, pueden existir diferentes respuestas en cuanto a las variaciones de los componentes del rendimiento, tal es así que dentro de un mismo GM,

las variedades de ciclo más corto reducen más el NV y el PG día⁻¹ de atraso en la FS, mientras que las variedades de ciclo más largo reducen más el NG m⁻² y el rendimiento día⁻¹ de atraso en la FS (Toledo et al., 2010).

Cortés (2015), destaca que el componente más afectado por las modificaciones en la FS y el GM es el NG, y que este a su vez fue quien tuvo mayor impacto que el PG en la definición del rendimiento. Asimismo, el menor PG fue siempre observado en los cultivares de GM mayores, independientemente del NG que estos fijaran a través de la FS. Las variables número de nudos y NV por planta, presentan diferencias entre GM, siendo estas más acentuadas en FS tempranas, con el atraso de la FS el número de nudos se reduce respecto a las FS tempranas, siendo los GMs de ciclo más largo los que exhiben las mayores disminuciones. Cortés (2015) señala que esto refleja efectos fotoperiódicos que alargan tanto la etapa vegetativa como reproductiva, siendo estos efectos más importantes en los GMs de ciclo más largos, ya que son más sensibles a cambios fotoperiódicos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3. 1. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO

El experimento se llevó a cabo en el campo experimental de riego de la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” (EEMAC) de la Facultad de Agronomía, ubicada sobre la ruta 3, km 363, en el Departamento de Paysandú, Uruguay (32°22' s 58°03' o), durante el año agrícola 2016/17. El suelo del campo experimental de riego de la EEMAC es clasificado como Brunosol subéutrico típico perteneciente a la unidad San Manuel, incluida dentro de la formación Fray Bentos, según la Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay a escala 1:1000000 (Durán et al., 1976).

Cuadro No. 1. Características hidrológicas del suelo.

Horizonte	Profundidad (cm)	Dap. (gr/cm³)	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 AD.

3. 1. 1. Manejo experimental

Las fechas de siembra del ensayo fueron el 8 de noviembre de 2016, el 8 de diciembre de 2016 y el 10 de enero de 2017. En cada fecha de siembra se utilizaron dos variedades de soja DM 4915 IPRO STS y DM 6563 IPRO RSF correspondientes a los GM IV largo y GM VI medio, respectivamente. La distancia entre hileras utilizada fue de 0,40 m, y la población objetivo fue de 350.000 pl.ha⁻¹ la que se logró sin inconvenientes ya que se sembró con un número de semillas superior y se ajustó a la población objetivo, en el estadio V2.

El ensayo se mantuvo libre de malezas, enfermedades y plagas, para lo cual se realizaron dos aplicaciones del herbicida glifosato con 2 lt ha⁻¹ de producto comercial para el control de malezas y una aplicación del insecticida Engeo (tiametoxan + lambda cialotrina) a razón de 0,2 lt ha⁻¹ de producto comercial para el control de chinche (*Piezodorus guildinii* y *Nezara viridula*).

Cuadro No. 2. Calendario de eventos fenológicos FS noviembre.

Fecha	Estado fenológico	
	nov.-4915	nov.-6563
8/11/2016	Siembra	Siembra
15/11/2016	VE	VE
28/12/2016	R1	
19/1/2017		R1
25/1/2017	R4	
15/2/2017		R4
17/2/2017	R6	
7/3/2017		R6
29/3/2017	Cosecha	
6/4/2017		Cosecha

Cuadro No. 3. Calendario de eventos fenológicos FS diciembre.

Fecha	Estado fenológico	
	dic.-4915	dic.-6563
8/12/2016	Siembra	Siembra
15/12/2016	VE	VE
25/1/2017	R1	
1/2/2017		R1
20/2/2017	R4	
1/3/2017		R4
14/3/2017	R6	
22/3/2017		R6
6/4/2017	Cosecha	
13/4/2017		Cosecha

Cuadro No. 4. Calendario de eventos fenológicos FS enero.

Fecha	Estado fenológico	
	ene.-4915	ene.-6563
10/1/2017	Siembra	Siembra
17/1/2017	VE	VE
17/2/2017	R1	
1/3/2017		R1
14/3/2017	R4	
20/3/2017		R4
3/4/2017	R6	
13/4/2017		R6
24/4/2017	Cosecha	
5/5/2017		Cosecha

Para la aplicación de la metodología experimental se consideró el período comprendido entre los estadios R4-R6 (Fehr y Caviness, 1977) como el Período Crítico (PC) de determinación del rendimiento.

3. 1. 2. Tratamientos

Los diferentes tratamientos evaluados fueron los que se detallan a continuación:

nov.-6563= variedad DM 6563 (GM VI) sembrada el 8 de noviembre

nov.-4915= variedad DM 4915 (GM IV) sembrada el 8 de noviembre

dic.-6563= variedad DM 6563 (GM VI) sembrada el 8 de diciembre

dic.-4915= variedad DM 4915 (GM IV) sembrada el 8 de diciembre

ene.-6563= variedad DM 6563 (GM VI) sembrada el 10 de enero

ene.-4915= variedad DM 4915 (GM IV) sembrada el 10 de enero

Los tratamientos se distribuyeron en 18 unidades experimentales, debido a que se realizaron tres repeticiones de cada uno. La unidad experimental (parcela) estuvo constituida por 5 hileras de plantas, de 5 m de longitud y 2 m de ancho.

El ensayo se mantuvo con bienestar hídrico durante todo el ciclo, para ello el agua disponible (AD) se mantuvo por encima de 40% en las etapas no críticas (ENC) y por encima de 60% de AD en el PC. El método de riego utilizado fue por goteo, con cintas con goteros separados cada 0,2 m y un caudal nominal de cada gotero de 1,49 lt h⁻¹.

Para definir la lámina de riego a aplicar diariamente se realizó un balance hídrico (BH) de suelos, simplificado y de paso diario de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Variación del agua en el suelo } (\Delta H) = R + PP - ETc$$

Siendo ΔH = variación del contenido de agua en el suelo (mm), R= riego (mm), PP= lluvia efectiva (mm) y ETc = evapotranspiración de cultivo (mm), calculada por el método de FAO (Allen et al., 2006) o sea $ETc = ETo \times Kc$, donde la ETo es la evapotranspiración del cultivo de referencia y Kc es el coeficiente del cultivo. La ETo fue calculada utilizando la ecuación de FAO Penman-Monteith y se usaron los Kc recomendados por FAO (Allen et al., 2006) para las diferentes etapas del cultivo.

3. 2. DESCRIPCIÓN ESTADÍSTICA DEL EXPERIMENTO

3. 2. 1. Hipótesis biológica

En soja con riego completo durante todo el ciclo, sembrada a inicios de noviembre, diciembre y enero y utilizando una variedad del GM IV y una del GM VI, existe interacción entre la FS y la variedad, y la magnitud de la reducción del rendimiento por atrasos en la FS es mayor en la variedad del GM IV.

3. 2. 2. Diseño experimental

El diseño utilizado fue Bloques Completos al Azar, donde se utilizaron los seis tratamientos detallados anteriormente con tres repeticiones.

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. 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. Se realizaron mediciones de altura de planta desde el estadio V2 a R6 y de estados fenológicos.

3. 3. 2. Determinaciones a cosecha

El rendimiento se estimó a partir de la cosecha de 9 m lineales de plantas ubicados en los tres surcos centrales de cada unidad experimental. En esta superficie, además se midió el PMG y se corrigió por el porcentaje de humedad comercial que es de

13%. Los componentes del rendimiento NG y PMG y sub-componentes del rendimiento: número de vainas por planta, número de nudos por planta, número de vainas por nudo, número de granos por vaina y número de granos por planta, se estimaron a través de mediciones realizadas en un metro lineal de plantas de la hilera central de cada parcela. En este muestreo en el tallo principal se midió el número de nudos fértiles, el número de vainas, el número de granos y el número de ramas, a estas últimas se les realizó las mismas mediciones que al tallo principal.

3. 4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados fueron analizados con el software estadístico “INFOSTAT” versión estudiantil 2017.

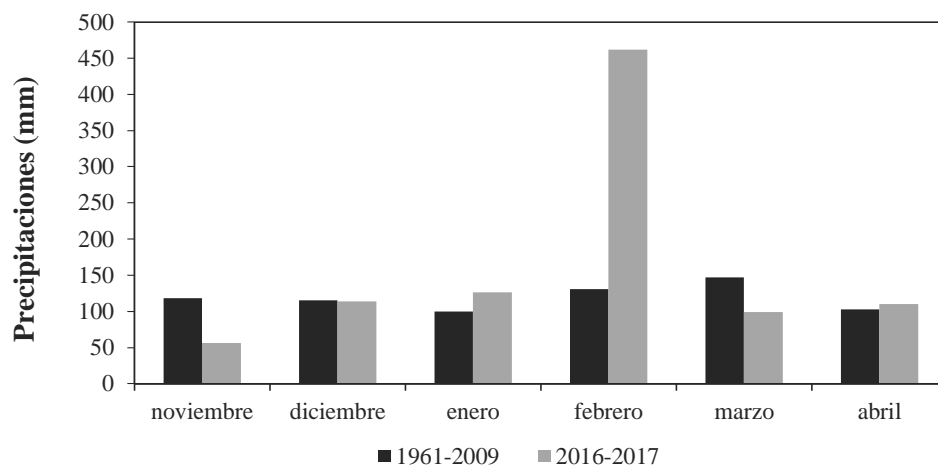
Con el mismo se realizaron:

- 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 5 % de significancia.
- 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 número de granos.m⁻² y relación entre el rendimiento y el peso de 1000 granos (g).

3. 5. CONDICIONES CLIMÁTICAS EN EL PERÍODO DEL CULTIVO

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).



Las barras grises indican las precipitaciones acumuladas para cada mes durante la campaña 2016-2017 y las barras negras corresponden al promedio mensual de la serie histórica 1961-2009.

Figura No. 1. Precipitaciones ocurridas durante 2016-2017 y valores promedio de la serie histórica 1961 a 2009 (elaborado en base a datos proporcionados por MDN. DNM y el campo experimental de riego de la Facultad de Agronomía. EEMAC).

3. 5. 2. Radiación solar incidente y temperatura

En la figura 2 se muestra la radiación solar incidente (RS) y las temperaturas medias diarias para la serie histórica comprendida entre los años 2002 y 2015.

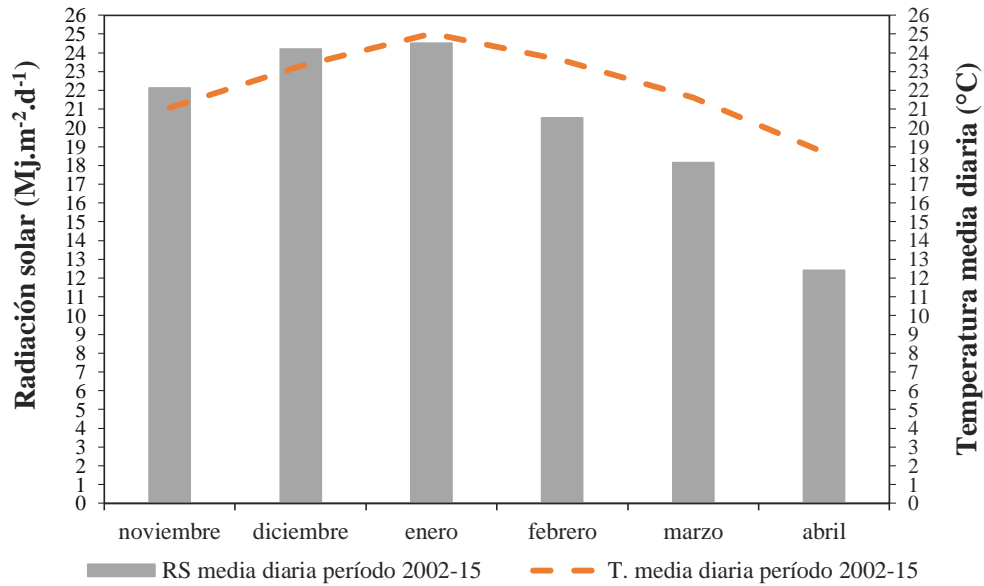
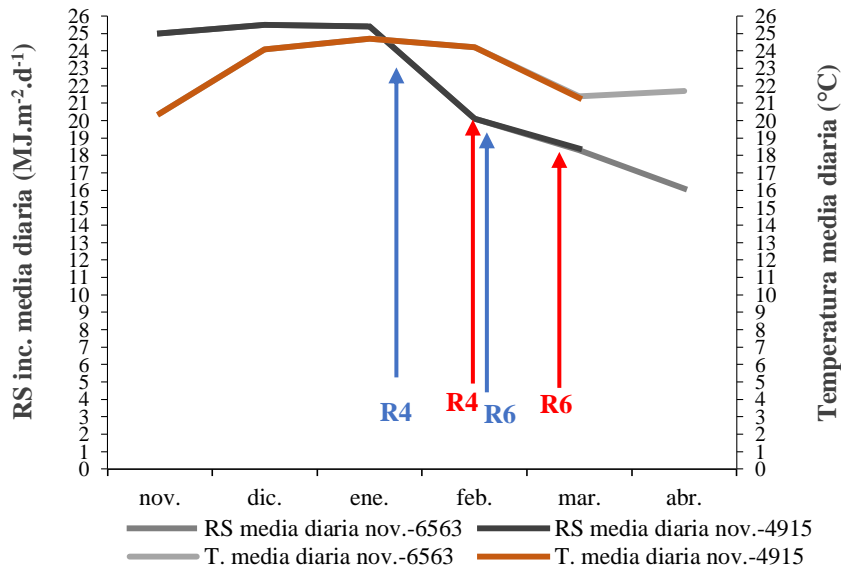


Figura No. 2. Radiación solar (RS, MJ.m⁻².d⁻¹) media diaria incidente y temperaturas medias diarias (T., °C) de la serie histórica 2002-15 (ambas obtenidas de la estación meteorológica automática de la Facultad de Agronomía. EEMAC).

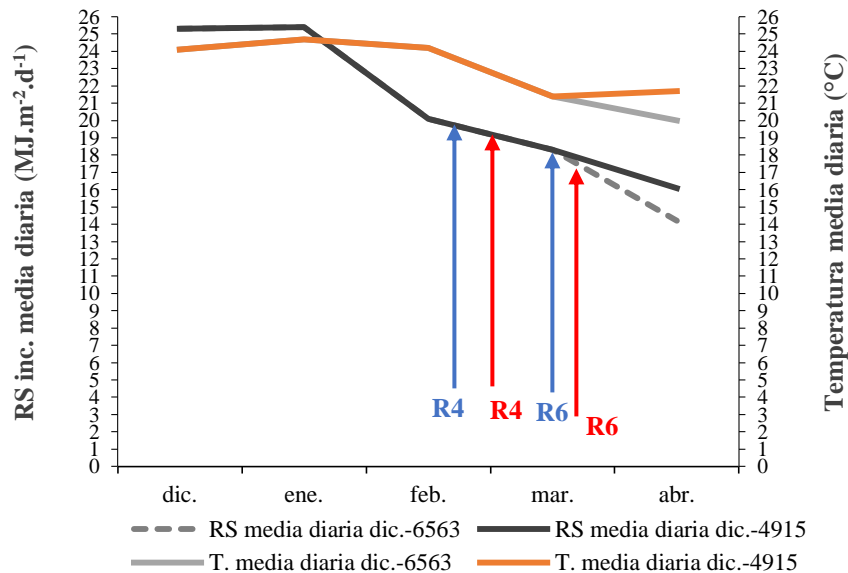
En la figura 3 se puede observar la radiación solar incidente (RS) y la temperatura durante el ciclo de cultivo, para las variedades DM 6563 y DM 4915 sembradas en noviembre.



RS media diaria nov.-6563= radiación solar incidente media diaria mensual durante el ciclo de cultivo de nov.-6563; RS media diaria nov.-4915= radiación solar incidente media diaria mensual durante el ciclo de cultivo de nov.-4915; T. media diaria nov.-6563= temperatura media diaria mensual durante el ciclo de cultivo de nov.-6563; T. media diaria nov.-4915= temperatura media diaria mensual durante el ciclo de cultivo de nov.-4915; R4-R6= duración del PC de nov.-4915 (flechas azules); R4-R6= duración del PC de nov.-6563 (flechas rojas).

Figura No. 3. Radiación solar incidente ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) media diaria mensual y temperatura media diaria mensual ($^{\circ}\text{C}$) del período noviembre-abril de 2016-17 (ambas obtenidas de la estación meteorológica automática de la Facultad de Agronomía. EEMAC).

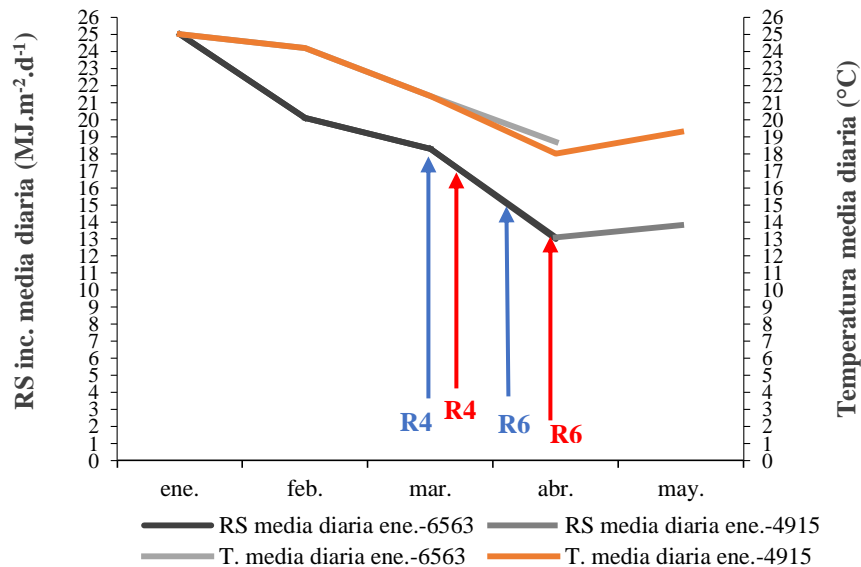
En la figura 4 se presenta la radiación solar incidente (RS) y la temperatura durante el ciclo de cultivo, para las variedades DM 6563 y DM 4915 sembradas en diciembre.



RS media diaria dic.-6563= radiación solar incidente media diaria mensual durante el ciclo de cultivo de dic.-6563; RS media diaria dic.-4915= radiación solar incidente media diaria mensual durante el ciclo de cultivo de dic.-4915; T. media diaria dic.-6563= temperatura media diaria mensual durante el ciclo de cultivo de dic.-6563; T. media diaria dic.-4915= temperatura media diaria mensual durante el ciclo de cultivo de dic.-4915; R4-R6= duración del PC de dic.-4915 (flechas azules); R4-R6= duración del PC de dic.-6563 (flechas rojas).

Figura No. 4. Radiación solar incidente ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) media diaria mensual y temperatura media diaria mensual ($^{\circ}\text{C}$) del período diciembre-abril de 2016-17 (ambas obtenidas de la estación meteorológica automática de la Facultad de Agronomía. EEMAC).

En la figura 5 se puede observar la radiación solar incidente (RS) y la temperatura durante el ciclo de cultivo, para las variedades DM 6563 y DM 4915 sembradas en el mes de enero.



RS media diaria ene.-6563= radiación solar media diaria mensual durante el ciclo de cultivo de ene.-6563; RS media diaria ene.-4915= radiación solar media diaria mensual durante el ciclo de cultivo de ene.-4915; T. media diaria ene.-6563= temperatura media diaria mensual durante el ciclo de cultivo de ene.-6563; T. media diaria ene.-4915= temperatura media diaria mensual durante el ciclo de cultivo de ene.-4915; R4-R6= duración del PC de ene.-4915 (flechas azules); R4-R6= duración del PC de ene.-6563 (flechas rojas).

Figura No. 5. Radiación solar incidente ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) media diaria mensual y temperatura media diaria mensual ($^{\circ}\text{C}$) del período enero-mayo de 2017 (ambas obtenidas de la estación meteorológica automática de la Facultad de Agronomía. EEMAC).

En el cuadro 5 se presenta la RS incidente y la temperatura media diaria durante el PC y para el total del ciclo para las variedades DM 6563 y DM 4915 en las tres FS consideradas.

Cuadro No. 5. Radiación solar (RS) incidente media diaria en el período crítico (PC) ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$), radiación solar (RS) incidente total en el período crítico (PC) (MJ.m^{-2}), radiación solar (RS) incidente total en el ciclo (MJ.m^{-2}), temperaturas medias diarias en el período crítico (PC) ($^{\circ}\text{C}$), temperaturas medias diarias en el total del ciclo ($^{\circ}\text{C}$) para las variedades DM 6563 y DM 4915, sembradas en noviembre, diciembre y enero.

Tratamiento	RS inc. total en el ciclo (MJ.m^{-2})	RS inc. media diaria en el PC ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)	RS inc. total en PC (MJ.m^{-2})	T media diaria en el total del ciclo ($^{\circ}\text{C}$)	T media diaria en el PC ($^{\circ}\text{C}$)
nov.-6563	3381	22,5	450	23,1	25
nov.-4915	3251	23	529	23,1	23,3
dic.-6563	2711	19,4	405	23,2	21
dic.-4915	2622	21,8	479	23,3	22
ene.-6563	1993	18	430	22,3	21
ene.-4915	2141	19,5	390	21,8	21

RS inc. total en el ciclo (MJ.m^{-2})= radiación solar incidente acumulada en el total del ciclo; RS inc. media diaria en el PC ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)= radiación solar incidente media diaria en el período crítico; RS inc. total en PC (MJ.m^{-2})= radiación solar incidente acumulada en el período crítico; T media diaria en el total del ciclo ($^{\circ}\text{C}$)= temperatura media diaria en el total del ciclo; T media diaria en el PC ($^{\circ}\text{C}$)= temperatura media diaria en el período crítico, para los ciclos de las variedades DM 4915 y DM 653, sembrados en noviembre, diciembre y enero.

3. 5. 3. Fotoperíodo

En la figura 6 se presenta el fotoperíodo (horas de luz) promedio diario para la primera y segunda quincena de cada uno de los meses que abarcó el período de ensayo.

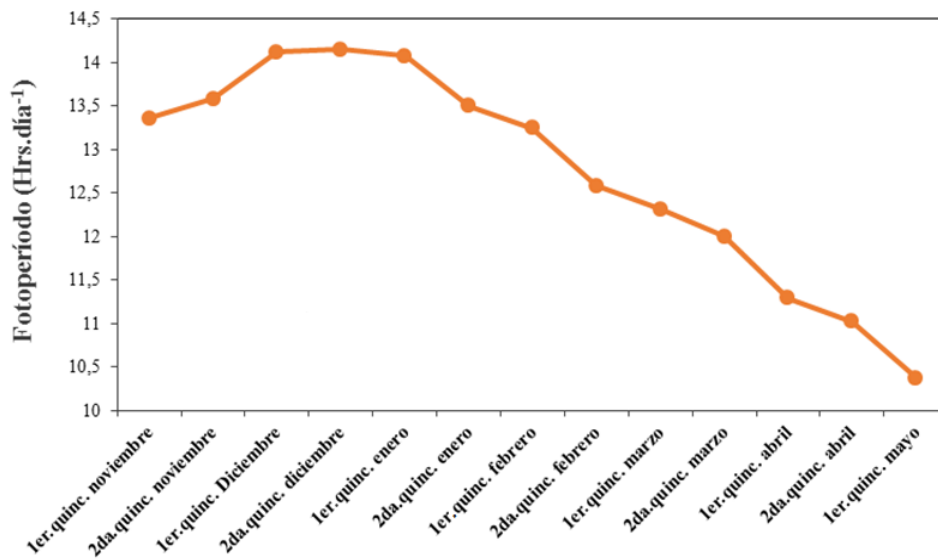


Figura No. 6. Fotoperíodo (horas.d⁻¹) según quincena del mes para el período noviembre-mayo de 2016-17 (elaborado en base a datos aportados por Facultad de Ciencias).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. 1. DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO

4. 1. 1. Parámetros de crecimiento

4. 1. 1. 1. Altura de planta y número de nudos por planta

En el cuadro 6 se observa la altura de planta (AP) alcanzada según la FS y la variedad. Se puede apreciar que la AP fue afectada significativamente tanto por la FS como por la variedad, mientras que no se detectó interacción entre las variables. La FS de noviembre fue la que permitió alcanzar la mayor AP debido a una mayor longitud de la etapa vegetativa de la variedad DM 6563 y DM 4915, registrándose una tendencia decreciente a medida que se atrasó la FS. Por otro lado, para las FS de noviembre y diciembre la variedad DM 6563 registró la mayor AP con respecto a DM 4915, igualándose para la FS de enero.

Cuadro No. 6. Altura de planta promedio (AP, cm) y número de nudos por planta (NNud.pl⁻¹) de las variedades DM 4915 y DM 6563, para las fechas de siembra (FS) de noviembre, diciembre y enero.

Tratamientos	Altura de planta (cm)	NNud.pl⁻¹
nov.-6563	137 a	26 a
nov.-4915	110 bc	21 ab
dic.-6563	115 b	18 bc
dic.-4915	95 cd	22 ab
ene.-6563	87 d	13 c
ene.-4915	76 d	15 bc

Valores seguidos de igual letra dentro de una misma columna no difieren entre sí (p<0.05; Tukey).

Para la FS de noviembre la temperatura durante la etapa vegetativa se ubicó entre 22 °C y 23 °C promedio diario (figura 3). Estas temperaturas en conjunto con el fotoperíodo determinaron una mayor longitud de la etapa vegetativa (VE-R1), siendo ésta de 65 y 43 días para DM 6563 y DM 4915, respectivamente, lo que explicó una mayor AP para dicha FS. El atraso de la FS a diciembre expuso la etapa vegetativa de la variedad DM 6563 desde el inicio a fotoperíodos que levemente comenzaron a acortarse, con temperaturas en aumento al igual que la misma etapa de DM 4915, lo que determinó una reducción del 25 y 6% en la longitud de dicha etapa, respectivamente en relación a la FS de noviembre (cuadro 3). En la FS de enero se evidenció un comportamiento similar, donde la etapa vegetativa de ambas variedades estuvo expuesta a fotoperíodos

en descenso y temperaturas elevadas, determinando una reducción de la longitud de 30% para DM 6563 mientras que para DM 4915 esta reducción fue de 26% con respecto a la FS de noviembre (cuadro 4). La mayor reducción de la etapa vegetativa, en proporción, de la variedad DM 6563 comparado con DM 4915 se debió a una mayor sensibilidad al fotoperíodo. Esto coincide con lo reportado por Andrade y Cirilo (2000b), Kantolic (2008), Bianchi et al. (2011) los cuales demostraron que el atraso de la FS modifica la tasa de desarrollo, provocando que las fases se cumplan en menor tiempo, pero esta respuesta es variable según la sensibilidad de cada variedad ya sea al fotoperíodo y/o a la temperatura.

La variable NNud.pl^{-1} fue afectada significativamente por la FS para DM 6563 existiendo una interacción entre la FS y la variedad, no encontrándose una respuesta para DM 4915 al atrasar la FS. El atraso de la FS de noviembre hacia enero, provocó que el NNud.pl^{-1} se redujera significativamente un 50% en la variedad DM 6563, seguramente esto se relacione con la respuesta encontrada en la AP. Los resultados obtenidos se ubican por encima de los reportes de Cortés (2015), quien obtuvo en promedio 20 y 17 NNud.pl^{-1} para variedades del GM VI y IV en FS de noviembre, mientras que para FS de diciembre obtuvo 19 y 16 NNud.pl^{-1} en promedio para el GM VI y IV, respectivamente.

El mayor NNud.pl^{-1} alcanzado por DM 6563 en la FS de noviembre, se interpreta que se debió al efecto del fotoperíodo en conjunto con la temperatura, que permitió un adecuado crecimiento y desarrollo de la etapa vegetativa. Esto le permitió alcanzar una mayor AP dando lugar a un número de sitios reproductivos superior a DM 4915 en el tallo principal. Este comportamiento diferencial obtenido por parte de la variedad DM 6563 comparado con DM 4915, podría estar explicado por el grado de sensibilidad de ambas variedades al fotoperíodo y a la temperatura. Estos resultados fueron acordes con los obtenidos por Toledo y Rubiolo (2008).

En base a estos resultados, se estableció para la FS de noviembre una relación entre la AP y el NNud.pl^{-1} en la cual el largo de entrenudos fue de 5,2 cm para ambas variedades. El atraso de la FS hacia diciembre determinó un cambio en esta relación, siendo de 6,4 cm para la variedad DM 6563 y de 4,3 cm para DM 4915. Por otro lado, en la FS de enero se evidenció un alargamiento de entrenudos para ambas variedades, lo cual modificó dicha relación, siendo esta equivalente a 6,7 y 5 cm para la variedad DM 6563 y DM 4915, respectivamente. Por ende, se interpreta que la variación en esta relación pudo deberse al efecto que ejerció el fotoperíodo sobre el desarrollo de los nudos en la variedad DM 6563 y al efecto de la temperatura sobre la variedad DM 4915, la cual modificó la AP pero no el NNud.pl^{-1} . Se debe considerar que la temperatura también afecta el desarrollo de las variedades de ciclo medio como DM 6563, además de ser más sensibles al fotoperíodo. Por lo tanto, se concluye que una mayor AP no siempre determina un mayor NNud.pl^{-1} , sino que esta relación está sujeta a los efectos que

ejercen la temperatura y el fotoperíodo y a la sensibilidad que presenta cada variedad a estos factores.

4. 1. 1. 2. Materia seca acumulada al inicio y al final del período crítico y tasa de crecimiento del cultivo durante el período crítico

En el cuadro 7, se muestra la MS acumulada a inicios y al final del PC y la TCC durante el PC para las variedades DM 4915 y DM 6563, sembradas en noviembre, diciembre y enero.

Cuadro No. 7. Materia seca (MS, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) depositada a inicios del período crítico (PC), materia seca (MS, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) depositada al final del período crítico (PC) y tasa de crecimiento del cultivo (TCC, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$) durante el período crítico (PC) para dos variedades que difieren en su grupo de madurez (GM) sembradas en tres fechas de siembra (FS) diferentes.

Tratamientos	MS inicios del PC ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	MS final del PC ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	TCC ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$)
nov.-6563	13288 a	26873 a	500 a
nov.-4915	9867 c	20204 b	295 ab
dic.-6563	11928 ab	15453 bc	168 b
dic.-4915	10397 bc	14564 bc	190 b
ene.-6563	7702 d	10209 c	105 b
ene.-4915	6751 d	10743 c	200 b

Materia seca (MS, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) acumulada a inicios del período crítico (R4); materia seca (MS, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) depositada al final del período crítico (R6); tasa de crecimiento del cultivo (TCC, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$) durante el período crítico (R4-R6) para las variedades DM 6563 y DM 4915 sembradas en noviembre, diciembre y enero. Valores seguidos de igual letra dentro de una misma columna no difieren entre sí ($p<0.05$; Tukey).

Se evidenció que la MS acumulada a inicios de PC para la variedad DM 6563 no presentó diferencias entre la FS de noviembre y de diciembre, siendo significativa la diferencia en acumulación de MS al atrasar la FS hacia enero. Por otro lado, en la variedad DM 4915 atrasar la FS hacia diciembre no se detectaron diferencias en acumulación de MS con respecto a noviembre, pero si se diferenció cuando se atrasó la FS hacia enero.

El mayor registro en la deposición de MS a inicios del PC que logró nov.-6563, está explicado por una mayor duración de la fase previa al inicio del PC (VE-R4), la cual presentó una longitud de 22, 24 y 34 días más que nov.-4915, dic.-4915 y ene.-4915, y de 22 días más respecto a ene.-6563, respectivamente (cuadros 2, 3 y 4). Esto se debe al grado diferente de sensibilidad al fotoperíodo y a la longitud de ciclo diferente que

presenta cada variedad. A su vez, la FS de noviembre permitió ubicar la etapa vegetativa y gran parte de la etapa reproductiva en condiciones de alta intensidad de RS incidente. La mayor longitud de la fase VE-R4 y las condiciones ambientales que prevalecieron en dicha etapa, posiblemente hayan permitido una mayor intercepción de la RS incidente, logrando así alcanzar una mayor deposición de MS.

En relación a la MS acumulada a R6 se evidenció que en general el atraso en la FS determinó una disminución en la acumulación de MS, sin embargo no se detectaron diferencias entre las FS de diciembre y enero en ambas variedades y en DM 4915 al atrasar la FS desde noviembre a diciembre no se generaron diferencias en la acumulación de MS.

Las condiciones climáticas del año agrícola 2016/17 permitieron caracterizarlo como un año de elevada RS incidente, ya que se acumuló entre 2 y 7% más de RS incidente en los ciclos de nov.-4915 y nov.-6563, con respecto a los niveles reportados por Giménez (2014), dichas condiciones permitieron que no presentaran limitaciones para expresar el máximo de producción de MS a R6. Esto se debió a la distribución de las PP, donde si bien el volumen acumulado en el período noviembre-marzo se ubicó un 40% por encima de la serie histórica 1961-2009, el 73% del total acumulado ocurrió en solo 8 eventos de precipitación lo que determinó niveles elevados RS incidente.

Por su parte, dic.-6563 acumuló el 57% de la MS depositada por nov.-6563, la diferencia puede estar explicada por la ubicación del PC, la RS incidente y la temperatura media diaria en dicha etapa comparada con el ciclo de ésta variedad en noviembre. Por otro lado, ene.-4915 acumuló el 53% de la MS de nov.-4915, esto se debió a los altos niveles de RS incidente por los que atravesó el PC, lo que le permitió acumular 140 MJ.m^{-2} más durante ésta etapa respecto a ene.-4915 (cuadro 5). Las condiciones de RS incidente bajo las que se ubicó el PC de nov.-4915 y nov.-6563 fueron similares, sin embargo nov.-6563 superó el registro de nov.-4915 alcanzando la máxima MS acumulada del experimento. Estas diferencias entre variedades se deben al largo del ciclo de cada una, ya que según Martignone et al. (2010) los cultivares pertenecientes a GM VI presentan producciones de MS a R6 mayores respecto a cultivares pertenecientes a GM IV.

A pesar de que el atraso de la FS postergó el inicio del PC, la duración del mismo no se vió fuertemente modificada. Por lo tanto, las condiciones ambientales de RS incidente y temperatura media diaria bajo las que se ubicaron los PC, tanto de nov.-4915 como de nov.-6563, probablemente hayan permitido una mayor intercepción de RS incidente y con ello alcanzar una mayor tasa fotosintética, en conjunto con un buen estatus hídrico durante todo el ciclo del cultivo determinaron que se alcanzaran las mayores deposiciones de MS registradas al final de ésta etapa.

Los resultados logrados permiten interpretar que la FS de noviembre evaluada, presentó una RS incidente elevada con la cual en los ciclos de nov.-6563 y nov.-4915 se acumularon más de 3300 y 3200 MJ.m⁻², con un promedio diario en el PC de 22,5 y 23 MJ.m⁻².d⁻¹ para nov.-6563 y nov.-4915, respectivamente (cuadro 5). Esto permitió alcanzar la máxima producción de MS a R6, siendo estas mayores para la variedad DM 6563 respecto a DM 4915 por presentar una mayor longitud de ciclo. Los atrasos en la FS modificaron la RS incidente en las que se ubicó el PC, por lo que las diferencias en MS acumulada en ésta etapa entre los distintos tratamientos, son adjudicadas a la intensidad y no a la cantidad de RS interceptada durante ésta etapa.

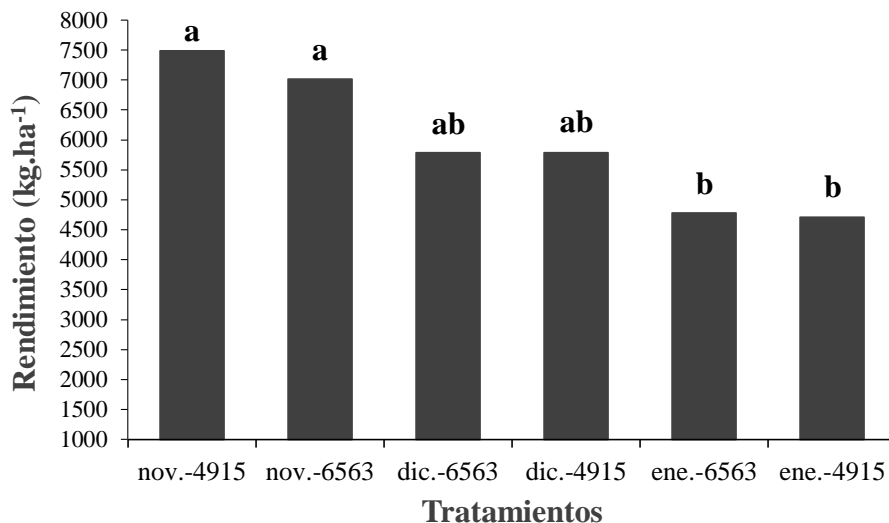
En cuanto a la TCC durante el PC, en el cuadro 7 se puede visualizar que el atraso en la FS desde noviembre a diciembre impactó significativamente en la TCC de DM 6563, siendo no significativo el cambio en la TCC al atrasar la FS desde diciembre a enero. Sin embargo, en la variedad DM 4915, los atrasos en la FS desde noviembre a diciembre y de diciembre a enero, no afectaron significativamente la TCC.

Si bien no se detectaron diferencias entre la TCC de nov.-6563 y nov.-4915, esta última acumuló el 59% de la máxima TCC lograda. Estas diferencias probablemente se deban a que nov.-6563 presentó una mayor longitud de la etapa VE-R4, dando lugar a un mayor número de estructuras reproductivas. Sin embargo, la ubicación del PC más tarde en la estación de crecimiento no fue impedimento para que nov.-6563 alcanzara la mayor TCC en dicha etapa, ya que se desarrolló bajo una RS incidente elevada. Por otra parte, si bien nov.-4915 presentó menor duración de la etapa VE-R4, dando lugar a un menor número de estructuras reproductivas, el PC se ubicó 20 días antes en la estación de crecimiento respecto a nov.-6563 (cuadro 2), con una RS incidente sensiblemente mayor, que le permitió alcanzar una TCC que no se diferenció del máximo registro alcanzado durante el PC. Estas TCC obtenidas en el PC son superiores a las logradas por Grasso y Montero (2011), Canosa y Prieto (2013), Sebben et al. (2018) en experimentos realizados, en la misma localidad y con los cultivares DM 5.1i y DM 4915 IPRO STS quienes reportaron valores entorno a 250 kg.ha⁻¹.d⁻¹ en condiciones de BH.

La información generada permite concluir que en la FS de noviembre, tanto la variedad DM 6563 como DM 4915, desarrollaron el PC bajo una intensidad de RS incidente elevada que les permitió superar los registros de TCC de Grasso y Montero (2011), Canosa y Prieto (2013), Sebben et al. (2018) durante ésta etapa. Esto asociado a un manejo del cultivo bajo riego completo posibilitó maximizar la intercepción de la RS incidente durante ésta etapa y así alcanzar valores máximos de TCC en nov.-6563 y nov.-4915. Por otra parte, atrasar la FS hacia diciembre y enero determinó que el PC de las variedades DM 4915 y DM 6563 se ubique bajo condiciones de menor intensidad de RS incidente y temperatura media diaria, provocando que la TCC de la FS de diciembre se redujera en 66 y 36% en dic.-6563 y dic.-4915, mientras que en la FS de enero, la reducción fue de 80 y 32% en ene.-6563 y ene.-4915, respectivamente (cuadro 7).

4. 1. 2. Efecto de la FS y el GM sobre el rendimiento

En la figura 7 se muestra el rendimiento en grano logrado según la FS y la variedad utilizada.



nov.-6563= variedad DM 6563 sembrada el 8 de noviembre; nov.-4915= variedad DM 4915 sembrada el 8 de noviembre; dic.-6563= variedad DM 6563 sembrada el 8 de diciembre; dic.-4915= variedad DM 4915 sembrada el 8 de diciembre; ene.-6563= variedad DM 6563 sembrada el 10 de enero; ene.-4915= variedad DM 4915 sembrada el 10 de enero. Las columnas con letras iguales no difieren entre sí ($p < 0.05$; Tukey).

Figura No. 7. Rendimiento en grano (kg.ha^{-1}) para las variedades DM 4915 y DM 6563 en fechas de siembra (FS) de noviembre, diciembre y enero.

Para la variable rendimiento se evidenció que la variedad DM 4915 presentó una tendencia a diferenciarse al atrasar la FS hacia diciembre, mientras que en DM 6563 no resultó en un efecto significativo, en cambio el atraso de la FS de noviembre a enero afectó significativamente el rendimiento en ambas variedades. En tanto, el efecto de la variedad y la interacción entre ambos resultaron no significativos.

El rendimiento elevado logrado en nov.-4915 respecto a dic.-4915 y ene.-4915 se debió a que la FS de noviembre permitió acumular la mayor cantidad de RS incidente en el total del ciclo. Además, al ubicarse el PC de nov.-4915 bajo una intensidad de RS incidente y temperatura media diaria mayor con respecto a la misma etapa de dic.-4915 y aún mayor frente a la de ene.-4915, le permitió alcanzar una mayor TCC en el PC, con diferencias numéricas respecto a la FS de diciembre y enero (cuadro 7). Esto determinó que dic.-4915 y ene.-4915 alcanzaran el 77 y 62% del rendimiento logrado por nov.-4915, respectivamente.

En cuanto a la variedad DM 6563, exhibió un comportamiento similar en las tres FS, donde al ubicarse el ciclo de nov.-6563 antes en la estación de crecimiento, el PC se desarrolló con niveles de RS incidente mayores, lo que le permitió acumular una mayor cantidad de MJ.m⁻² una vez finalizada ésta etapa. Por su parte dic.-6563 al iniciar su ciclo más tarde en la estación de crecimiento, ubicó el PC bajo una intensidad de RS incidente menor, mientras que la misma etapa en ene.-6563 se desarrollo con niveles aún más inferiores de RS incidente, lo que repercutió en la cantidad de MJ.m⁻² acumulados al final de esta etapa. Si bien la longitud del PC en las tres FS no exhibió variaciones importantes, el hecho de que nov.-6563 ubicó el ciclo antes en la estación de crecimiento, le permitió usufructuar de niveles de RS incidente y temperatura media diaria mayor durante la etapa crítica. Esto determinó que nov.-6563 alcanzara una mayor TCC en esta etapa, diferenciándose de las FS de diciembre y enero, la que presentó una reducción del 66 y 80% en dic.-6563 y ene.-6563, respectivamente (cuadro 7). Estas diferencias determinaron que los rendimientos concretados por dic.-6563 y ene.-6563 alcanzaran el 82 y el 68% del registro obtenido en nov.-6563, respectivamente (figura 7).

La información generada permite concluir que con FS de la primera quincena de noviembre fue posible lograr rendimientos de 7488 kg.ha⁻¹ para nov.-4915 y 7020 kg.ha⁻¹ para nov.-6563. Esto se debió a una mayor oferta de RS incidente, siendo esta de 3250 y 3381 MJ.m⁻² acumulados en el total del ciclo, de los cuales, 529 y 450 MJ.m⁻² corresponden al PC de nov.-4915 y nov.-6563, respectivamente, con los máximos valores diarios de RS incidente (cuadro 5).

Al atrasar la FS hacia diciembre existió una tendencia a que se pierdan 1700 kg.ha⁻¹ en dic.-4915, mientras que en dic.-6563 se evidenció una merma de 1200 kg.ha⁻¹, esta no fue adjudicada al efecto del atraso de la FS. Esto podría deberse a que se registró una reducción en la RS incidente superior a 600 MJ.m⁻² en ambos ciclos. El atraso en la FS hacia enero, determinó una reducción en el rendimiento de 2780 y 2240 kg.ha⁻¹ de ene.-4915 y ene.-6563, respectivamente, frente a la FS de noviembre (figura 7). Esto se debió a que se registró un descenso en la RS incidente superior a 1110 MJ.m⁻² (cuadro 5). Por tanto, fue posible determinar una relación de kg de rendimiento perdido por MJ.m⁻².día menos incidente de 2,5 kg/MJ para la variedad DM 4915 y 1,6 kg/MJ para DM 6563, al pasar de la FS de noviembre a la FS de enero. Cabe destacar que los niveles de RS incidente fueron 1,7 MJ.m⁻².d⁻¹ superior a la media de la serie 2002-15 que comprende el período abarcado por las tres FS (figura 2).

4. 1. 3. Partición de la materia seca y el rendimiento

En el cuadro 8, se muestra la relación entre la MS acumulada a R6 y el rendimiento convertido a 0% de humedad para cada una de las variedades y FS evaluadas, con sus respectivos IC.

Cuadro No. 8. Materia seca (MS, kg.ha⁻¹) depositada al final del período crítico (PC), rendimiento en grano convertido a 0% de humedad (kg.ha⁻¹) e índice de cosecha (IC) para las variedades DM 4915 y DM 6563 en las fechas de siembra (FS) de noviembre, diciembre y enero.

Tratamientos	MS final del PC (kg.ha⁻¹)	Rendimiento a 0% H (kg.ha⁻¹)	Índice de cosecha
nov.-6563	26873 a	6107 a	0,23 b
nov.-4915	20204 b	6515 a	0,32 ab
dic.-6563	15453 bc	5035 ab	0,33 ab
dic.-4915	14564 bc	5035 ab	0,36 ab
ene.-6563	10209 c	4162 b	0,41 a
ene.-4915	10743 c	4095 b	0,38 ab

Materia seca (MS, kg.ha⁻¹) depositada al final del período crítico (R6); rendimiento en grano convertido a 0% de humedad (kg.ha⁻¹); índice de cosecha (IC) para las variedades DM 6563 y DM 4915 sembradas en noviembre, diciembre y enero. Valores seguidos de igual letra dentro de una misma columna no difieren entre sí ($p < 0.05$; Tukey).

Se evidenció que el IC en la variedad DM 6563 no presentó diferencias entre la FS de noviembre y de diciembre, siendo significativa la diferencia al atrasar la FS hacia enero. Por otro lado, en la variedad DM 4915 atrasar la FS hacia diciembre o enero no determinó diferencias en el IC con respecto a noviembre.

El IC fluctuó entre valores de 0,23 y 0,41, ubicándose los valores más bajos en la FS de noviembre y los más altos en enero, coincidiendo con los valores reportados por Villasuso (2015). En este sentido, es posible destacar que en la FS de noviembre existió una menor eficiencia en la partición de la biomasa en estructuras reproductivas con respecto a la FS de enero. Por lo tanto, los rendimientos más altos registrados en la FS de noviembre, fueron obtenidos a expensas de elevadas producciones de MS acumuladas al final del PC (cuadro 8). Al atrasar la FS hacia enero, el IC de DM 6563 se incrementó, lo que determinó que por unidad de MS acumulada al final del PC se alcanzara mayor rendimiento en grano, aunque este incremento no fue suficiente para equiparar las diferencias en rendimiento entre estas FS.

Como se puede observar, para una misma FS el IC tendió a ser mayor en la variedad DM 4915 con respecto a DM 6563, a excepción de la FS de enero, esto coincide con Baigorri (2002), Villasuso (2015), quienes sostienen que para una FS determinada el IC presenta generalmente una relación inversa con la longitud del ciclo de los cultivares. Por otra parte, se relaciona con lo expresado por Martignone et al.

(2010) quienes encontraron que los cultivares pertenecientes a GM de ciclo corto presentan una mayor eficiencia reproductiva con respecto a cultivares pertenecientes a GM de ciclo largo.

Estos resultados permiten inferir que no existe una marcada relación entre el IC y el GM. La FS de noviembre permitió ubicar el PC de ambas variedades bajo una mayor oferta de RS incidente y temperatura media diaria, lo que determinó que se alcanzaran acumulaciones de MS elevadas, lográndose los rendimientos más altos del ensayo. El atraso en la FS hacia enero ubicó el PC de ambas variedades bajo condiciones de menor RS incidente y temperatura que condicionaron la producción de MS durante esta etapa.

4. 1. 4. Efecto de la FS y el GM sobre los componentes principales del rendimiento

En el cuadro 9, se presenta el NG.m⁻² y el PMG para las diferentes variedades y FS evaluadas.

Cuadro No. 9. Número de granos por metro cuadrado (NG.m⁻²) y peso de mil granos (PMG) para las variedades DM 4915 y DM 6563 en las fechas de siembra (FS) de noviembre, diciembre y enero.

Tratamiento	Número de granos.m⁻²	Peso de mil granos (g)
nov.-6563	4378 a	174 ab
nov.-4915	4729 a	159 bc
dic.-6563	3143 ab	167 bc
dic.-4915	4000 ab	150 c
ene.-6563	2500 b	195 a
ene.-4915	3072 ab	159 bc

Valores seguidos de igual letra dentro de una misma columna no difieren entre sí (p<0.05; Tukey).

En el NG.m⁻² se encontró que en la variedad DM 4915 al atrasar la FS desde noviembre a diciembre no generó diferencias, mientras que atrasar la FS desde noviembre a enero dicha variable presentó una tendencia a diferenciarse. Para la variedad DM 6563, se evidenció solo diferencia entre la FS de noviembre y enero, con una disminución del 43% con el atraso de la misma. No existiendo diferencias entre variedades para una misma FS.

Las diferencias numéricas registradas en el NG.m⁻² entre FS, se interpretó que se debieron a que en la FS de noviembre, los ciclos de ambas variedades se desarrollaron con una mayor oferta de RS incidente que en conjunto con la mayor temperatura media

diaria que presentaron durante el PC, determinaron que se alcanzaran TCC elevadas en ambas variedades y de esta forma concretar los mayores NG.m^{-2} del experimento.

Por otro lado, los PC de las FS de diciembre y enero al ubicarse más tarde en la estación de crecimiento, se desarrollaron bajo una menor intensidad de RS incidente y con temperaturas medias diarias inferiores en el PC y en el total del ciclo. Esto determinó que ambas variedades exhibieran reducciones en la TCC lograda, generando así diferencias numéricas en la variedad DM 4915 y estadísticas en la variedad DM 6563 frente a la FS de noviembre, lo que se tradujo en un mayor NG.m^{-2} , explicando así las diferencias registradas.

El máximo registro en NG.m^{-2} logrado en noviembre por la variedad DM 4915 no se diferenció del registro obtenido por DM 6563, la que acumuló el 93% de esta última. El atraso de la FS hacia diciembre, provocó un descenso en el NG.m^{-2} fijados en ambas variedades, este fue de mayor magnitud en la variedad DM 6563 representando un 28%, frente a un 15% en DM 4915, respecto a la FS de noviembre. Por otra parte, el atraso de la FS hacia enero, redundó en una reducción mayor del NG.m^{-2} fijados, siendo 43 y 35% menos en la variedad DM 6563 y DM 4915, respectivamente, frente a los registros de noviembre.

En la FS de noviembre se observó que la TCC lograda por DM 6563 fue numéricamente mayor a la de DM 4915, pero el NG.m^{-2} fijados por DM 4915 presentó diferencias numéricas frente al registro de DM 6563. Esto según Martignone et al. (2010), se debe a la menor eficiencia reproductiva que tienen los cultivares de GM mayores respecto a los cultivares de GM menores. Por lo tanto, las diferencias numéricas encontradas en las FS de noviembre, diciembre y enero en el NG.m^{-2} a favor de DM 4915 con respecto a DM 6563, son adjudicadas a la mayor eficiencia reproductiva que presentan las variedades de menor largo de ciclo frente a variedades con mayor largo de ciclo como lo es DM 6563 y a la intensidad de la RS incidente mayor que exhibieron durante el PC, pero no a la cantidad de RS incidente durante esta etapa.

En la variable PMG se observó solo una diferencia significativa en la variedad DM 6563, entre la FS de enero y diciembre. En la variedad DM 4915 atrasar la FS no determinó diferencias significativas en el PMG. Esto se debe a la relación que guarda esta variable con el NG.m^{-2} , teniendo en cuenta que la FS de noviembre fue la que permitió alcanzar los mayores registros de NG.m^{-2} , también posibilitó un adecuado desarrollo de llenado de granos, explicando de esta manera por que el PMG en esta FS no fue el más bajo del experimento. Esto según Toledo (2016) se debe a que, al ser fijado primero el NG y luego el PMG, se produce un efecto dilución en el PMG por el aumentos en la primera.

Giménez (2014) indicó que el PMG es un componente residual, ya que se determina después que se fijó el NG. Por lo tanto, cuando el NG fijados es elevado, los fotoasimilados para la etapa de llenado de granos pueden no ser suficientes para obtener un PMG alto. El atraso de la FS hacia enero evidenció un descenso en el NG.m⁻² fijados y por ello el PMG en esta FS aumentó, explicado por el efecto de compensación existente entre estos componentes tal como lo señaló Egli (1998).

Por otra parte, para una misma FS, la variedad DM 6563 registró mayores valores que la variedad DM 4915, resultando esta diferencia significativa solo en la FS de enero. Este comportamiento es explicado por el efecto de compensación entre el NG.m⁻² y el PMG, y no por un componente genético, ya que según Cortés (2015), las variedades pertenecientes a GM menores presentan un mayor PMG que las variedades pertenecientes a GM mayores.

4. 1. 5. Relación entre el rendimiento y sus componentes

En la figura 8 se muestra la relación entre el rendimiento y el NG.m⁻². Como era de esperar esta correlación fue lineal y positiva, indicando que un aumento en el NG.m⁻² se traduce en mayores rendimientos. De todas formas, la correlación fue moderada ($R^2 = 0,58$), siendo más alta que la reportada por Cortés (2015), Sebben et al. (2018).

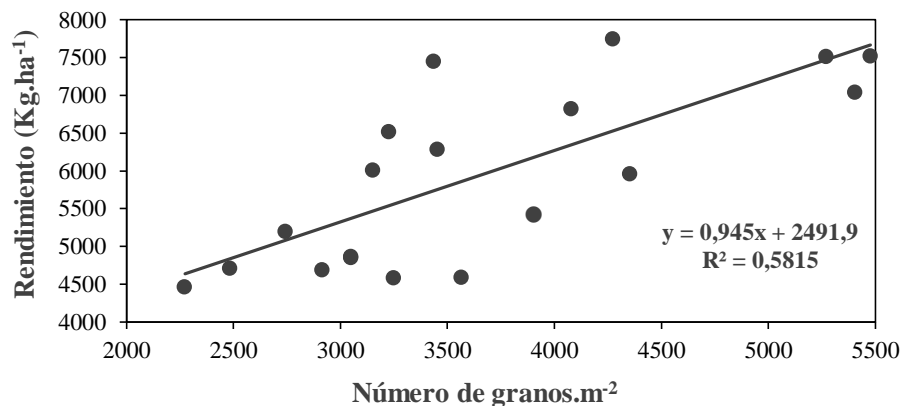


Figura No. 8. Relación entre el rendimiento (kg.ha⁻¹) y el número de granos por unidad de superficie en el cultivo de soja (NG.m⁻²), para dos variedades DM 4915 y DM 6563 y tres fechas de siembra (FS), noviembre, diciembre y enero.

En la figura 9 se muestra la relación entre el rendimiento y el PMG. La correlación entre ambas variables resultó ser baja, lineal y negativa, coincidiendo con Ferraris y Díaz Zorita (2016), quienes obtuvieron un $R^2 = -0,02$. Esto es debido a que este componente del rendimiento es residual, ya que se determina después que se fijó el NG.m⁻² y por tanto según Giménez (2014) cuando el NG.m⁻² fijados es elevado, los

fotoasimilados para la etapa de llenado de granos pueden no ser suficientes para obtener un PG alto.

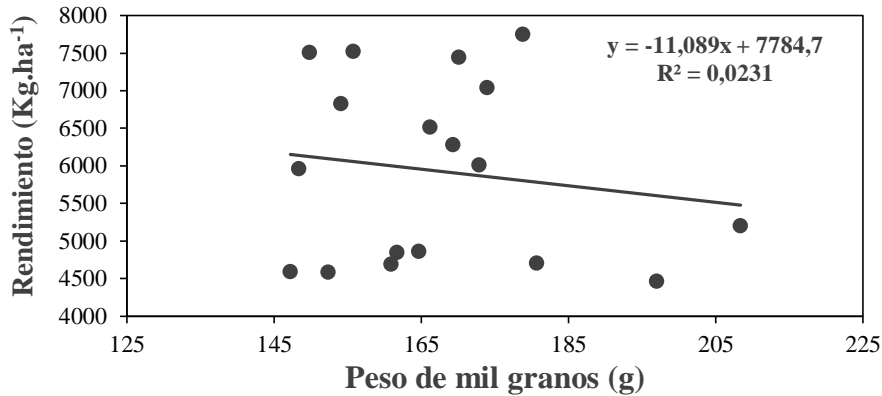


Figura No. 9. Relación entre el rendimiento (kg.ha⁻¹) y el peso de mil granos (PMG, g) en el cultivo de soja, para dos variedades DM 4915 y DM 6563 y tres fechas de siembra (FS), noviembre, diciembre y enero.

Estos resultados permiten concluir y confirmar la extensa información que indica que el NG.m⁻² es el principal determinante en la variación del rendimiento lo cual se vió reflejado en la correlación existente entre las variables, donde el 58% de la variación del rendimiento fue explicada por el NG.m⁻². Un valor similar fue reportado por Villasuso (2015). Por otro lado, se evidenció que el rendimiento y el PMG exhibió una tendencia lineal y negativa, determinando que de ambos componentes, este presenta una influencia menor sobre las variaciones del rendimiento, y que el rendimiento en grano no se relaciona en forma directa con el PMG. No obstante, es un componente importante en el rendimiento de soja.

4. 1. 6. Efecto de la FS y el GM sobre los sub-componentes del rendimiento

En el cuadro 10 se presentan los sub-componentes del rendimiento para las variedades DM 4915 y DM 6563 en las tres FS consideradas.

En las variables NV.pl⁻¹ y NG.pl⁻¹ se evidenció solo una diferencia y esta se presentó en la variedad DM 6563, entre la FS de noviembre y la FS de enero, mientras que para una misma FS, el NV.pl⁻¹ y el NG.pl⁻¹ no se diferenció entre variedades.

Las diferencias numéricas en NV.pl⁻¹ registradas a favor de nov.-6563 respecto a nov.-4915, se deben a que nov.-6563 presentó una mayor longitud de la fase vegetativa respecto a nov.-4915 (cuadro 2), en la que se diferenció un mayor NNud.pl⁻¹ y posteriormente dió lugar a un mayor NV.pl⁻¹. La FS de noviembre fue la que permitió alcanzar los mayores registros de NV.pl⁻¹, no obstante, si bien en ella se alcanzaron los

mayores registros de $NNud.pl^{-1}$ (cuadro 6), esto determinó que el $NV.nudo^{-1}$ se diluyera. Por otra parte, ene.-6563 presentó el $NV.nudo^{-1}$ mayor, debido a que presentó el $NNud.pl^{-1}$ menor lo cual se explicó por la menor duración de la fase vegetativa (cuadro 3), lo que provocó un menor desarrollo de las ramificaciones y de $NNud.pl^{-1}$ (cuadro 6).

Los niveles de RS incidente y temperaturas en los que se ubicaron los PC de nov.-6563 y de nov.-4915 permitieron alcanzar TCC elevadas durante esta etapa y con ello fijar un $NV.pl^{-1}$ y $NG.pl^{-1}$ elevados, lo que se vió reflejado en los rendimientos alcanzados por estos tratamientos. Esto según Andrade y Sadras (2000a) se debe a que existe una buena correlación entre la TCC en el PC y el $NG.m^{-2}$ fijados, por lo que en la medida que se modifiquen las condiciones ambientales en las que ocurre el PC, se afectará la TCC y por consiguiente el rendimiento. Sin embargo, en el presente ensayo se obtuvieron respuestas variables entre la TCC lograda y el $NG.m^{-2}$ fijados por ambas variedades, ya que las TCC en el PC mayores no siempre implicaron un $NG.m^{-2}$ mayor, sino que esta correlación es dependiente de cada variedad y de la eficiencia reproductiva que cada una de ellas presenta, lo que determinará el IC para cada uno de los casos.

Por otro lado, dic.-6563 y dic.-4915 presentaron una tendencia a diferenciarse respecto a nov.-6563 y nov.-4915 en el $NV.pl^{-1}$. Estas diferencias numéricas están explicadas por la menor TCC durante el PC alcanzada en dic.-6563 y dic.-4915, lo que determinó que se registraran diferencias numéricas en el $NG.pl^{-1}$ fijados. En esta etapa fue en la que la RS incidente media diaria fue de $2,15 MJ.m^{-2}.d^{-1}$ menos que en la FS de noviembre para las variedades DM 6563 y DM 4915 (cuadro 5), lo que explicaría las diferencias numéricas en rendimiento. Kantolic (2003b) afirma que las reducciones en los niveles de RS incidente disminuyen la TCC entre R1-R5 provocando un crecimiento menor de las ramificaciones y un menor NG en estas.

Cuadro No. 10. Número de vainas por planta ($NV.pl^{-1}$), número de vainas por nudo ($NV.nudo^{-1}$), número de granos por vaina ($NG.vaina^{-1}$) y número de granos por planta ($NG.pl^{-1}$) de las variedades DM 4915 y DM 6563 para las fechas de siembra (FS) de noviembre, diciembre y enero.

Tratamientos	$NV.pl^{-1}$	$NV.nudo^{-1}$	$NG.vaina^{-1}$	$NG.pl^{-1}$
nov.-6563	63 a	2,4 b	2,2 bc	139 a
nov.-4915	53 ab	2,6 ab	2,4 ab	130 ab
dic.-6563	44 ab	2,5 b	2,3 abc	102 ab
dic.-4915	46 ab	2,2 b	2,6 a	120 ab
ene.-6563	38 b	3 a	2 c	79 b
ene.-4915	36 b	2,4 b	2,4 ab	88 ab

NV= número de vainas, pl^{-1} = planta, NG= número de granos. Valores seguidos de letras iguales dentro de una misma columna no difieren entre sí ($p<0.05$; Tukey).

En cuanto a ene.-6563 y ene.-4915, desarrollaron su ciclo bajo condiciones ambientales de temperatura, RS incidente y fotoperíodo que ejercieron un claro efecto sobre la longitud de las diferentes etapas (cuadro 4 y figura 4). Según Giménez (2007), en los GMs cortos como los IV, la temperatura es el factor determinante del desarrollo y en los GMs medios a largos como los VI, operan el fotoperíodo y la temperatura. En ene.-6563 y ene.-4915 se evidenció un acortamiento en la longitud de la etapa vegetativa, lo que determinó un $NNud.pl^{-1}$ menor y con la ubicación del PC bajo una intensidad de RS incidente menor, lo que afectó la TCC alcanzada en esta etapa, viéndose reflejado en el menor $NV.pl^{-1}$ y $NG.pl^{-1}$ y por consiguiente en el rendimiento logrado por ambos tratamientos, respecto a la FS de noviembre.

Este estudio permite concluir que las interacciones entre las variables de manejo FS y GM determinan el rendimiento de soja y sus componentes para una localidad determinada. Las FS tardías combinadas tanto con GM cortos o intermedios fueron las que mostraron los menores rendimientos, probablemente debido a que el PC para la generación del rendimiento de estos GM ocurrió con temperatura y RS incidente menores respecto a FS tempranas (cuadro 5). Asimismo, fotoperíodos más cortos explicarían adicionalmente la menor cantidad de nudos reproductivos, el número de vainas y de granos, en comparación con FS más tempranas en el GM VI por presentar mayor sensibilidad a este factor.

4. 1. 7. Efecto de la RS incidente sobre la materia seca, el rendimiento y los componentes numéricos principales del rendimiento

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo, se pudo determinar que existe una relación entre los valores de RS incidente registrados durante el PC y la registrada en el ciclo del cultivo con la MS depositada a R6, el rendimiento y sus componentes principales.

En el caso de que la RS incidente promedio durante el PC estuvo por encima de $22 MJ.m^{-2}.d^{-1}$ y la RS acumulada en el ciclo total superó los $3200 MJ.m^{-2}$, se registraron rendimientos mayores a $7000 kg.ha^{-1}$. Sin embargo cuando la RS incidente se ubicó por debajo de $2200 MJ.m^{-2}$ no se superaron los $5000 kg.ha^{-1}$ de rendimiento. Una tendencia similar ocurrió en la MS depositada en R6, por encima de $22 MJ.m^{-2}.d^{-1}$ promedio en el PC y de $3200 MJ.m^{-2}$ en el ciclo total, se lograron más de $20000 kg.MS.ha^{-1}$. En cambio cuando la RS estuvo por debajo de estos valores, no se superaron los $15500 kg.MS.ha^{-1}$. El NG presentó la misma tendencia, con valores de RS incidente cercanos o superiores a $22 MJ.m^{-2}.d^{-1}$ promedio en el PC (cuadro 5), permitieron fijar un valor superior a $4000 granos.m^{-2}$.

No obstante, las condiciones de RS incidente del verano 2016/17, las que se asociaron con un volumen de PP superior a la media en el mes de febrero, pero que a su vez, estas concentraron el mayor volumen en pocos eventos de lluvia, lo que determinó

que los niveles de RS incidente de los ciclos sembrados en noviembre fuera superior a 3200 MJ.m^{-2} , permiten caracterizarlo como un verano particular. Una situación similar fue exhibida por Giménez (2014), donde la RS incidente en el período de cultivo superó los 3200 MJ.m^{-2} que le permitió obtener un rendimiento máximo de 7275 kg.ha^{-1} .

El PMG presentó una variación de 45 g entre dic.-4915 y ene.-6563, con el mínimo y máximo registro logrado, respectivamente. A su vez, el máximo registro de PMG se presentó en el tratamiento que logró el menor NG.m^{-2} del experimento, esto está explicado por un efecto de compensación entre componentes tal como lo indicó Egli (1998). Por otro lado, el menor PMG se presentó con un NG.m^{-2} mayor pero no con el máximo registro y en la FS de diciembre. Esto permite evidenciar que si bien los aumentos en el NG.m^{-2} fijados determinan descensos en el PMG, este componente está determinado en gran parte por la RS incidente durante la etapa de llenado de granos y de la longitud de dicha etapa, ya que según Sadras et al. (2000), la acumulación del peso de los granos ocurre en el período R5-R6, en el estadio R5 se inicia el llenado efectivo de los granos y en R6 resta un 20% del crecimiento final de los granos.

La FS de noviembre permitió tanto a la variedad DM 6563 como a la variedad DM 4915 desarrollar su ciclo bajo una alta oferta de RS incidente, asimismo esta FS presentó los mayores registros promedios de RS incidente en el PC (cuadro 5). De esta forma, las dos variedades alcanzaron niveles altos de deposición de MS en R6, a expensas de una TCC en el PC elevada. Esto determinó que se fijara el mayor NG.m^{-2} alcanzando así los rendimientos más altos del ensayo, por ser este componente el más asociado a las variaciones en el rendimiento, tal como lo manifestó Egli (1998). Se evidenció que los atrasos en la FS determinaron descensos en los niveles de RS incidente, tanto en el PC como en el total del ciclo, descensos en la MS acumulada a R6 y en el NG, no así en el PMG, lo que afectó negativamente los rendimientos.

Por lo tanto, los resultados obtenidos permiten confirmar que al no existir limitantes hídricas durante el ciclo del cultivo, el nivel de RS incidente es un factor determinante del potencial del rendimiento en soja, siendo más significativo si la máxima intensidad de RS coincide con el PC de determinación del rendimiento.

5. CONCLUSIONES

Se rechaza la hipótesis biológica, ya que se detectó que las diferencias en rendimiento generadas por los atrasos en la FS desde noviembre a enero, no presentaron una respuesta diferencial entre variedades, sino que la respuesta obtenida fue de igual magnitud en las dos variedades evaluadas.

La FS de noviembre determinó que ambas variedades acumularan los valores de RS incidente mayores durante el ciclo, esto permitió que en esta FS se obtuvieran los rendimientos más altos del ensayo. Se encontró que valores de RS incidente acumulada en el ciclo total superiores a 3200 MJ.m^{-2} permitieron obtener rendimientos mayores a 7000 kg.ha^{-1} . En la FS de noviembre con la variedad del GM IV se logró obtener el rendimiento experimental mayor de soja registrado hasta el presente en el país.

El atraso en la FS hacia diciembre determinó que los niveles de RS incidente descendieran, si bien esta reducción provocó una merma en el rendimiento logrado, en ambas variedades, no resultó en un descenso significativo con respecto a la FS de noviembre. Sin embargo, el atraso en la FS hacia enero provocó descensos en los niveles de RS incidente de mayor magnitud que se reflejaron en la productividad y se constataron reducciones significativas del rendimiento, en ambas variedades. Las características climáticas del año agrícola 2016/17 presentaron niveles de RS incidente superiores al promedio que permitieron alcanzar rendimientos elevados incluso en las FS más tardías evaluadas.

La interacción entre la FS y el GM depende de la diferencia en el largo del ciclo de las variedades. En el presente trabajo se utilizaron dos variedades, por lo que se recomienda seguir generando información utilizando otros materiales de ciclos más contrastantes.

6. RESUMEN

Se realizó un experimento de soja (*Glycine max*, L.) en la estación experimental “Dr. M. A. Cassinoni” en Paysandú, Uruguay, en la primavera-verano 2016-17. Con el objetivo principal de evaluar el efecto de la fecha de siembra (FS) y del grupo de madurez (GM) sobre el rendimiento del cultivo bajo riego completo, además de evaluar el efecto de estos componentes sobre la producción de MS y los componentes numéricos del rendimiento. El ensayo consistió en combinar diferentes GM con diferentes FS, aplicando riego completo y evaluar los efectos de estas alternativas sobre el rendimiento y sus componentes, así como en la producción de MS y la TCC durante el PC. Se evaluaron 6 tratamientos: nov.-6563: variedad DM 6563 y FS 8 de noviembre; nov.-4915: variedad DM 4915 y FS 8 de noviembre; dic.-6563: variedad DM 6563 y FS 8 de diciembre; dic.-4915: variedad DM 4915 y FS 8 de diciembre; ene.-6563: variedad DM 6563 y FS 10 de enero; ene.-4915: variedad DM 4915 y FS 10 de enero. Nov.-4915 alcanzó el máximo rendimiento con 7488 kg ha⁻¹, los tratamientos nov.-6563, dic.-6563 y dic.-4915 no presentaron diferencias con nov.-4915 y rindieron un 7, 23 y 23% menos que este; ene.-6563 y ene.-4915 rindieron un 36 y 37% menos que nov.-4915, sin diferencias con los tratamientos dic.-4915 y dic.-6563. Nov.-6563 acumuló 13,3 tt.ha⁻¹ de MS a R4, dic.-6563 no presentó diferencias con este, los tratamientos dic.-4915 y nov.-4915 acumularon el 78 y 74% de la MS de nov.-6563 en R4, respectivamente, sin diferencias entre ellos, y ene.-6563 y ene.-4915 acumularon el 58 y 51% de la MS de nov.-6563 en R4, respectivamente, sin diferenciarse entre sí. La mayor TCC en R4-R6 fue lograda por nov.-6563 con 500 Kg MS ha⁻¹.día⁻¹, nov.-4915 no presentó diferencias frente a este y alcanzó el 59% de la máxima TCC lograda, los tratamientos ene.-4915, dic.-4915, dic.-6563 y ene.-6563 alcanzaron el 40, 38, 34 y 21% de la máxima TCC lograda, sin diferencias entre sí. La MS a R6 de nov.-6563 fue de 26,9 tt.ha⁻¹, nov.-4915, dic.-6563 y dic.-4915 acumularon significativamente menos MS en R6 que nov.-6563, con un 75, 57 y 54% de la MS de nov.-6563, sin diferenciarse entre sí, y ene.-4915 y ene.-6563 acumularon el 40 y 38% de la MS de nov.-6563 en R6. Por otra parte, se analizaron las variables IC, NG m⁻², PMG, NNud. y NV.planta y NV.nudo, NG.planta y NG.vaina. Los atrasos en la FS modificaron la intensidad de la RS, afectando el desarrollo del cultivo, la deposición de MS a R4 y R6 y la TCC en el PC, y a la que se le atribuyen las diferencias en los resultados obtenidos en este experimento por la influencia que ejerce sobre la acumulación de MS y los componentes del rendimiento NG.m⁻² y PMG. Los resultados indican que en FS de noviembre se alcanzan altas TCC, elevadas producciones de MS y excelentes rendimientos en grano.

Palabras clave: *Glycine max*; Fecha de siembra; Grupo de madurez; Riego completo; Rendimiento; Biomasa; Componentes del rendimiento.

7. SUMMARY

An experiment of soybean (*Glycine max*, L.) was carried out at the experimental station "Dr. M. A. Cassinoni "in Paysandú, Uruguay, in the Spring-Summer 2016-17. With the main objective of evaluating the effect of the sowing date (SD) and the maturity group (MG) on the yield of the crop under full irrigation, besides evaluating the effect of these components on the production of DM and numerical components of the yield. The trial consisted of combining different MG with different SD applying full irrigation and evaluating the effects of these alternatives on the yield and its components, as well as in the DM production and the growth rate of the crop during the CP. Six treatments were evaluated: Nov.-6563: variety DM 6563 and SD 8th of November; Nov.-4915: variety DM 4915 and SD 8th of November; Dec.-6563: variety DM 6563 and SD 8th December; Dec.-4915: variety DM 4915 and SD 8th December; Jan.-6563: variety DM 6563 and SD 9th January; Jan.-4915: variety DM 4915 and SD 9th January. Nov.-4915 reached the maximum yield with 7488 kg ha⁻¹, the treatments Nov.-6563, Dec.-6563 and Dec.-4915 were statistically different with respect to Nov.-4915 and yielded 7, 23 and 23% less than this, without differences between them; Jan.-6563 and Jan.-4915 yielded 36 and 37% less than Nov.-4915, without differences with the treatments Dec.-4915 and Dec.-6563. Nov.-6563 accumulated 13.3 tt.ha⁻¹ from DM to R4, Dec.-6563 did not present differences with this, treatments Dec.-4915 and Nov.-4915 accumulated 78 and 74% of the DM of Nov.-6563 in R4, respectively, without differences between them, and Jan.-6563 and Jan.-4915 accumulated 58 and 51% of the DM of Nov.-6563 in R4, respectively, without differentiating between them. The highest growth rate of the crop in R4-R6 was achieved by Nov.-6563 with 500 Kg.DM.ha⁻¹.day⁻¹, Nov.-4915 reached 59% of the maximum growth rate of the crop achieved, treatments Jan-4915, Dec.-4915, Dec.-6563 and Jan.-6563 reached 40, 38, 34 and 21% of the maximum growth rate of the crop achieved, without differences between them. The DM to R6 of Nov.-6563 was 26.9 tt.ha⁻¹, Nov.-4915, Dec.-6563 and Dec.-4915 accumulated significantly less DM in R6 than Nov.-6563, with 75, 57 and 54% of the DM of Nov.-6563, without differentiating between themselves, and Jan.-4915 and Jan-6563 accumulated 40 and 38% of the DM of Nov.-6563 in R6. On the other hand, the variables harvest index, number of grain.m⁻², thousand grain weight, number of knots and pod number.plant and pod number.knot, number grain.plant and number grain.pod were analyzed. The delays in SD modified the intensity of SR, affected the development of the crop, the deposition of DM to R4 and R6 and the growth rate of the crop in the R4-R6, and to which the differences in the results obtained in this experiment are attributed to the influence it exerts on the accumulation of DM and the components of the yield number of grains.m⁻² and weight of a thousand grains. The results indicate that in November, high growth rates of the crop, high yields of DM and excellent grain yields are reached.

Keywords: *Glycine max*; Seedtime; Maturity group; Full irrigation; Yield; Biomass; Components of yield.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Alemán, G.; Barrere, F. 2014. Soja: estructura del cultivo para reducir el impacto del estrés hídrico. Tesis Ing. Agr. Buenos Aires, Argentina. Universidad Nacional de La Pampa. Facultad de Agronomía. 25 p.
2. Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma, FAO. 304 p. (Estudio FAO Riego y Drenaje no. 56).
3. Andrade, F. H. 1995. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. *Field Crops Research*. 41: 1-12.
4. _____.; Sadras, V. O. 2000a. 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, Unidad Integrada (INTA Balcarce/UNMP. Facultad de Ciencias Agrarias). pp. 173-206.
5. _____.; Cirilo, A. 2000b. Fecha de siembra y rendimiento de los cultivos. *In*: Andrade, F. H.; Sadras, V. O. eds. Bases para el manejo del maíz, girasol y soja. Buenos Aires, Argentina, Unidad Integrada (INTA Balcarce/UNMP. Facultad de Ciencias Agrarias). pp. 135-150.
6. _____.; Aguirrezabal, L. A. N.; Rizzalli, R. H. 2002. Crecimiento y rendimientos comparados. *In*: Andrade, F. H.; Sadras, V. O. eds. Bases para el manejo del maíz, girasol y soja. Buenos Aires, Argentina, Unidad Integrada (INTA Balcarce/UNMP. Facultad de Ciencias Agrarias). pp. 61-171.
7. Avalos, S.; Zujic, S.; Lozano, M. L.; Otegui, M. E.; Cirilo, A. 2017. Mejoramiento genético en soja; efectos sobre el rendimiento, sus determinantes fisiológicos y el uso del agua. *In*: Workshop Internacional de Ecofisiología de Cultivos (3º., 2017, Buenos Aires). Trabajos presentados. Buenos Aires, Argentina, Universidad Nacional de Rosario. Facultad de Ciencias Agrarias. 3 p.
8. Baigorri, H. E.; Croatto, D. R. 2000. Manejo del cultivo de soja en Argentina. Marcos Juárez, INTA. 28 p.
9. _____. 2002. Criterios para la elección y manejo de cultivares de soja. (en línea). Marcos Juárez, INTA. s.p. Consultado 20 oct. 2017. Disponible en http://agro.unc.edu.ar/~ceryol/documentos/soja/Eleccion_cultivares.pdf

10. _____.; Martini, E. 2007. El cultivo de soja y la intensificación de la producción agropecuaria. Soja en Siembra Directa. no.171: 49-54.
11. Bajgain, R.; Kawasaki, Y.; Akamatsu, Y.; Tanaka, Y.; Kawamura, H.; Katsura, K.; Shiraiwa, T. 2015. Biomass production and yield of soybean grown under converted paddy field with excess water during the early growth stage. Field Crops Research. 180: 221-227.
12. Bianchi, J.; Rosbaco, I.; Tuttolomondo, G.; Romagnoli, M.; Martignone, R. 2011. ¿Es factible sembrar soja en fechas de siembra muy tardías? Revista Agromensajes. 32:1-7.
13. Bodrero, M. 2003. Algunos factores genéticos y ambientales que influyen sobre el rendimiento de la soja. In: Jornada Nacional de la Soja (2003, Colonia). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 1-13 (Actividades de Difusión no. 325).
14. Braz, G.; Cassol, G.; Ordoñez, G.; Simon, G.; Procópio, S.; Neto, A.; Filho, W.; Dan, H. 2010. Componentes de produção e rendimento de soja em função da época de dessecação e do manejo em pós-emergência. Revista Brasileira de Herbicidas. 9(2): 63-72.
15. 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. Agrociencia. 8(3): 185-189.
16. 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. 66 p.
17. 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.
18. Cortés, E. 2015. Desarrollo de estrategias de siembra del cultivo de soja [*Glycine max* (L.) Merr] en el departamento de San Justo, Córdoba, Argentina. Tesis Esp. Prod. Cultivos Extensivos. Córdoba, Argentina. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 42 p.
19. de la Vega, A. J.; de la Fuente, E. 2003. Elección de genotipos. 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. 319-345.

20. Durán, A.; Aguirre, L.; Altamirano, A.; Alvarez, C.; Cayssials, R.; Da Silva, H.; Echeverría, A.; Falco, L.; Liesegang, J.; May, H.; Molfino, J.; Morelli, C.; Panario, D.; Piñeyría, 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
21. Edwards, J. T.; Purcell, L.C. 2005. Soybean yield and biomass responses to increasing plant population among diverse maturity groups: I. Agronomic Characteristics. *Crop Science*. 45: 1770-1777.
22. Egli, D. B. 1997. Cultivar maturity and response of soybean to shade stress during seed filling. *Field Crops Research*. 52(1-2): 1-8.
23. _____. 1998. Seed biology and the yield of grain crops. Wallingford, UK, CABI. 178 p.
24. _____. 2004. Seed- fill duration and yield of grain crops. *Advances in Agronomy*. 83: 243-279.
25. _____.; Bruening, W. P. 2006. Fruit development and reproductive survival in soybean: position and age effects. *Field Crops Research*. 98(2-3): 195-202.
26. Ernst, O. 2004. Cambios en el paisaje de la diversificación al imperio de la soja. *Cangüé*. no. 26: 12-14.
27. Farías, J. R. B; Nepomuceno, A. L.; Neumaier, N. 2007. Ecofisiología da soja. EMBRAPA. Circular Técnica no. 48: 1-9.
28. Fehr, W. R.; Caviness, C. E. 1977. Stages of soybean development. Iowa State University. Special Report no. 80. 12 p.
29. Ferraris, G.; Díaz Zorita, M. 2016. Variación del rendimiento y sus componentes en dos fechas de siembra de soja según nivel tecnológico. *In: Soja Actualización 2016 (2016, Pergamino)*. Memorias. Córdoba, INTA. pp. 56-61 (Informe de Actualización Técnica no. 6).

30. Gaso, D.; Morales, X.; Calistro, R.; Capurro, M. C.; Silva, L.; Schusselin, M.; Sawchik, J. 2015. Potenciales de rendimiento de grupos de madurez contrastantes en diferentes épocas de siembras y ambientes. In: Día de Campo (2015, Colonia). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 11-18 (Actividades de Difusión no. 743).
31. Gilli, J.; Bernardi, C.; Rojas, E.; Murgio, M. 2016. Variabilidad del período de llenado del grano en soja. In: Soja Actualización 2016 (2016, Marcos Juárez). Memorias. Córdoba, INTA. pp. 41-47 (Informe de Actualización Técnica no. 6).
32. Giménez, L. 2007. Comportamiento fenológico de diferentes grupos de madurez de soja (*Glycine max*) en Uruguay. Ubicación temporal del período crítico. *Agrociencia* (Montevideo). 11(2): 1-9.
33. _____.; Böcking, B.; Garcia Petillo, M.; Garcia, C.; Sawchik, J. 2010. Prologo; marco de referencia del seminario. In: Seminario Internacional Riego en Cultivos y Pasturas (1°. 2010, Paysandú, Uruguay). Trabajos presentados. Paysandú, Uruguay, Facultad de Agronomía. pp. 3-4.
34. _____.; García Petillo, M. 2011. Evapotranspiración de cultivos de verano para dos regiones climáticamente contrastantes de Uruguay. *Agrociencia* (Montevideo). 15(2): 100-108.
35. _____. 2012. ¿Cuánto estamos perdiendo por no regar cultivos en Uruguay? In: Seminario Internacional de Riego en Cultivos y Pasturas (2°. 2012 Paysandú, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. pp. 33-41.
36. _____. 2014. Efecto de las deficiencias hídricas en diferentes etapas de desarrollo sobre el rendimiento de soja. *Agrociencia* (Montevideo). 18(1): 53-64.
37. 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. General Villegas, Buenos Aires, INTA. 6 p.
38. Grassini, P.; Torrión, J. A.; Cassman, K. G.; Yang, H. S.; Specht, J. E. 2014. Drivers of spatial and temporal variation in soybean yield and irrigation requirements in the western US Corn Belt. *Field Crops Research*. 163: 32-46.

39. _____.; _____.; _____.; _____.; _____.; Rees, J.; Andersen, D. 2015. Soybean yield gaps and water productivity in the western U.S. Corn Belt. *Field Crops Research*. 179: 150-163.
40. Grasso, J. P.; Montero, J. A. 2011. Efecto de diferentes disponibilidades hídricas sobre el rendimiento de soja. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 56 p.
41. Jiang, H.; Egli, D.B. 1995. Soybean seed number and crop growth rate during flowering. *Agronomy Journal*. 87: 264-267.
42. Kantolic, A. G.; Giménez, P. I.; De La Fuente, E. B. 2003a. 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.
43. _____. 2003b. Ecofisiología del cultivo de soja, bases para el manejo y el aumento del rendimiento potencial. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. 6 p.
44. _____.; Giménez, P. I.; de la Fuente, E. 2006. Soja. In: de la Fuente, E.; Gil, A.; Giménez, P.; Kantolic, A. G. eds. Cultivos industriales. Buenos Aires, Argentina, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. pp. 95-141.
45. _____. 2008. Control ambiental y genético de la fenología del cultivo de soja: impactos sobre el rendimiento y la adaptación de genotipos. *Revista de la UBA. Facultad de Agronomía*. 28(1): 63-88.
46. Lersten, N. R.; Carlson, J. B. 2004. Vegetative morphology. *Agronomy Monograph*. 16: 15-57.
47. Liu, X.; Jin, J.; Herbert, S. J.; Zhang, Q.; Wang, G. 2005. Yield components, dry matter, LAI and LAD of soybeans in Northeast China. *Field Crops Research*. 93(1): 85-93.
48. Martignone, R. A.; Enrico, J. M.; Bordero, M. L.; Andriani, J. M. 2010. Factores asociados con la variabilidad de rendimientos entre grupos de madurez en soja. *Para Mejorar la Producción*. no. 45: 25-34.
49. Martínez Álvarez, D.; Baigorri, H.; Bologna, S.; Bongiovanni, M.; Lucero, R. 2001. Comportamiento fenológico de cultivares de soja de GM III al VII

en fechas de siembra de octubre a diciembre, en villa mercedes, campañas agrícolas 1998/99 y 1999/00. Villa Mercedes, Argentina, Universidad Nacional de San Luis. Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias. 7 p.

50. MDN. DNM (Ministerio de Defensa Nacional. Dirección Nacional de Meteorología, UY). 2014. El verano 2014. (en línea). Montevideo. 4 p. Consultado 20 set. 2017. Disponible en <http://meteorologia.gub.uy/reportes/dcd/verano.pdf>
51. Melgar, R.; Vitti, G.; de Melo Benites, V. 2011. Fertilizando para altos rendimientos: soja en Latinoamérica. Berna, Instituto Internacional de la Potasa. 174 p. (Boletín IIP no. 20).
52. MGAP. OPYPA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Oficina de Programación y Política Agropecuaria, UY). 2017. Anuario OPYPA 2017. (en línea). Montevideo. 694 p. Consultado 20 ago. 2018. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/noticia/unidad-organizativa/oficina-de-programacion-y-politica-agropecuaria/13-07-2018/diea-presenta>
53. Modali, H. 2004. Dry matter accumulation by the start of seed filling as a criterion for yield optimization in soybean. *Agronomy Journal*. 88: 123-131.
54. 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. Entre Ríos, Argentina, Universidad Nacional de Entre Ríos. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Sección Ecofisiología y Climatología. pp. 83-86.
55. Murgio, M.; Fuentes, F.; Salines, L.; Soldini, D.; Vigna, A. 2012. Respuesta del rendimiento de cuatro cultivares de soja en diferentes fechas de siembra. Marcos Juárez, Córdoba, INTA. 7 p.
56. _____.; _____.; _____.; Formia, M.; Gassmann, F.; Bertone, R.; Lenzi, L. 2015. Fecha de siembra y grupos de madurez para la campaña 2014-15 en Marcos Juárez (ambiente con influencia de napa freática). Marcos Juárez, Córdoba, INTA. 11 p.
57. Neumaier, N.; Nepomuceno, A. L.; Farias, J. R. B.; Oya, T. 2000. Estadios de desenvolvimento da cultura da soja. In: Bonato, E. ed. *Estresses em soja*. Passo Fundo, EMBRAPA Trigo. pp. 21-34.

58. 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 Buenos Aires. Facultad de Agronomía. pp. 259-275.
59. _____. 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*. no. 44: 16-20.
60. Paredes, P.; Wei, Z.; Liu, Y.; Xu, D.; Xin, Y.; Zhang, B.; Pereira, L. S. 2015. Performance assessment of the FAO AquaCrop model for soil water, soil evaporation, biomass and yield of soybeans in North China Plain. *Agricultural Water Management*. 152: 57-71.
61. Pedersen, P.; Lauer, J. G.; 2004. Response of soybean yield components to management system and planting date. *Agronomy Journal*. 5: 1372-1381.
62. Sadras, V. O.; Ferreiro, M.; Gutheim, F.; Kantolic, A. 2000. Desarrollo fenológico y su respuesta a temperatura y fotoperíodo. *In*: Andrade, F. H.; Sadras, V. O. eds. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Buenos Aires, Argentina, Unidad Integrada (INTA Balcarce/UNMP. Facultad de Ciencias Agrarias). pp. 29-60.
63. _____. 2007. Evolutionary aspects of the trade-off between seed size and number in crops. *Field Crops Research*. 100: 125-138.
64. Salvagioti, F. 2009. Manejo de soja de alta producción. *Para Mejorar la Producción*. no. 42: 57-62.
65. _____.; Enrico, J. M.; Bodrero, M.; Bacigaluppo, S. 2010. Producción de soja y uso eficiente de los recursos. *Para Mejorar la Producción*. no. 45: 151-154.
66. Sebben, G.; Friza, S.; 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.
67. Setiyono, T. D.; Weiss, A.; Specht, J.; Bastidas, A. M.; Cassman, K. G.; Dobermann, A. 2007. Understanding and modeling the effect of temperature and daylength on soybean phenology under high-yield conditions. *Field Crops Research*. 100(2-3): 257-271.

68. Sinclair, T. R.; Neumaier, N.; Farias, J. R. B.; Nepomuceno, A. L. 2005. Comparison of vegetative development in soybean cultivars for low-latitude environments. *Field Crops Research*. 92(1): 53-59.
69. _____.; Salado-Navarro, L. R.; Salas, G.; Purcell, L. C. 2007. Soybean yields and soil water status in Argentina: Simulation analysis. *Field Crops Research*. 94(2): 471-477.
70. Toledo, R. E.; Rubiolo, O. J. 2008. Comportamiento de grupos de madurez III al VII sembrados en capilla de los remedios, cordoba. (Argentina) campañas 2002/03 al 2005/06. Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agrarias. 8 p.
71. _____.; Esteves, N.; Moya, G.; Ramallo, C. 2010. Respuesta productiva de soja según fecha de siembra en el centro de Córdoba, Argentina. Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agrarias. 9 p.
72. _____. 2013. Soja: su ecofisiología y manejo. (en línea). Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agrarias. 31 p. Consultado 20 oct. 2017. Disponible en <http://www.buscagro.com/www.buscagro.com/biblioteca/Ruben-Toledo/Soja-su-ecofisiologia-y-manejo.pdf>
73. _____. 2016. Algunos aspectos de la ecofisiología del cultivo de soja. (en línea). Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agrarias. 10 p. Consultado 20 oct. 2017. Disponible en <https://ansenuza.unc.edu.ar/comunidades/bitstream/handle/11086.1/1171/Algunos%20aspectos%20de%20la%20ecofisiologia%20del%20cultivo%20de%20Soja.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
74. Tuttolomondo, G.; Romagnoli, M.; Rosbasco, I.; Martignone, R. 2006. Respuesta de variedades de soja de los GM II al VIII en distintas fechas de siembra en el área de influencia de Zavalla. Rosario, Universidad Nacional de Rosario. Facultad de Ciencias Agrarias. 3 p.
75. Van Roekel, R. J.; Purcell, L. C.; Salmerón, M. 2015. Physiological and management factors contributing to soybean potential yield. *Field Crops Research*. 182: 86-97.
76. Ventimiglia, L.; Torrens Baudrix, L. 2015. Soja: efecto de la fecha de siembra, el grupo de madurez y la densidad de siembra. Pergamino, INTA. 8 p.

77. Villar, J.; Cencig, G. 2011. Productividad de cultivares de soja pertenecientes a diferentes grupos de madurez en cinco fechas de siembra, Rafaela, Santa Fe, 2010/11. Rafaela, INTA. Publicación Miscelánea. no. 121: 1-7.
78. Villasuso, E. 2015. Estrategias de crecimiento y generación del rendimiento potencial en ocho genotipos de soja (*Glycine max* (L.) Merr) que difieren en su grupo de madurez. Tesis Ing. Agr. Córdoba, Argentina. Universidad Nacional de Villa María. 44 p.