

*Universidad Nacional de Córdoba  
Facultad de Ciencias Agropecuarias  
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria  
Escuela para Graduados*

---

**VARIACIÓN DEL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD INDUSTRIAL DE  
SOJA (*GLYCINE MAX (L.) MERRIL*) ANTE CAMBIOS EN LA  
FECHA DE SIEMBRA Y EL GENOTIPO EN UN AMBIENTE CON  
NAPA FREÁTICA**

**LUIS FEDERICO PAGNAN**

Trabajo Final  
para optar al Grado Académico de  
Especialista en Producción de Cultivos Extensivos

**Córdoba - Año 2019**



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons  
Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.

**VARIACIÓN DEL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD INDUSTRIAL DE  
SOJA (*GLYCINE MAX (L.) MERRIL*) ANTE CAMBIOS EN LA  
FECHA DE SIEMBRA Y EL GENOTIPO EN UN AMBIENTE CON  
NAPA FREÁTICA**

**LUIS FEDERICO PAGNAN**

**Directora: Dra. M. Sc. Ing. Agr. Claudia Vega**

**Co-Directora: Ing. Agr. Alejandra Masino**

**Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Tribunal Evaluador**

**Dra. Ing. Agr. Vanina Davidenco**

.....

**Dr. Ing. Agr. Fernando Salvagiotti**

.....

**Ing. Agr. Esp. Adriana Rollán**

.....

**Presentación Formal Académica**

**4 de Octubre de 2019  
Facultad de Ciencias Agropecuarias  
Universidad Nacional de Córdoba**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi directora Dra. M. Sc. Ing. Agr. Claudia Vega y a la Ing. Agr. Alejandra Masino Co directora, por facilitarme información, conocimiento y sobre todo por su tiempo, dedicación y apoyo permanente, haciendo posible la realización de este trabajo.

A los evaluadores externos por el tiempo dedicado y los valiosos aportes realizados.

A mi familia y a Yanina, por el apoyo, la confianza y la motivación para poder llegar a esta instancia de mis estudios.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE TABLAS.....	<i>vi</i>
LISTA DE FIGURAS.....	<i>vii</i>
LISTA DE SIGLAS O ABREVIATURAS.....	<i>xi</i>
RESUMEN.....	<i>xii</i>
ABSTRACT.....	<i>xiii</i>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 IMPORTANCIA DE LA SOJA EN ARGENTINA.....	1
1.2 RENDIMIENTOS POTENCIALES Y ALCANZABLES.....	2
1.3 MECANISMOS ECO-FISIOLÓGICOS QUE DEFINEN EL RENDIMIENTO	3
1.4 MANEJO DEL GENOTIPO Y LA FECHA DE SIEMBRA SEGÚN CALIDAD	
AMBIENTAL.....	5
1.5 CALIDAD INDUSTRIAL, FACTORES DETERMINANTES DE LOS	
PORCENTAJES DE ACEITE Y PROTEÍNA .....	6
1.6 HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	9
1.7 OBJETIVO GENERAL.....	9
1.8 OBJETIVO/S ESPECÍFICOS.....	9
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>10</b>
2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ENSAYO.....	10
2.2 DETERMINACIONES.....	11
2.3 ANÁLISIS DE DATOS.....	12
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>13</b>
3.1 DISPONIBILIDAD HÍDRICA Y DINÁMICA DE LA NAPA FREÁTICA.....	13
3.2 RADIACIÓN Y TEMPERATURA.....	13
3.3 DESARROLLO FENOLÓGICO.....	15
3.4 VARIACIÓN DE LA CALIDAD DEL AMBIENTE DURANTE EL	
PERIODO R3-R6 ANTE CAMBIOS EN LA FECHA DE SIEMBRA.....	17
3.5 RENDIMIENTO Y COMPONENTES NUMÉRICOS.....	19
3.6 CALIDAD INDUSTRIAL, CONTENIDOS DE ACEITE Y PROTEÍNA.....	27
<b>4. DISCUSIÓN.....</b>	<b>35</b>

4.1 CAMBIOS EN LA CALIDAD AMBIENTAL DURANTE EL PERIODO CRÍTICO DEBIDOS AL MANEJO COMBINADO DEL GENOTIPO Y LA FECHA DE SIEMBRA.....	35
4.2 RENDIMIENTO, COMPONENTES NUMÉRICOS Y SU RELACIÓN CON LAS CONDICIONES AMBIENTALES EN LA ETAPA R3-R6.....	37
4.3 VARIACIÓN EN LA CALIDAD INDUSTRIAL ANTE CAMBIOS EN EL AMBIENTE DURANTE EL LLENADO DE GRANOS.....	41
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>42</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>44</b>
<b>7-ANEXO.....</b>	<b>52</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de los componentes de la varianza del rendimiento de cinco genotipos de soja sembrados en seis fechas de siembra (septiembre a enero) en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.....	19
Tabla 2. Rendimientos en grano ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de cinco genotipos de soja cultivados en seis fechas de siembra en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.....	20
Tabla 3. Componentes de la varianza de los parámetros de calidad industrial del grano de cinco cultivares sembrados en seis fechas de siembra desde septiembre a enero en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.....	28
Tabla 4. Porcentaje promedio de aceite y proteína de cinco cultivares de soja pertenecientes a los GM III y IV sembrados en seis fechas desde septiembre a enero en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.....	28
Tabla 5. Porcentaje de proteína en el grano de cinco cultivares de soja sembrados en seis fechas desde septiembre a enero en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.....	29
Tabla 6. Porcentaje de aceite en el grano de cinco cultivares de soja sembrados en seis fechas desde septiembre a enero en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.....	30
Tabla 7. PROFAT de cinco cultivares de soja sembrados en seis fechas desde septiembre a enero en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba .....	33

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Precipitaciones diarias y variación de la profundidad de la napa freática desde septiembre de 2015 a abril de 2016.....	13
Figura 2. Evolución de la radiación global y la temperatura del aire promedio por década durante el período comprendido entre septiembre de 2015 y abril de 2016 y valores promedios del periodo 1968-2016. Datos de la estación meteorológica de la EEA INTA Marcos Juárez, provincia de Córdoba.....	14
Figura 3. Duración de las etapas de desarrollo: siembra-emergencia, emergencia-R1, R1-R5, R5-R8 en cinco genotipos de soja que difieren en la longitud de su ciclo, sembrados en seis fechas (septiembre a enero) en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.....	15
Figura 4. Duración del período siembra-R8 en cinco genotipos de soja que difieren en la longitud de su ciclo de desarrollo, sembrados en seis fechas de siembra desde septiembre a enero. Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.....	16
Figura 5. Duración del período R3-R6 en cinco genotipos de soja que difieren en la longitud de su ciclo de desarrollo, sembrados en seis fechas de siembra desde septiembre a enero. Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.....	16
Figura 6. Radiación global promedio en el período R3-R6 para cinco genotipos de soja de GM III y IV en función de la fecha de siembra. Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.....	17
Figura 7. Temperatura y fotoperiodo promedios en el período R3-R6 para cinco genotipos de soja de GM III y IV en función de la fecha de siembra. Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.....	18
Figura 8. Déficit de presión de vapor promedio en el período R3-R6 para cinco genotipos de soja que difieren en la longitud de su ciclo de desarrollo en función de la fecha de siembra. Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.....	19
Figura 9. Rendimientos promedios en función de la fecha de ocurrencia de R5 para cinco genotipos que difieren en la longitud de su ciclo de desarrollo, sembrados en	

seis FS desde septiembre a enero. Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.....	21
Figura 10. Relación entre el rendimiento y la fecha de siembra (expresada en días desde el 30/9) en cinco genotipos que difieren en la longitud de su ciclo de desarrollo, sembrados en seis fechas desde septiembre a enero. Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.....	22
Figura 11. Relación entre el número de granos (NG) y el rendimiento, en cinco genotipos de soja de GM III y IV, sembrados en seis FS desde septiembre a enero. Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.....	23
Figura 12. Relación entre la duración del periodo R3-R6 y la radiación fotosintéticamente activa incidente durante el mismo en cinco genotipos de soja de GM III y IV, sembrados en seis FS desde septiembre a enero. Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.....	24
Figura 13. Relación entre la duración del periodo R3-R6 (días) y el número de granos por m <sup>2</sup> en cinco genotipos de soja de GM III y IV, sembrados en seis FS desde septiembre a enero. Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.....	24
Figura 14. Relación entre la radiación fotosintéticamente activa incidente durante el periodo R3-R6 (MJ m <sup>-2</sup> ) y el número de granos por m <sup>2</sup> en cinco genotipos de soja de GM III y IV sembrados en seis FS desde septiembre a enero. Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.....	25
Figura 15. Relación entre el peso de 1000 granos alcanzado en madurez fisiológica (R8) y el rendimiento en cinco genotipos de soja de GM III y IV, sembrados en seis FS desde septiembre a enero (FS <sub>1</sub> = azul, FS <sub>2</sub> = amarillo, FS <sub>3</sub> = verde, FS <sub>4</sub> = gris, FS <sub>5</sub> = negro, FS <sub>6</sub> = rojo). Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.....	25
Figura 16. Relación entre el número de granos por m <sup>2</sup> y el peso de 1000 granos en cinco genotipos de soja de GM III y IV, sembrados en seis FS desde septiembre a enero (FS <sub>1</sub> = azul, FS <sub>2</sub> = amarillo, FS <sub>3</sub> = verde, FS <sub>4</sub> = gris, FS <sub>5</sub> = negro, FS <sub>6</sub> = rojo).	



Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.....	26
Figura 17. Relación entre el número y el peso de 1000 granos (g): a) a través de fechas de siembra desde septiembre a enero; b) por genotipo en las primeras cinco fechas de siembra. Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.....	27
Figura 18. Porcentaje de proteína del grano en función del rendimiento en cinco genotipos de soja que difieren en la longitud de su ciclo de desarrollo, sembrados en seis FS desde septiembre a enero. Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.....	29
Figura 19. Porcentaje de proteína del grano en función de la temperatura promedio durante el periodo R5-R8 en cinco genotipos de soja que difieren en la longitud de su ciclo de desarrollo, sembrados en seis FS desde septiembre a enero (FS1= azul, FS2= amarillo, FS3= verde, FS4= gris, FS5= negro, FS6= rojo). Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.....	30
Figura 20. Porcentaje de aceite del grano en función del rendimiento en cinco genotipos de soja de GM III y IV, sembrados en seis FS desde septiembre a enero. Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.....	31
Figura 21. Porcentaje de aceite del grano en función de temperatura promedio en el periodo R5-R8 (°C) en cinco genotipos de soja de GM III y IV, sembrados en seis FS desde septiembre a enero (FS <sub>1</sub> = azul, FS <sub>2</sub> = amarillo, FS <sub>3</sub> = verde, FS <sub>4</sub> = gris, FS <sub>5</sub> = negro, FS <sub>6</sub> = rojo). Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.....	32
Figura 22. Relación entre el porcentaje de aceite y el porcentaje de proteína del grano en cinco genotipos de soja de GM III y IV, sembrados en seis FS desde septiembre a enero. Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.....	33
Figura 23. Relación entre el rendimiento y el PROFAT (porcentaje de aceite + porcentaje de proteína del grano) en cinco genotipos de soja pertenecientes a los GM III y IV, sembrados en seis FS desde septiembre a enero. Ensayo conducido	

durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba..... 34

## **LISTA DE SIGLAS O ABREVIATURAS**

DPV: Déficit de presión de vapor

FS: Fecha de siembra

GM: Grupo de madurez

G: Genotipo

NG: Número de granos por m<sup>2</sup>

PC: Periodo crítico para la determinación del rendimiento

PG: Peso de 1000 granos (g)

PROFAT: Porcentaje de proteína + porcentaje de aceite

RAs: Rendimiento alcanzable en seco

RFAinc.: Radiación fotosintéticamente activa incidente

RP: Rendimiento potencial

## RESUMEN

La elección de la fecha de siembra (FS) y del genotipo (G) son las prácticas de manejo de mayor impacto sobre el rendimiento y la calidad industrial. La alta frecuencia de ambientes con napa freática en la zona pampeana Argentina presenta una oportunidad para minimizar brechas entre el rendimiento potencial limitado por agua y el alcanzable por productores. El objetivo de este trabajo fue analizar las bases eco-fisiológicas que determinan el rendimiento y la calidad en granos de genotipos de soja de diferente longitud de ciclo cultivados en distintos ambientes termo-fotoperiódicos resultantes de cambios en FS. Un experimento a campo fue implantado durante 2015-2016 en un sitio con presencia de napa freática en Monte Buey (Córdoba, Argentina). Cinco cultivares de soja (GM III corto a IV largo) fueron sembrados en seis FS (entre 30/09 y 12/01). La variación del rendimiento entre tratamientos fue explicada por cambios en el número de granos por m<sup>2</sup>. La FS, la interacción G\*FS y el G, explicaron 85, 3 y 1 %, respectivamente, de la variación del rendimiento. Ocho de quince combinaciones G\*FS exhibieron máximos rendimientos (5160 a 6056 kg ha<sup>-1</sup>). Los porcentajes de aceite y proteína se asociaron positiva y negativamente con el rendimiento, respectivamente. Combinaciones de FS\*G que ubicaron R5 alrededor de la primera y segunda década de enero maximizaron el rendimiento puesto que generaron una duración prolongada del período crítico y lo ubicaron tempranamente en ambientes con temperatura moderada, fotoperiodo largo y alto nivel de radiación solar incidente.

**Palabras clave:** grupo de madurez – período crítico – llenado de granos – calidad de granos

## ABSTRACT

The selection of planting date (FS) and genotype (G) are the management practices with the greatest impact on yield and industrial quality. The high frequency of environments with water table in the Pampas area of Argentina, presents an opportunity for growers to minimize the gaps between potential and water-limited yields. The objective of this work was to analyze the eco-physiological basis that determine yield and grain quality in soybean genotypes of different cycle length grown in different thermo-photoperiodic environments resulting from changes in FS. A field experiment was implemented during 2015-2016 at a site with a water table (Monte Buey, Córdoba, Argentina). Five soybean cultivars (GM III short to long IV) were planted in six FS (between 09/30 and 12/01). Yield variation among treatments was explained by changes in the number of grains per m<sup>2</sup>. The FS, the interaction G\*FS and the G, explained 85, 3 and 1%, respectively, of the variation in yield. Eight of fifteen G\*FS combinations exhibited maximum yields (5160 to 6056 kg ha<sup>-1</sup>). Oil and protein percentages were positively and negatively associated with yield, respectively. Combinations of FS\*G that located R5 around the first and second decade of January maximized yield since they generated a prolonged duration of the critical period and placed under environments with moderate temperature, long photoperiod and high level of incident solar radiation.

**Keywords:** maturity group - critical period - seed filling - grain quality

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. IMPORTANCIA DE LA SOJA EN ARGENTINA

Las recientes estimaciones de las Naciones Unidas (UN, 2015) indican que la población actual de 7300 millones crecerá a 9700 millones en el año 2050 y a algo más de 11000 millones a fin de siglo. En este contexto, la agricultura deberá cubrir gran parte de las necesidades alimenticias proyectadas, además de contribuir en otras actividades como la producción de biocombustibles y materias primas (FAO, 2013). Así, la producción de cultivos debe aumentar un 60% para 2050 para hacer frente a la creciente demanda de alimentos (Alexandratos y Bruinsma, 2012). En este sentido, los rendimientos de los cultivos pueden aumentar por incrementos en los rendimientos potenciales o por el cierre de la brecha entre los rendimientos reales y los potenciales (Andrade, 2017).

En Argentina, la soja constituye el principal producto agrícola nacional. La producción de la campaña 2016/2017 fue de 54.97 millones de toneladas sobre una superficie sembrada de 18.05 millones de hectáreas, determinando un rendimiento promedio nacional de 3044,4 kg ha<sup>-1</sup>. El principal destino de la soja argentina es el mercado externo, en donde el 76,8 % del total producido (42,2 millones de toneladas) es procesado por la industria aceitera y de producción de alimentos balanceados local. De este modo, el país está posicionado como primer exportador a nivel mundial de harina y aceite y como tercer exportador de poroto de soja (Ministerio de Agroindustria de la Nación, 2017).

Existe preocupación del sector industrial ante la caída en el porcentaje de proteína registrada en los últimos años, ya que la calidad de la materia prima a procesar cumple un rol fundamental en la definición de las propiedades del producto o subproducto final del proceso. El mercado exterior requiere harinas con 44% de proteína, denominadas “lowpro”, que se logran con un 40.35% de proteína sobre sustancia seca (Cuniberti *et al.*, 2006), y la calidad “hi-pro”, que tiene 46,5% de proteína con 11% de humedad, y es considerada la calidad estándar. La industria tiene dificultad para lograr esta última, ya que es necesario partir de una materia prima de mayor valor proteico (Cuniberti, *et al.*, 2004). Así, en la región núcleo sojera de Argentina, el porcentaje de proteína promedio para la campaña 2016/2017 fue de 36,6 (resultando el valor más bajo de los últimos 20 años) mientras que el porcentaje de aceite promedio fue de 23,3. Estos resultados

demuestran que actualmente la soja argentina tiene altos contenidos de aceite y bajos de proteína (Cuniberti *et al.*, 2017). La comercialización de la soja en el mercado interno no establece bonificaciones ni descuentos según el porcentaje de proteína. Esto explica por qué la proteína no es un factor de interés para los productores y tampoco un objetivo específico en los programas privados de mejoramiento genético. Sin embargo, la producción de harinas hi-pro a partir de soja de baja proteína determina la necesidad, previo al proceso de molienda, de reducir el contenido de humedad del grano y el descascarado del mismo, con el consecuente incremento en los costos de producción. Dichas razones indican que, a mediano o largo plazo, el contenido de proteína puede resultar un factor importante en la determinación del valor del grano y las negociaciones entre productor e industria (Cuniberti y Herrero, 2018).

Considerando aspectos del cultivo que determinan su adaptación a diferentes zonas de producción, el adecuado ajuste entre la duración de ciclo y la mejor oferta ambiental es uno de los principales aspectos que condiciona el rendimiento logrado (Richards, 1996; Passioura, 2002; Slafer, 2003; Pascale y Damario, 2004). Particularmente en el cultivo de soja (*Glycine max* L. Merrill), gran parte del éxito de su difusión inicial en la Argentina y en el mundo estuvo sustentado en la correcta valoración de los requerimientos del cultivo para cumplir su ciclo y una adecuada caracterización agro-climatológica de las diferentes regiones (Pascale, 1969; Remussi y Pascale, 1977; Pascale y Ravelo, 1989). La elección del genotipo (G) y la fecha de siembra (FS) representan las prácticas de manejo de mayor impacto puesto que determinan la calidad ambiental que experimenta el cultivo de soja durante su ciclo de desarrollo, por ende, el rendimiento y los parámetros de su calidad industrial. Aunque existen cuantiosos antecedentes de los efectos de la interacción entre el grupo de madurez y la fecha de siembra sobre el rendimiento del cultivo de soja (Baigorri *et al.*, 1997; 2002; Murgio *et al.*, 2011, 2012, 2014, 2015), son más escasos aquellos estudios que indagan en las relaciones entre determinantes del ambiente, la generación del rendimiento y la calidad. Un mejor conocimiento de estos aspectos puede servir de base al mejor manejo del cultivo incrementando la eficiencia en el uso de los recursos.

## **1.2. RENDIMIENTOS POTENCIALES Y ALCANZABLES**

El rendimiento potencial (RP) de un cultivo se define como el rendimiento obtenido por un G que crece en ambientes sin limitantes de agua y nutrientes, con mínimo o nulo

efecto de estrés biótico (plagas, malezas y enfermedades). En este sentido, para un G definido, el RP está determinado por la disponibilidad de CO<sub>2</sub>, la oferta de radiación solar y la temperatura del aire, denominados factores definidores del rendimiento (Van Ittersum y Rabbinge, 1997). El máximo rendimiento alcanzable en secano (RAs) es aquel obtenido con la mejor combinación de tecnologías de manejo y de insumos, pero limitado por déficits de agua en algún momento del ciclo de acuerdo al régimen hídrico del área (Lobell *et al.*, 2009). La diferencia de rendimiento entre RP y RAs representa la brecha de rendimiento mejorable a través de tecnologías que permitan un mejor aprovechamiento del agua. Es de destacar que, para un área y región determinada, la brecha entre ambos estará determinada en primer lugar por el potencial productivo, definido principalmente por las características del clima y suelo (Lobell *et al.*, 2009) que determinarán la variabilidad en los máximos rendimientos alcanzables y en segundo lugar por la magnitud y momento de ocurrencia de la restricción hídrica.

Estimaciones realizadas en distintas regiones de Argentina indican que los rendimientos reales alcanzan el 59% (trigo y maíz) y el 68% (soja) de los potenciales de secano (Aramburu Merlos *et al.*, 2015).

### **1.3. MECANISMOS ECO-FISIOLÓGICOS QUE DEFINEN EL RENDIMIENTO**

Dentro de los límites que definen la estación de crecimiento, un aspecto clave del manejo es que la ontogenia del cultivo esté sincronizada con la disponibilidad de recursos, evitando la coincidencia de condiciones desfavorables con las etapas más críticas del ciclo (Lawn y Imrie, 1994). La identificación de los estados de desarrollo que definen el rendimiento resulta, por lo tanto, indispensable para definir tanto la adaptación del cultivo al ambiente como para establecer su rendimiento potencial.

En soja, el período más crítico para la definición del rendimiento abarca los estadios de floración, fructificación y comienzos del llenado de granos incluyendo, aproximadamente, la fase R4-R6 (Egli, 1998; Kantolic *et al.*, 2004). La duración de la fase R4-R6 es regulada por la temperatura y el fotoperíodo y está directamente relacionada con los componentes numéricos que definen el rendimiento potencial. Los días largos aumentan la duración de las fases y, por ende, el número de semillas y vainas. Dicho efecto se debe al aumento en la producción de nudos y, en segundo lugar, debido al aumento en las vainas por nudo, sin cambiar el número de semillas por vaina (Guiamet y Nakayama, 1984; Morandi *et al.*, 1988; Kantolic y Slafer, 2001; Kantolic *et al.*, 2013;



Nico *et al.*, 2015). Extensiones artificiales del fotoperíodo durante las fases posteriores a la floración mostraron incrementos en la radiación interceptada acumulada y el número de semillas (Kantolic y Slafer, 2005; Kantolic *et al.*, 2013). Asimismo, estudios recientes mostraron un efecto fotoperiódico directo adicional (es decir, independiente de la radiación interceptada acumulativa) relacionado con una mayor producción de nudos y, por ende, número de semillas cuando los días fueron largos (Nico *et al.*, 2015).

Por otro lado, numerosos estudios mostraron que el número de semillas, principal componente de rendimiento, está limitado por la tasa de crecimiento durante el período crítico (Egli, 1999, 1998, 2004; Egli y Bruening 2006). En resumen, cuando no existen limitaciones de nutrientes o de agua, el rendimiento de soja tenderá a ser máximo en la medida que i) la fase pre-floración sea suficientemente larga como para garantizar la producción de un índice de área foliar que permita una captura plena de la radiación incidente durante el período crítico (Kantolic, 2008 a); ii) el período crítico coincida con condiciones de fotoperíodo largo y óptima radiación solar y temperatura, que aumentan la tasa de crecimiento del cultivo. Por lo tanto, aquellas prácticas de manejo que expongan a un cultivar adaptado a períodos de alta radiación solar, fotoperíodos largos y temperatura óptima por el mayor tiempo posible serán los de mayor eficiencia para la construcción del rendimiento en grano (Vega y Salas, 2012).

En áreas templadas, que presentan un patrón estacional bien definido de radiación solar y temperatura, los cultivares de ciclo más largo presentan un menor índice de cosecha que los de ciclo más corto (Schapaugh y Wilcox, 1980; Egli, 1997; Edwards y Purcell, 2005) e, incluso, menos rendimiento potencial (Heatherly y Elmore, 2004; Baigorri, 2004). Estas evidencias sugieren que, a medida que la precocidad de un cultivar sea mayor y su floración se adelante hacia principios del verano, el rendimiento potencial tenderá a incrementarse debido a las mejores condiciones de radiación y temperatura durante el período crítico. Otros estudios, sin embargo, han mostrado que los rendimientos de cultivares de ciclo corto son similares, y no mayores que los de ciclo más largo (Egli, 1993; Egli y Bruening, 2000; Edwards *et al.*, 2003). Un aumento en la tasa de crecimiento durante el período crítico puede ser contrabalanceado con una disminución en la duración de la fase reproductiva, de forma tal que el crecimiento total durante el período crítico no se modifique (Kantolic, 2008 a).

La correcta combinación del grupo de madurez y la fecha de siembra constituye el aspecto fundamental a considerar en la planificación del cultivo. Las reducciones en el

rendimiento por retrasos en el momento de implantación resultan de la incidencia de la radiación, la temperatura y el fotoperiodo sobre la fenología y la acumulación de materia seca (Andrade *et al.*, 2002; Otegui y López Pereira 2003). El retraso en la fecha de siembra ubica el periodo reproductivo en condiciones de menor radiación y temperatura. No obstante, siembras muy tempranas pueden resultar en un lento crecimiento inicial y un menor tamaño del canopeo debido al efecto de bajas temperaturas (Murgio *et al.*, 2015). La fecha de siembra óptima es la que maximiza crecimiento y partición reproductiva durante el período crítico (Vega y Salas, 2012). En este sentido, elecciones de FS y G incorrectas pueden determinar longitudes de ciclo extremadamente cortas con pérdidas de rendimiento potencial; o demasiado largas exponiendo, por ende, al cultivo a ambientes con escasa radiación durante el llenado de granos. Asimismo, una inadecuada combinación FS-G puede ubicar el período crítico (PC) en condiciones ambientales desfavorables con alta probabilidad de ocurrencia de estreses (i.e. hídrico, térmico). Tales combinaciones pueden aumentar, por ende, la brecha entre el rendimiento potencial limitado por agua y el alcanzable por los productores, sobre todo en ambientes de alta calidad como aquellos con influencia de napa freática.

#### **1.4. MANEJO DEL GENOTIPO Y LA FECHA DE SIEMBRA SEGÚN CALIDAD AMBIENTAL**

En la Región Pampeana Norte, ubicada entre los 30° y 36° de latitud sur, se concentra la mayor producción de soja de la Argentina, siendo posible el uso de cultivares de los grupos de madurez (GM) III al VII. Diversos estudios demuestran que la combinación de FS y cultivar debería realizarse según la calidad ambiental (precipitaciones, presencia de napa freática, condiciones edáficas, régimen térmico y radiación; Baigorri *et al.*, 1997; Baigorri, 2002, 2004, 2009). Así, en ambientes de calidad media a alta (con bajas probabilidades de ocurrencia de estrés hídrico) se utilizan cultivares de GM III como ciclo corto a medio y de GM IV como ciclo medio a largo. La recomendación más generalizada es iniciar la siembra de los cultivares de GM III a partir del 20 de octubre en ambientes de muy alta calidad. Las siembras con cultivares de GM IV pueden iniciarse entre principios a mediados del mes de octubre, siendo recomendable el uso de cultivares de mayor crecimiento vegetativo y ciclo más largo. En el caso de los cultivares de GM V corto, los de HC indeterminado son los más adaptados a las FS más tempranas del mes de octubre; mientras que, en las FS del mes de noviembre, es necesario implantarlos en ambientes de menor calidad para evitar el vuelco debido al mayor número

de entrenados. En ambientes de calidad media a baja, se utilizan cultivares de GM IV como ciclo corto, de GM V como ciclo medio y de GM VI como ciclo largo, que presentan mayor estabilidad de rendimiento, al retrasar el llenado de granos hacia un período con menor probabilidad de ocurrencia de estrés hídrico.

En los últimos años, la región pampeana se vio afectada por excedentes hídricos y ascenso de las napas freáticas (Bertram y Chiacchiera, 2014). Este proceso impactó sobre la productividad de los ambientes típicos de la zona (sudeste de Córdoba), ya que, dependiendo de la profundidad, la napa freática puede ser una fuente de agua valiosa para los cultivos, o un factor de estrés, determinando disminuciones de rendimiento por pérdida de superficie productiva, anoxia de raíces y ascenso de sales (Bertram y Chiacchiera, 2014; Nosetto *et al.*, 2009; Cisneros *et al.*, 2013). En ambientes del sur de la provincia de Córdoba, se determinó que el rango óptimo de profundidad promedio de la napa freática durante el ciclo de crecimiento está ubicado entre los 1,2 a 2,2 m. Cuando la profundidad resultó inferior, el rendimiento del cultivo manifestó un fuerte descenso (Nosetto *et al.*, 2009). En la actualidad, y debido a la alta frecuencia de ambientes con influencia de napa freática, es necesario estudiar en mayor profundidad las estrategias de manejo de la FS y el GM para maximizar los rendimientos.

### **1.5. CALIDAD INDUSTRIAL: FACTORES DETERMINANTES DE LOS PORCENTAJES DE ACEITE Y PROTEÍNA**

Los principales parámetros de calidad industrial del grano de soja corresponden al contenido de proteína y aceite. La suma de ambos determina el índice PROFAT, siendo el valor óptimo para las plantas procesadoras cercano a 61 % en base seca (Martínez y Cordone, 2015).

Los contenidos de proteína y aceite de los granos de soja son influenciados por efectos ambientales y genéticos (Cuniberti y Herrero, 2006; Carrera *et al.*, 2011). El efecto ambiental es un factor muy importante durante el período de desarrollo de los granos, ya que puede influenciar en el 58 % la expresión de proteína y en el 45 % la expresión del aceite (Cuniberti y Herrero, 2006). Se estima que la genética de las variedades actuales más difundidas influye en menor medida en la proteína (13%) y en el aceite (11%; Cuniberti *et al.*, 2011). En este sentido, en un estudio realizado durante las campañas 2005 a 2010, Cuniberti y Herrero (2012 a) lograron identificar cultivares que consistentemente se destacaron en el contenido de proteína, en el de aceite o en ambos parámetros. En cultivares de soja no transgénicos, Carrera *et al.*, (2014 a) identificaron otras

características relevantes (además del contenido de proteína y aceite) como isoflavonas y la composición de ácidos grasos. Dichos estudios permiten el uso alternativo de la soja como materia prima para otros usos, como en productos nutracéuticos.

En general, se ha reportado una correlación negativa entre el porcentaje de aceite y el porcentaje de proteínas del grano, así como entre el porcentaje de proteínas del grano y el rendimiento del cultivo (Soldini *et al.*, 1995; Hartwig y Kilen, 1991; Imsande, 1992; Burton, 1985; Cuniberti, 2004; Carrera *et al.*, 2009). Así, aumentos del porcentaje de proteínas del grano se asocian con menores rendimientos y porcentaje de aceite, y viceversa. Estas correlaciones son ciertas tanto para efectos genéticos como ambientales. Es decir, cualquier causa que provoque un aumento en el porcentaje de proteínas producirá una disminución en el porcentaje de aceite, y viceversa (Aguirrezábal y Andrade, 1998).

Las condiciones ambientales y de manejo, particularmente durante el llenado de las semillas, pueden afectar estas relaciones. El contenido de aceite se incrementa con la temperatura media diaria durante la etapa R5-R7 hasta un óptimo entre los 25 y 28 °C (Dornbos y Mullen, 1992). La temperatura tiene mayor efecto sobre el porcentaje de aceite sintetizado que sobre el de proteína (Cuniberti y Herrero; 2006). En este sentido, Westgate *et al.*, (1995) encontraron que, en ambientes frescos (temperaturas menores a 24 °C), la relación negativa entre aceite y proteína es muy fuerte, mientras que en ambientes más cálidos dicha relación puede resultar no significativa.

En Argentina, Cuniberti y Pérez (1997) encontraron que el porcentaje de aceite fue más alto en áreas de baja latitud (con altas temperaturas durante el período de llenado de la semilla) que en la región central y sur de Argentina. Por otro lado, en un análisis multi-ambiental en Argentina (Dardanelli *et al.*, 2006) se logró determinar que los GM cortos (II, III y IV) alcanzaron un contenido de aceite más alto que los GM largos (VI a VIII-IX). Dicho patrón constante observado a lo largo de temporadas y ambientes resultaría de los efectos de la temperatura, que es más alta durante el llenado de granos en los GM cortos. En cuanto al contenido de proteína, en dicho estudio se encontró que el efecto del GM fue menor que el efecto de la interacción entre éste y el ambiente, resultados que resaltan la oportunidad existente para explotar adaptaciones estrechas para este rasgo.

Por otro lado, la disponibilidad de recursos (principalmente nitrógeno y agua), pueden modificar la calidad química de los granos, aunque estos efectos son relativamente pequeños si se los compara con el impacto que tienen sobre el rendimiento y sus

componentes numéricos (Westgate *et al.*, 1995). Deficiencias de nutrientes minerales, exceptuando el nitrógeno, provocan mayores contenidos de proteína y menores de aceite (Weiss *et al.*, 1952; Leffel, 1961; Mangieri, *et al.*, 2006). En cuanto al déficit hídrico, el aceite resulta comparativamente más sensible que la proteína, ya que el porcentaje de compuestos nitrogenados permanece relativamente constante ante modificaciones en la dotación hídrica (Rose, 1988). También el momento y la duración de las deficiencias hídricas durante el llenado de los granos determinarán la composición final de la semilla. Se ha encontrado que la ocurrencia de deficiencias durante las etapas tempranas de llenado con condiciones posteriores favorables beneficia la acumulación de aceite; mientras que condiciones de sequías tardías favorecen la de proteína (Board *et al.*, 1995). En base a ensayos multiambientales en Argentina, Carrera *et al.*, (2009) determinaron que las funciones que relacionan las concentraciones de aceite y proteína con la temperatura media diaria promedio durante el llenado de granos (R5-R7) cambiaron con el déficit de agua. Cuando el déficit hídrico (estimado como la diferencia entre precipitaciones y evapotranspiración potencial) durante el período reproductivo (R1-R7) fue inferior a 70 mm, el aceite aumentó linealmente con el aumento de temperatura media durante R5-R7 y con el aumento del déficit hídrico. Mientras tanto, la proteína aumentó linealmente con la temperatura media durante R5-R7, pero disminuyó linealmente con el déficit de agua. El PROFAT mantuvo una relación lineal con temperatura media durante R5-R7 incluso bajo déficit de agua.

Cambios en la fecha de siembra también modifican la calidad del grano. Atrasos desde noviembre a enero aumentan la proteína y disminuyen el contenido de aceite (Cuniberti *et al.*, 2004; Dardanelli *et al.*, 2006). En la Región Pampeana Norte, el aceite disminuye 0.53 % y la proteína aumenta en promedio 0.45 % por cada mes de atraso desde octubre a enero (Herrero *et al.*, 1999; Cuniberti, *et al.*, 2000; Cuniberti *et al.*, 2004). Asimismo, ambientes cálidos (latitudes bajas, FS tempranas) serían adecuados para obtener productos con mayor concentración de aceite de baja capacidad de oxidación (mayor relación oleico: linolénico) y mayor contenido de vitamina; mientras que ambientes templados a fríos (latitudes altas, FS tardías) favorecerían una mayor concentración de proteína y aceite con mayor concentración de tocoferoles e isoflavonas totales y ácidos linoleico y linolénico (Carrera *et al.*, 2011). Estos resultados sugieren que la gestión de prácticas que modifican el ambiente térmico durante el llenado de granos (por ejemplo, selección de FS y sitios) podría contribuir a obtener granos de calidad

química deseada (Cuniberti *et al.*, 2004; Dardanelli *et al.*, 2006; Carrera *et al.*, 2011). A la fecha, sin embargo, a nivel de comercialización del grano, la práctica de mezcla diluye las características arriba mencionadas, aspecto que limita la competitividad de la soja argentina en el mercado internacional (Cuniberti y Herrero 2012 b).

Estos antecedentes se basaron en el análisis químico de muestras obtenidas en redes de ensayos RECSO en secano. Experimentos controlados, con diseños específicos para valorar la interacción GM\*ambiente permitirían establecer mejores conexiones entre los procesos que definen el rendimiento y la calidad en soja. Considerando, asimismo, la oportunidad que brindan algunos ambientes de la zona pampeana argentina por mayor disponibilidad hídrica, un mejor conocimiento permitiría disminuir brechas entre rendimientos potenciales limitados por agua y alcanzables por los productores aumentando paralelamente la eficiencia en uso de los recursos.

## **1.6. HIPÓTESIS DE TRABAJO**

En base a los antecedentes presentados, se plantearon las siguientes hipótesis:

Hipótesis 1. En ambientes con alta disponibilidad hídrica, ya sea por precipitaciones, influencia de napa freática o ambos, máximos rendimientos pueden ser logrados con la combinación indistinta de GM III o IV y FS tempranas (octubre) puesto que dicho manejo maximiza la radiación solar incidente durante la etapa crítica.

Hipótesis 2. La disminución del rendimiento ante atrasos de la fecha de siembra a partir de diciembre está explicada en mayor medida por disminuciones en el número que en el peso de granos, siendo este efecto independiente del grupo de madurez.

Hipótesis 3. Atrasos en la fecha de siembra disminuyen el rendimiento, aumentan la proteína y disminuyen el aceite del grano, siendo estos efectos más acentuados en los grupos de madurez largos.

## **1.7. OBJETIVO GENERAL**

Analizar las bases eco-fisiológicas de la determinación del rendimiento y la calidad en granos (en términos de proteína y aceite) en genotipos de soja cultivados en distintos ambientes termo-fotoperiódicos resultantes de cambios en la fecha de siembra, y con alta disponibilidad hídrica por presencia de napa freática.

## **1.8. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

En un ambiente sin limitantes hídricas:

1.8.1. Evaluar el cambio del rendimiento de cultivares de soja pertenecientes a los GM III y IV ante el atraso en la fecha de siembra (septiembre a enero), ponderando su impacto relativo sobre los componentes número y peso de granos.

1.8.2. Establecer asociaciones entre el rendimiento y factores que determinan la calidad del ambiente durante el periodo crítico.

1.8.3. Determinar la variación en la concentración de proteína, aceite y PROFAT en el grano ante cambios en el manejo de la fecha de siembra y el genotipo

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ENSAYO**

Se llevó a cabo un experimento a campo en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba, Argentina (Lat. 32° 55' S y Long. 62° 29' O, altitud 105 m), durante la campaña 2015-2016. El sitio experimental correspondió a un ambiente de media loma con bajo riesgo de anegamiento y napa freática ubicada a 1.1 m (determinado en FS<sub>1</sub>) y manejado bajo un esquema de rotación estabilizado (trigo/soja 2<sup>a</sup> - maíz - soja 1<sup>a</sup>). El suelo del sitio es un Argiudol típico serie Monte Buey (MB), perteneciente a la clase de capacidad de uso IIc (INTA, 1978).

Los factores experimentales fueron:

- Genotipo (G): cinco cultivares comerciales de soja pertenecientes al semillero Don Mario (DM), diferenciados por la longitud de su ciclo de desarrollo (DM 3312, GM III corto; DM 3810, III largo; DM 4214, IV corto; DM 4612, IV medio, y DM 4913, IV largo).
- Fecha de siembra (FS): seis niveles, 30 de septiembre (FS<sub>1</sub>), 19 de octubre (FS<sub>2</sub>), 6 de noviembre (FS<sub>3</sub>), 1 de diciembre (FS<sub>4</sub>) y 21 de diciembre del año 2015 (FS<sub>5</sub>) y 12 de enero del año 2016 (FS<sub>6</sub>).

El diseño experimental fue en parcelas divididas con arreglo en bloques completos aleatorizados (BCA) con tres repeticiones, siendo la parcela principal la FS y las sub-parcelas los cultivares.

Las unidades experimentales fueron de cinco surcos de 20 m de largo y distanciados a 0,525 m (superficie total de 52,5 m<sup>2</sup>). La siembra se realizó con una sembradora de dosificación neumática (Agrometal modelo Mini Mega), y la densidad objetivo fue de 34 plantas por m<sup>2</sup>.

Previo a la FS<sub>1</sub>, se realizó muestreo del suelo del ensayo mediante 30 muestras al azar de los primeros 20 cm del perfil que fueron mezcladas para la obtención de una única muestra compuesta. El análisis químico demostró que el contenido de materia orgánica fue de 2,66 %, y el del fósforo extractable (Bray y Kurtz, 1945) de 13,5 mg kg<sup>-1</sup>. El pH fue 6,02, y la conductividad eléctrica (en agua 1:2,5) fue 1,02 dS m<sup>-1</sup>. El contenido de materia orgánica fue 12,5 % más bajo al determinado en la descripción del perfil típico de la serie Monte Buey (INTA, 1978). El nivel de conductividad eléctrica corresponde a un suelo no salino (Lavado, 2010), mientras que el pH indica un suelo levemente ácido que no limitaría la disponibilidad de nutrientes (Álvarez y Rubio, 2010). El nivel de P determinado fue alto, en el rango de no respuesta a la fertilización (Díaz-Zorita, 2004; Gutierrez Boem *et al.*, 2006). En base a estos resultados, no se realizó aplicación de fertilizantes.

El ensayo se condujo bajo un control total de malezas, plagas y enfermedades.

## **2.2. DETERMINACIONES**

- Agua disponible a la siembra: mediante el método gravimétrico, se tomaron muestras por estratos cada 0.2 m hasta 1 m de profundidad al momento de la implantación de la FS<sub>1</sub>. Se determinó el agua disponible de cada estrato considerando la diferencia entre el porcentaje de humedad obtenido y el porcentaje en el punto de marchitez permanente (INTA, 1994).
- Profundidad de napa freática: se realizó el seguimiento de la dinámica de la napa freática a través de un freatómetro instalado en la parte central del sitio experimental.
- Fenología: se relevó la fecha de los estadíos VE, R1, R3, R5, R6 y R8 en 15 plantas tomadas al azar. Se utilizó la escala de Fehr y Caviness (1977) para la identificación de estadíos.
- Variables meteorológicas: se registraron las variables (temperatura, humedad, radiación solar global) durante todo el periodo de experimentación mediante una estación meteorológica ubicada a 41,7 km de distancia de las unidades experimentales. Las precipitaciones se registraron con un pluviómetro ubicado en el sitio experimental. El déficit de presión de vapor (DPV) se estimó a través de los datos de presión de vapor a saturación máxima y presión de vapor actual del



día, calculado en base a las temperaturas máximas y mínimas del aire, humedades relativas máximas y mínimas, según método de Allen *et al.*, (1998).

- Rendimiento y sus componentes (número y peso de granos). La cosecha fue escalonada a medida que cada unidad experimental alcanzó la madurez fisiológica. Se cosecharon 3 m lineales de surco por unidad experimental en forma manual, mientras que la trilla se llevó a cabo con una máquina trilladora estática marca Pullman. El rendimiento fue ajustado a 13.5 % de humedad.
- Calidad química: una muestra de 1000 g fue analizada en términos del porcentaje de aceite y proteína. Se utilizó un equipo multianalizador de tecnología infrarroja NIT (Infratec 1241, según Norma AACC 39-2; laboratorio de Calidad Industrial y Valor Agregado de Cereales y Oleaginosas de la EEA Marcos Juárez).

### **2.3. ANÁLISIS DE DATOS**

Los datos fueron analizados utilizando el software estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2016). Las variables se analizaron mediante análisis de la varianza. Se realizó la comparación de medias entre cultivares dentro de cada FS y de un mismo G en las diferentes FS mediante el test DGC ( $p < 0.05$ ).

Con el objetivo de establecer asociaciones entre variables y modelos de ajuste, se realizaron análisis de regresión. Para algunas variables (i.e. rendimiento vs FS, rendimiento vs NG), se compararon modelos lineales y polinómicos. Cuando el término cuadrático fue significativo, se optó por el modelo polinómico. La comparación de parámetros de modelos lineales o polinómicos ajustados a los factores fuentes de variación (genotipo o fecha de siembra) se realizó mediante evaluación de intervalos de confianza.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. DISPONIBILIDAD HÍDRICA Y DINÁMICA DE LA NAPA FREÁTICA

Al momento de implantación del experimento, el suelo se encontraba en capacidad de campo, conteniendo 101 mm de agua útil hasta los 0.6 m de profundidad. Por debajo de esta profundidad, los porcentajes de humedad resultaron superiores a capacidad de campo. En dicha fecha, la napa freática estaba ubicada a 1.1 m de profundidad.

Durante el período septiembre-abril, las precipitaciones totalizaron 920 mm y fueron superiores a la media histórica de este período (764 mm). La dinámica de la napa freática se caracterizó por oscilaciones dentro de un rango de 1.6 y 0.25 m de profundidad, con dos periodos muy marcados de ascenso (noviembre y febrero-marzo). Dicho efecto determinó que la posición final de la napa fuese a los 0.46 m de profundidad (Figura 1).

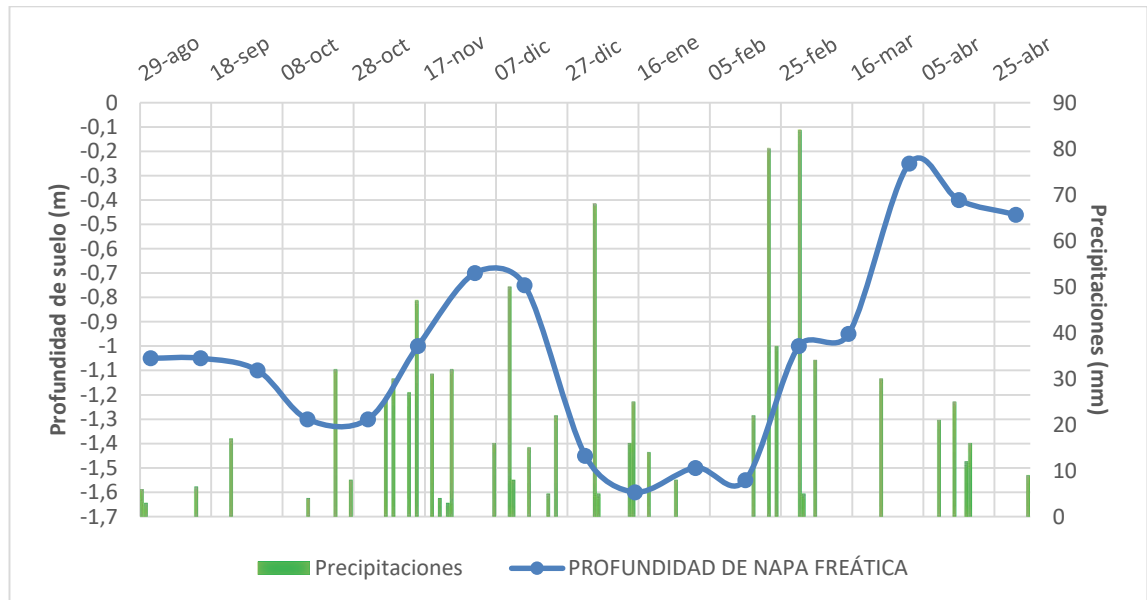


Figura 1. Precipitaciones diarias (barras) y variación de la profundidad de la napa freática (línea continua) durante septiembre de 2015 a abril de 2016. Mediciones en sitio experimental, localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.

La profundidad promedio de la napa freática durante el ciclo de desarrollo varió entre 1.24 y 0.92 m dependiendo de la combinación de GM y FS. Durante el periodo R3-R6, los valores promedios se ubicaron entre 1.03 y 1.54 m, excepto en FS<sub>6</sub> cuando la napa se ubicó a menor profundidad, entre 0.73 y 0.91 m (Tabla Anexo 1).

#### 3.2. RADIACIÓN SOLAR Y TEMPERATURA

La radiación solar incidente global alcanzó sus máximos valores durante el mes de diciembre y primeros días de enero, superando en algunos casos los 29 MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>, y

siendo, en promedio de  $24 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  durante diciembre y enero. Considerando el período de febrero a abril, la radiación solar disminuyó marcadamente de  $21,7$  a  $8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ . Durante abril, se registraron asimismo bajos niveles de radiación solar asociados con la predominancia de días con alta nubosidad (Figura 2).

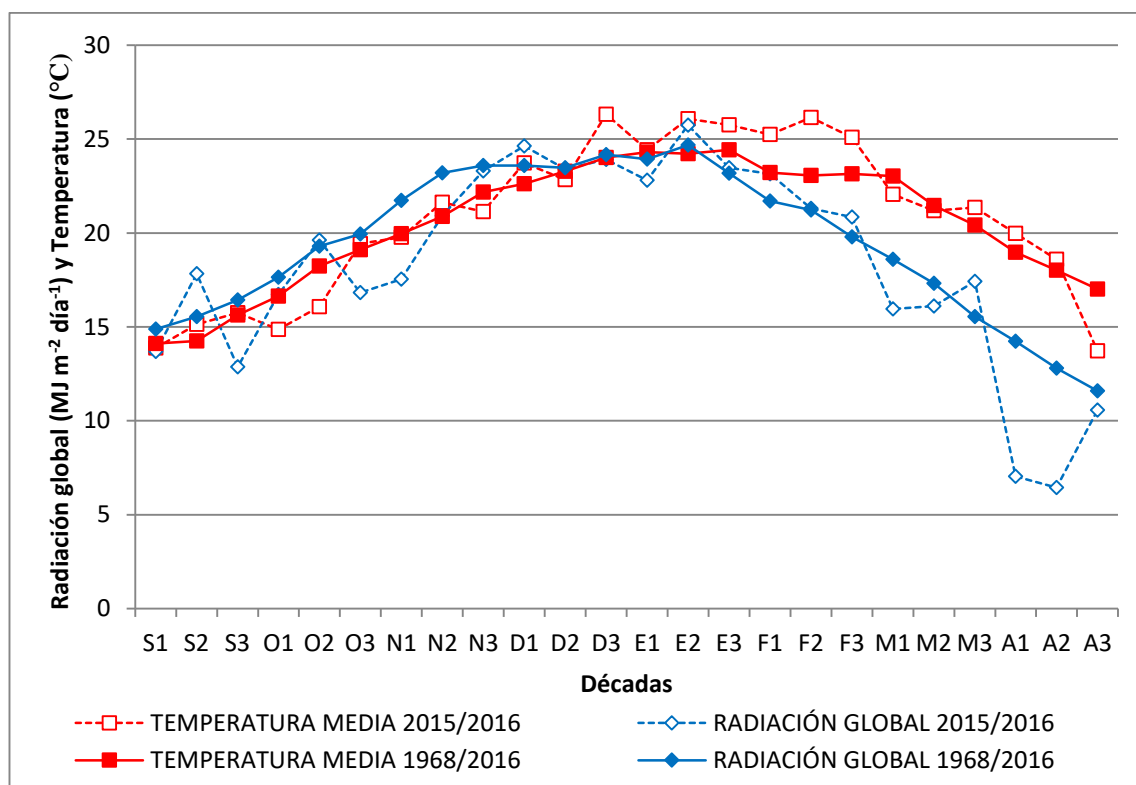


Figura 2. Evolución de la radiación global y la temperatura del aire promedio por década durante el período comprendido entre septiembre de 2015 y abril de 2016 y valores promedio del periodo 1968-2016. Datos de la estación meteorológica de la EEA INTA Marcos Juárez, provincia de Córdoba.

Durante enero y febrero se alcanzaron los máximos valores de temperatura media mensual, de  $25,4$  y  $25,5$  °C respectivamente. El descenso leve de la temperatura a mediados de febrero ocurrió en forma menos acentuada que el de la radiación solar.

Al comparar las condiciones meteorológicas de la campaña 2015/16 con los valores medios de la serie 1968-2016, no se determinaron diferencias considerables de la radiación global durante los meses de diciembre, enero y febrero. Sin embargo, ésta resultó inferior durante los meses de marzo y abril. En particular, durante la primera y segunda década de abril, la radiación fue un  $50,7$  y  $49,6$  % más baja que la media histórica respectivamente. En comparación con valores históricos de la serie 1968-2016, la temperatura media de la campaña resultó ser considerablemente inferior en las primeras

dos décadas de octubre, y superior en la última década del mes de diciembre y en los meses de enero y febrero (Figura 2).

### 3.3. DESARROLLO FENOLÓGICO DEL CULTIVO

El retraso en la FS determinó reducciones crecientes en el ciclo de desarrollo de todos los cultivares evaluados, disminuyendo la duración tanto del período vegetativo (Siembra-R1) como del reproductivo (R1-R8).

Las duraciones máximas y mínimas del período siembra-R8 fueron de 147 y 97 días; 151 y 100 días; 153 y 101 días; 156 y 107 días; 162 y 108 días para DM 3312, DM 3810, DM 4214 STS, DM 4612 y DM 4913, respectivamente (Figura 3).

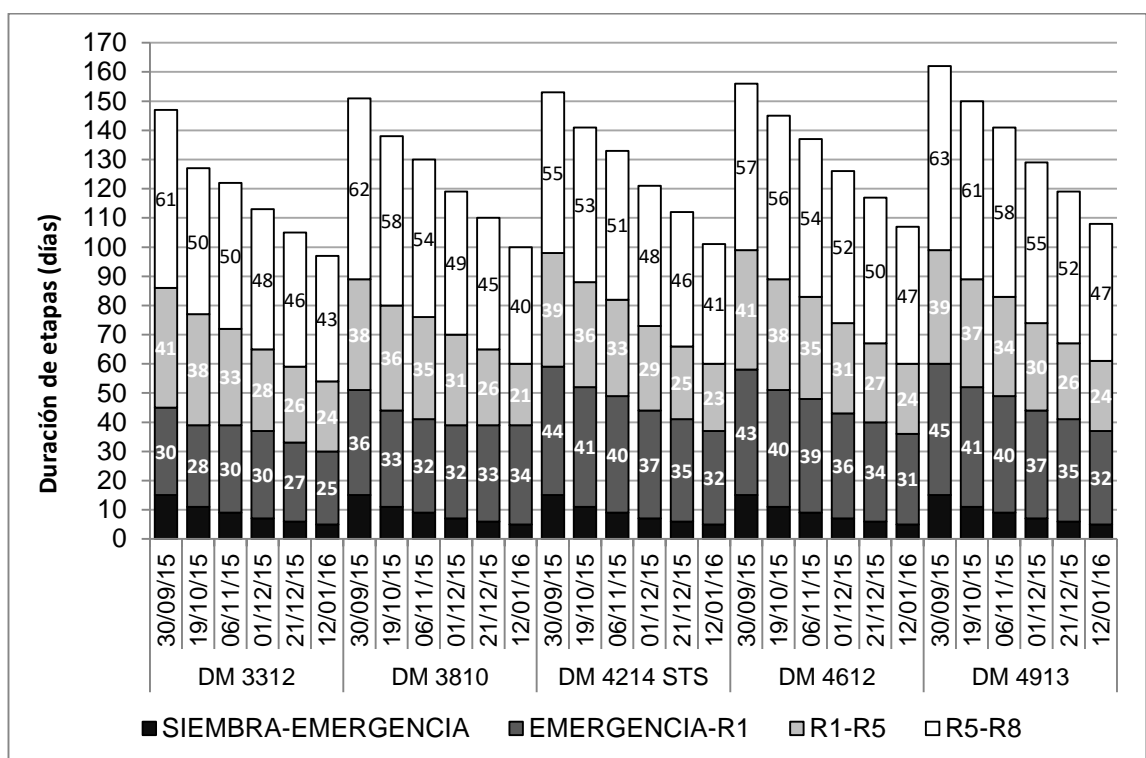


Figura 3. Duración de las etapas de desarrollo siembra-emergencia (emergencia-R1, R1-R5, R5-R8) en cinco genotipos de soja que difieren en la longitud de su ciclo, sembrados en seis fechas de siembra (septiembre a enero). Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.

La reducción promedio de la duración del ciclo de desarrollo por cada día de atraso en la FS fue de  $0,48 \pm 0,03$  días (Figura 4), no existiendo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre grupos de madurez. El período R3-R6 tuvo una longitud variable entre 32 y 47 días, disminuyendo en promedio 0,13 días por cada día de atraso en la FS.

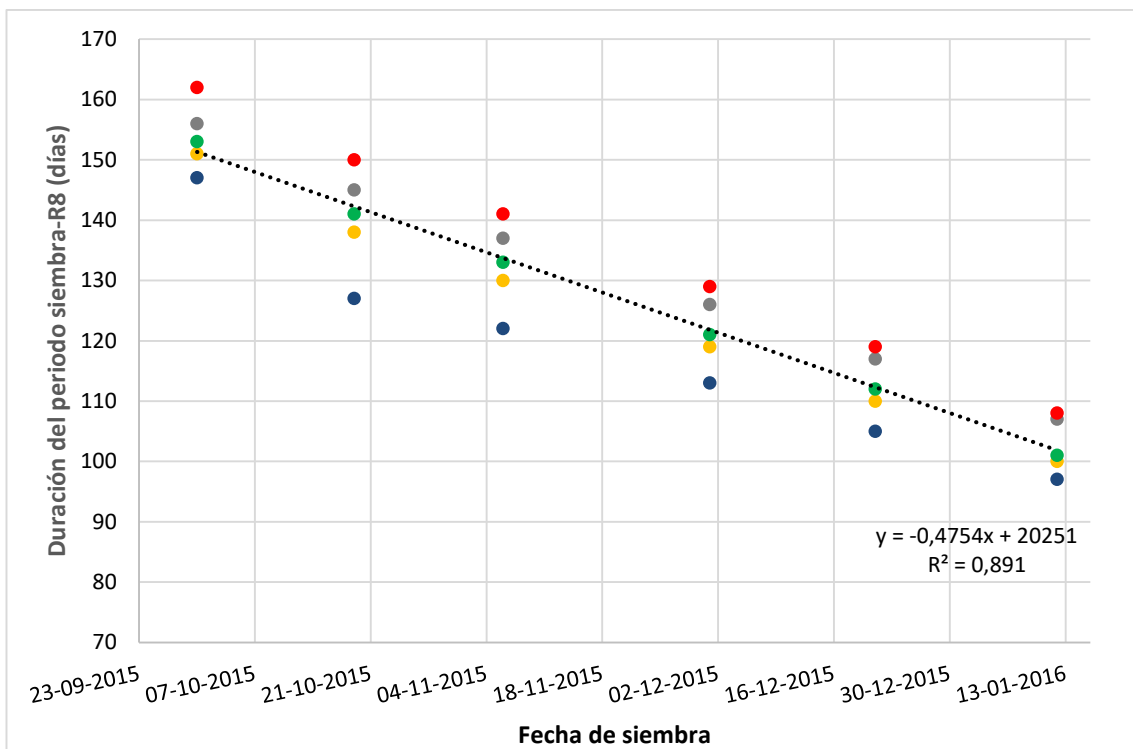


Figura 4. Duración del período siembra-R8 en cinco genotipos de soja que difieren en la longitud de su ciclo de desarrollo (DM 3312: azul, DM 3810: anaranjado, DM 4214: verde, DM 4612: gris y DM 4913: rojo), sembrados en seis fechas de siembra desde septiembre a enero. Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.

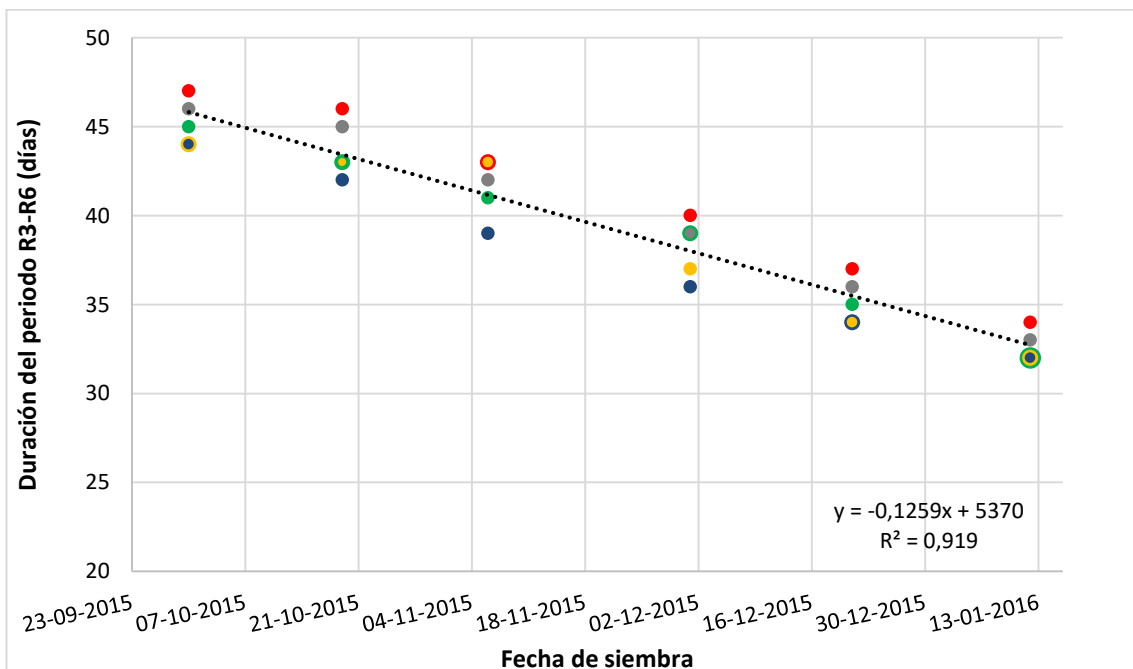


Figura 5. Duración del período R3-R6 en cinco genotipos de soja que difieren en la longitud de su ciclo de desarrollo, sembrados en seis fechas de siembra desde septiembre a enero. Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.

### 3.4. VARIACIÓN DE LA CALIDAD DEL AMBIENTE DURANTE EL PERÍODO R3-R6 ANTE CAMBIOS EN LA FECHA DE SIEMBRA

La combinación entre FS y cultivar definió la calidad ambiental en términos de disponibilidad de radiación solar, temperatura, demanda y oferta hídrica a la que estuvo expuesto el cultivo durante el período crítico para la definición del rendimiento (Tabla Anexo 1).

Con el atraso en la FS, la radiación solar global durante el período R3-R6 fue reducida en términos promedios desde 24,1 MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> (FS<sub>1</sub>) hasta 16,6 MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> (FS<sub>6</sub>). Sin embargo, la disminución entre FS<sub>1</sub> y FS<sub>3</sub> resultó mínima, siendo en promedio de sólo 0,54 MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> (Figura 6). A partir de FS<sub>3</sub>, los atrasos en la siembra disminuyeron significativamente la radiación solar incidente, observándose los menores valores en los cultivares de ciclo más largo (Figura 6) que posicionaron al período R3-R6 más tarde (Tabla Anexo 1).

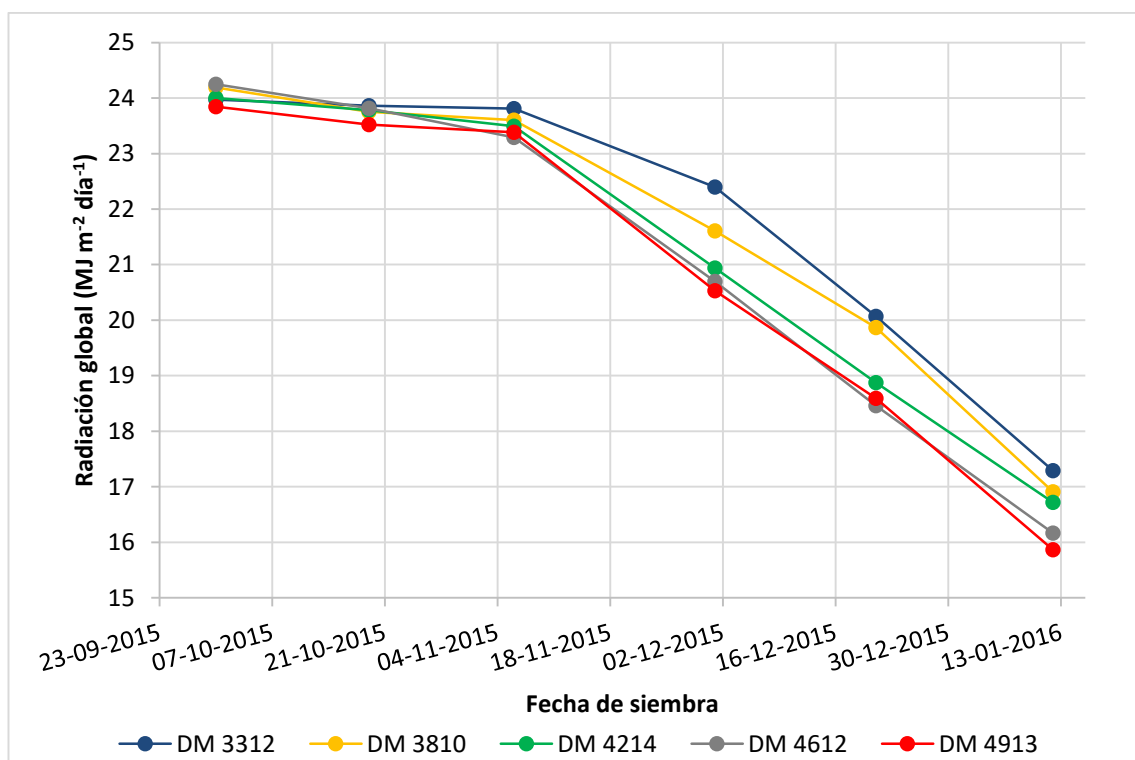


Figura 6. Radiación solar global promedio incidente durante el período R3-R6 en cinco genotipos de soja de GM III y IV cultivados en distintas fechas de siembra. Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.

Durante el periodo R6-R8 (duración promedio de 28 días), la RFAinc acumulada se redujo en 60-70 % desde FS<sub>1</sub> a FS<sub>5</sub>, y en 70-80 % en FS<sub>6</sub> (Tabla Anexo 1). Es probable que la disminución de la radiación solar incidente durante las primeras décadas de abril (50 % inferior a la media histórica, Figura 2) haya acentuado estos efectos.

La temperatura media durante el período R3-R6 presentó una respuesta curvilínea ante el atraso en la FS, alcanzando su máximo valor cuando los cultivares se sembraron el 6/11, excepto en el caso de DM 3312, en cuyo caso la temperatura media fue máxima en FS<sub>4</sub> (Figura 7).

Por su lado, el fotoperíodo promedio en el período R3-R6 se redujo en todos los casos con el atraso en la FS. A su vez, para una misma FS, el fotoperíodo se redujo a medida que la longitud del ciclo del cultivar fue mayor (Figura 7).

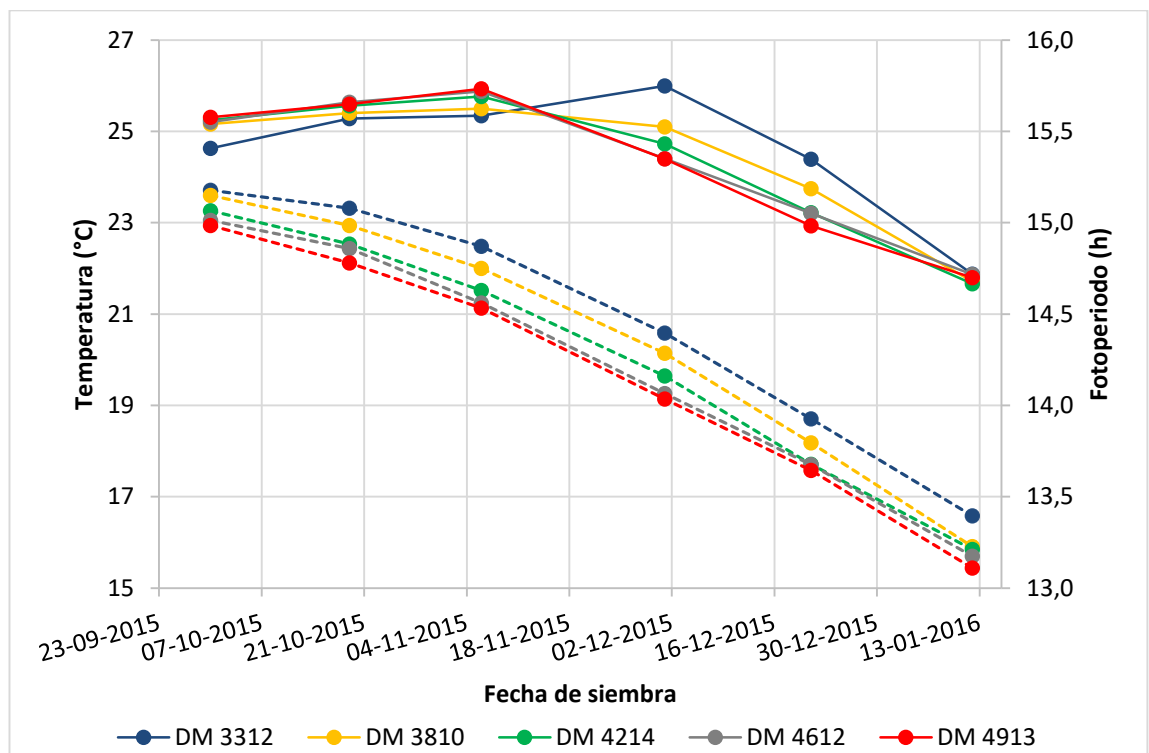


Figura 7. Temperatura (líneas continuas) y fotoperíodo (líneas discontinuas) promedio durante el período R3-R6 para cinco genotipos de soja de GM III y IV sembrados en distintas fechas de siembra. Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.

El DPV promedio durante el periodo R3-R6 alcanzó máximos y similares valores ( $1,45 \text{ kPa} \pm 0,023$ ) en las tres primeras FS; aunque para DM 3312, altos DPV persistieron incluso durante FS<sub>4</sub>. A partir de FS<sub>4</sub>, el DPV durante la etapa crítica disminuyó (Figura 8).

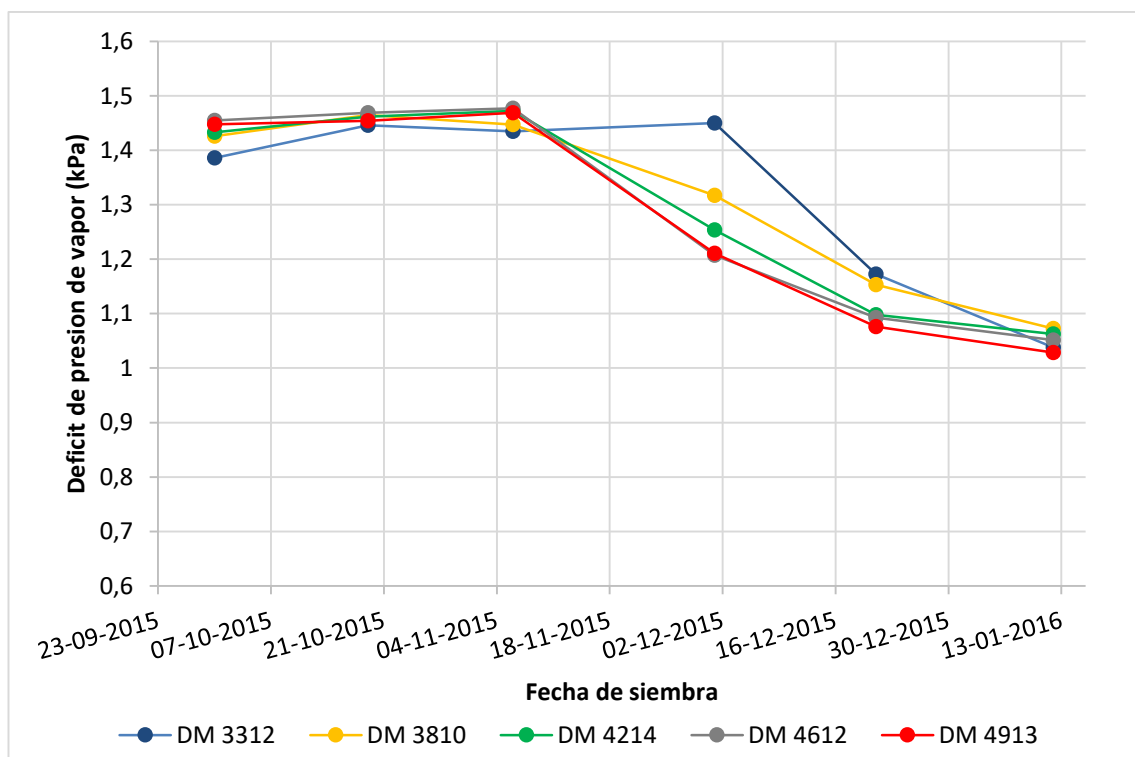


Figura 8. Déficit de presión de vapor durante R3-R6 para cinco genotipos de soja de GM III y IV en función de la fecha de siembra. Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.

### 3.5. RENDIMIENTO Y COMPONENTES NUMÉRICOS

El rendimiento promedio de los cinco cultivares en las seis FS evaluadas fue de 4113 kg ha<sup>-1</sup>. Las combinaciones de G y FS que alcanzaron el máximo y mínimo rendimiento obtuvieron 6056 y 1220 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente, siendo la brecha entre ambas de 4836 kg ha<sup>-1</sup>. Se encontraron efectos significativos ( $p < 0.05$ ) de la FS, el G y la interacción entre ambos factores sobre el rendimiento. Sin embargo, la FS fue el factor de mayor impacto, explicando el 85.38 % de la variación del rendimiento. G y G\*FS sólo explicaron el 0.95 y el 3.36 % de la varianza del rendimiento, respectivamente (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis de los componentes de la varianza del rendimiento de cinco genotipos de soja de GM III y IV sembrados en seis fechas de siembra (septiembre a enero) en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.

Componente	Porcentaje de varianza
Fecha de siembra	85,38
Genotipo	0,95
Fecha de siembra*Genotipo	3,36
Repetición	0,00
Residual	10,31



Es de destacar la alta calidad ambiental de la campaña que determinó rendimientos promedios superiores a 5000 kg ha<sup>-1</sup> en todos los cultivares sembrados en las primeras tres FS, destacándose las mejores combinaciones de G y FS con rendimientos de 5450 kg ha<sup>-1</sup>. Ocho de quince combinaciones G\*FS en las tres primeras fechas exhibieron máximos rendimientos en el rango de 5160 a 6056 kg ha<sup>-1</sup>, destacándose por ejemplo la combinación DM 3810 en FS<sub>2</sub> y DM 4214 en FS<sub>1</sub> (Tabla 2).

Tabla 2. Rendimiento en grano (kg ha<sup>-1</sup>) de cinco genotipos de soja cultivados en seis fechas de siembra en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.

	Fecha de siembra						PROMEDIO
	30/9/2015	19/10/2015	6/11/2015	1/12/2015	21/12/2015	12/1/2016	
DM 3312	4049 <sup>φ</sup> <b>B b</b>	5338 <b>A a</b>	5425 <b>A a</b>	4795 <b>A b</b>	3195 <b>B c</b>	1779 <b>A d</b>	<b>4096,8</b>
DM 3810	4681 <b>B b</b>	6056 <b>A a</b>	4873 <b>B b</b>	4465 <b>A b</b>	3368 <b>B c</b>	1220 <b>A d</b>	<b>4112,0</b>
DM 4214	5751 <b>A a</b>	5256 <b>A a</b>	4963 <b>B b</b>	4434 <b>A b</b>	3390 <b>B c</b>	1524 <b>A d</b>	<b>4219,7</b>
DM 4612	5159 <b>A a</b>	5418 <b>A a</b>	5202 <b>A a</b>	4380 <b>A b</b>	3908 <b>A b</b>	2103 <b>A c</b>	<b>4361,7</b>
DM 4913	4832 <b>B a</b>	4519 <b>B a</b>	4734 <b>B a</b>	4110 <b>A a</b>	3027 <b>B b</b>	1420 <b>A c</b>	<b>3773,7</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>4894,4</b>	<b>5319,2</b>	<b>5039,4</b>	<b>4436,8</b>	<b>3377,6</b>	<b>1609,2</b>	<b>4112,8</b>

<sup>φ</sup> Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre cultivares dentro de cada fecha de siembra y letras minúsculas en rojo indican diferencias significativas de rendimiento para un cultivar sembrado en distintas fechas de siembra. Comparaciones mediante test DGC a (p<0.05).

En términos promedios, FS<sub>2</sub> exhibió la mayor frecuencia de máximos rendimientos, y FS<sub>5</sub> y FS<sub>6</sub> los menores. Sin embargo, existieron interacciones significativas entre FS y genotipos. Así, las combinaciones que permitieron obtener los máximos rendimientos fueron: DM 4214 y DM 4612 en FS<sub>1</sub>, DM 3312, DM 3810, DM 4214 y DM 4612 en FS<sub>2</sub> y DM 3312 y DM 4612 en FS<sub>3</sub>. Se evidencia que ninguna de estas combinaciones incluyó al cultivar DM 4913.

El cultivar más precoz, DM 3312, maximizó rendimientos en FS<sub>2</sub> y FS<sub>3</sub>; mientras que DM 3810 maximizó su rendimiento en FS<sub>2</sub>. En estos genotipos, el rendimiento disminuyó significativamente (14 a 25%) con el adelanto de la FS al 30 de septiembre (Tabla 2). DM 4612 y DM 4913 maximizaron su rendimiento en las tres o cuatro primeras FS, respectivamente. DM 4214 evidenció disminución de rendimiento a partir de FS<sub>3</sub>.

Los máximos rendimientos del experimento se obtuvieron con aquellas combinaciones G\*FS que posicionaron el estadio R5 en enero (Figura 9a). Un único modelo de regresión cuadrático (Figura 9b) permitió establecer una estrecha asociación entre la fecha de ocurrencia de R5 y los rendimientos, independientemente de la combinación G\*GM. Dicho modelo explicó el 91.8 % de las variaciones del rendimiento y claramente permitió detectar que los máximos valores de rendimiento ocurrieron cuando R5 inició alrededor de la primera y segunda década de enero.

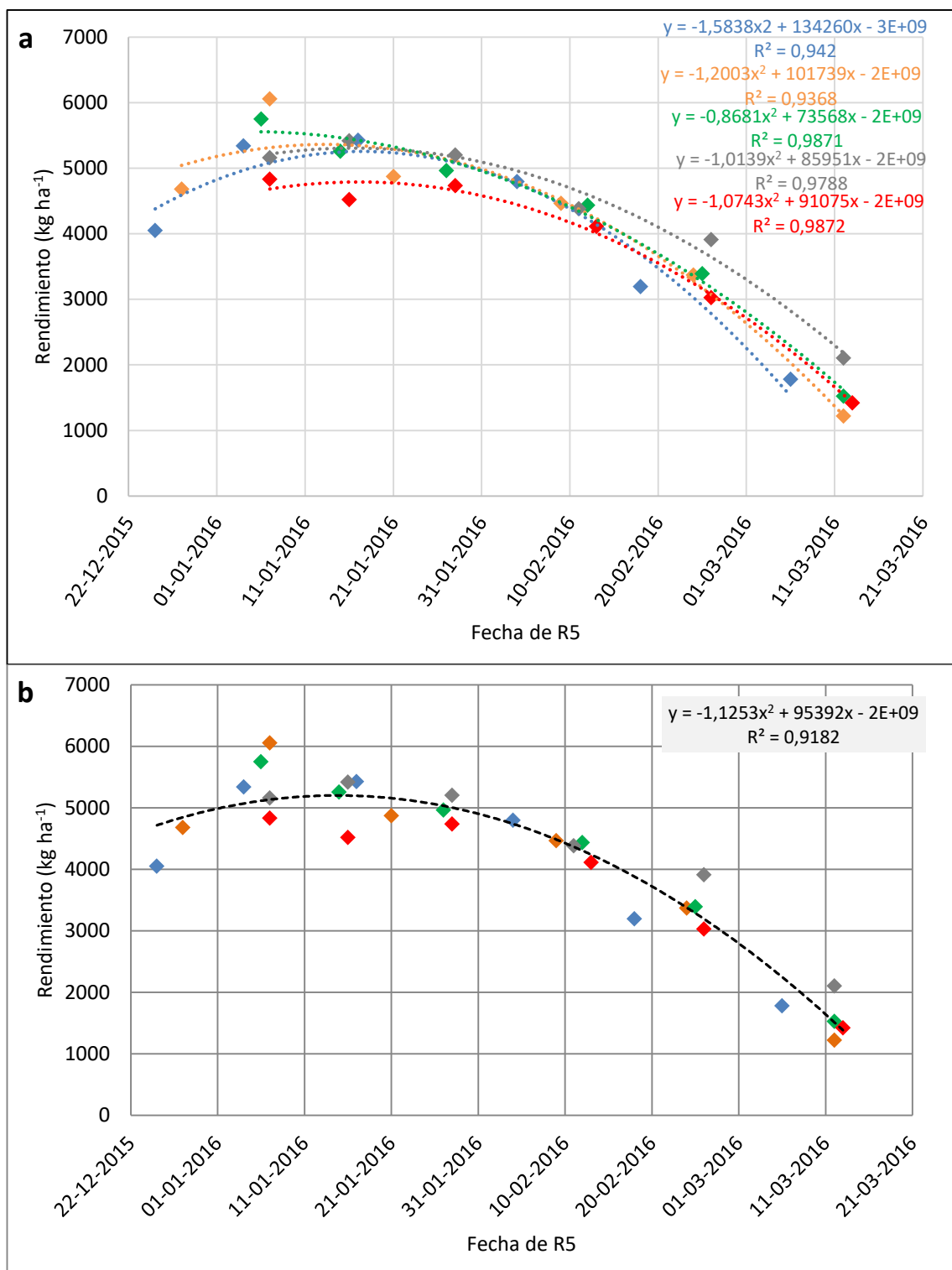


Figura 9. Rendimientos (kg ha<sup>-1</sup>) en función de la fecha de ocurrencia de R5 (comienzo de llenado de granos) en cinco genotipos que difieren en la longitud de su ciclo de desarrollo (DM 3312: azul, DM 3810: anaranjado, DM 4214: verde, DM 4612: gris y DM 4913: rojo), sembrados en seis FS desde septiembre a enero. a) Modelos individuales para cada G; b) modelo de regresión único incluyendo todos los G. Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.

Un modelo de regresión cuadrático permitió establecer una estrecha relación entre los rendimientos de los cinco G evaluados y la FS (Figura 10). De este modo, considerando todos los cultivares, el rendimiento sería máximo con siembras de la segunda y tercera década de octubre y la primera década de noviembre.

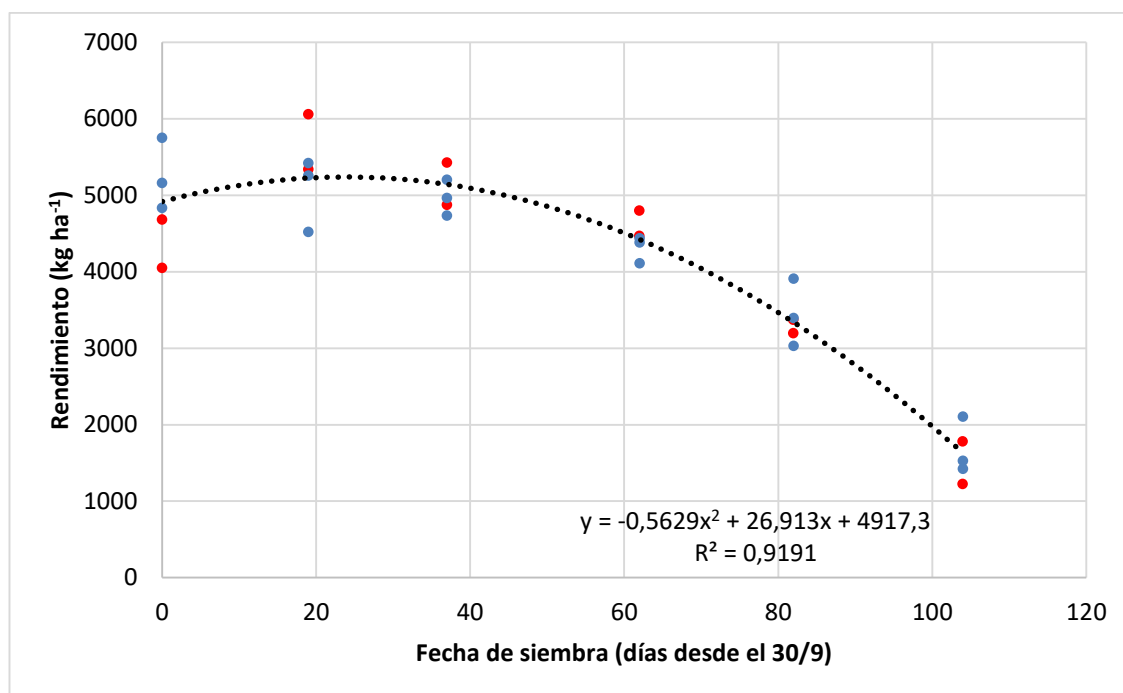


Figura 10. Relación entre el rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) y la fecha de siembra (expresada en días desde el 30/9) en cinco genotipos de soja (GM III: rojo; GM IV: azul), sembrados en seis fechas desde septiembre a enero. Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.

A su vez, el atraso en la FS determinaría pérdidas de rendimientos con tasas crecientes de  $15,3$  ( $\text{FS}_3$ ) a  $90,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$  ( $\text{FS}_6$ ). Sin embargo, a pesar de que los modelos según el GM no difirieron significativamente ( $p < 0,05$ ), se observaron tendencias con un comportamiento diferencial, así los G pertenecientes al GM IV obtendrían los mayores rendimientos en siembras durante el mes de octubre (con su máximo en la segunda década), mientras que los G pertenecientes al GM III maximizarían su rendimiento en siembras de la tercera década de octubre y primera década de noviembre. En los cultivares de GM IV, el rendimiento empezaría a descender levemente con atrasos en la FS a partir de la tercera década de octubre, mientras que en los cultivares de GM III el rendimiento comenzaría a descender a partir de la primera década de noviembre. A su vez, los cultivares de GM III presentarían una menor tasa de pérdida de rendimiento con atrasos de la FS hasta la segunda década de noviembre, siendo superior a partir de esa fecha a la de los pertenecientes al GM IV.

## Componentes numéricos de rendimiento

Tanto la FS, el cultivar como así también la interacción entre ambos factores determinaron efectos significativos ( $p < 0.05$ ) sobre el número y el peso de granos. El NG fluctuó entre 1042 y 4095 granos por  $m^2$  y presentó una relación cuadrática consistente con el rendimiento del cultivo. Así, el 97 % de la variación del rendimiento fue explicada por variaciones en el NG (Figura 11).

Al igual que en el rendimiento, el efecto del G sobre el NG fue bajo. Puesto que las variaciones en el NG fueron explicadas principalmente por los cambios en la FS.

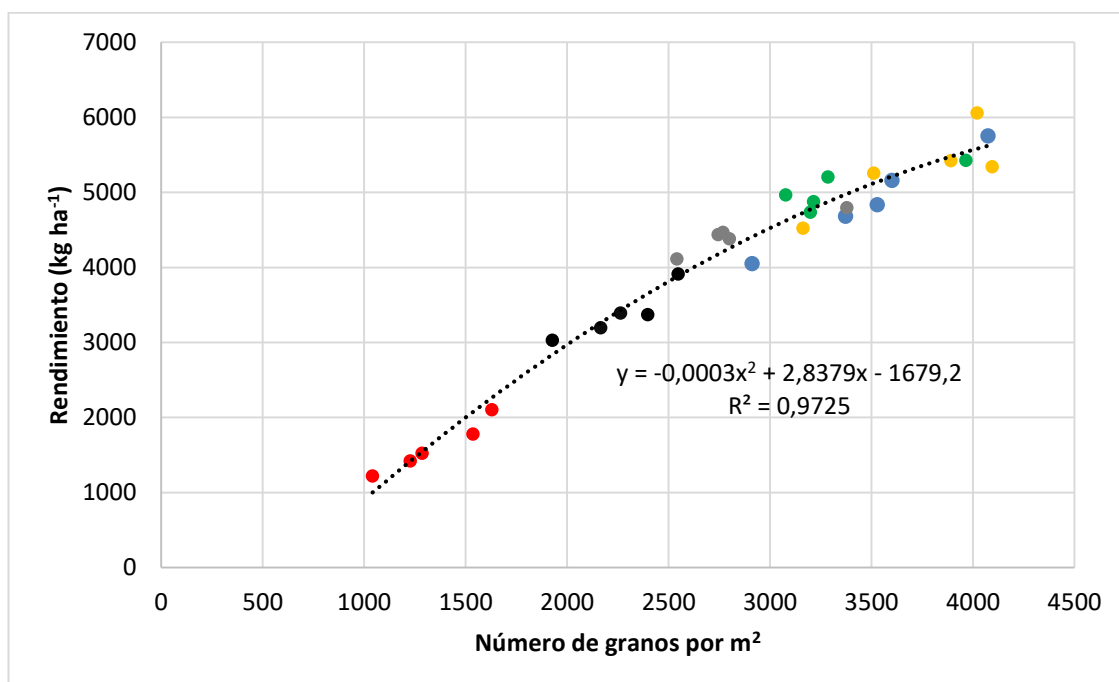


Figura 11. Relación entre el número de granos por  $m^2$  (NG) y el rendimiento ( $kg\ ha^{-1}$ ) para cinco genotipos de soja de GM III y IV, sembrados en seis fechas de siembra (FS) desde septiembre a enero (FS<sub>1</sub>= azul, FS<sub>2</sub>= amarillo, FS<sub>3</sub>= verde, FS<sub>4</sub>= gris, FS<sub>5</sub>= negro, FS<sub>6</sub>= rojo). Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.

Además de los conocidos efectos de disminución de la radiación solar a partir de diciembre (Figura 6), los atrasos en la fecha de siembra exacerbaban las disminuciones en la RFAinc ya que éstos disminuyeron la duración del periodo R3-R6 (Figura 12). Dichos efectos explicaron significativamente la variación en el NG (Figura 13). Así, la mayor duración del periodo R3-R6, independientemente de la combinación particular de un genotipo y fecha de siembra, explicó la mayor RFAinc capturada y el mayor NG (Figura 14).

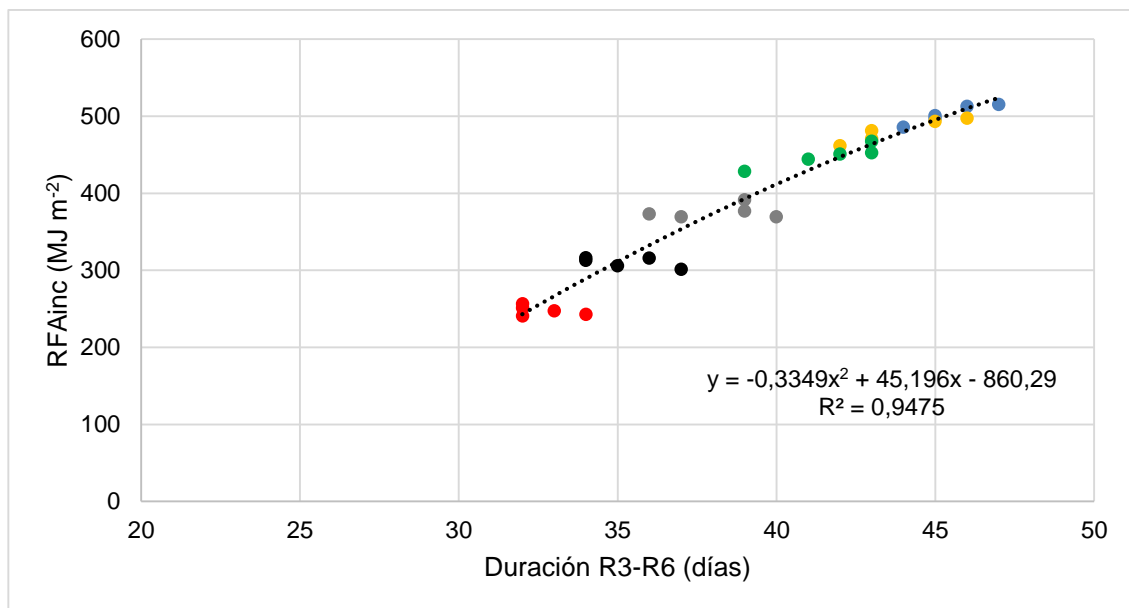


Figura 12. Relación entre la duración del periodo R3-R6 (días) y la radiación fotosintéticamente activa incidente ( $\text{MJ m}^{-2}$ ) acumulada durante el mismo en cinco genotipos de soja de GM III y IV. Colores indican seis FS desde septiembre a enero ( $\text{FS}_1$ = azul,  $\text{FS}_2$ = amarillo,  $\text{FS}_3$ = verde,  $\text{FS}_4$ = gris,  $\text{FS}_5$ = negro,  $\text{FS}_6$ = rojo). Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.

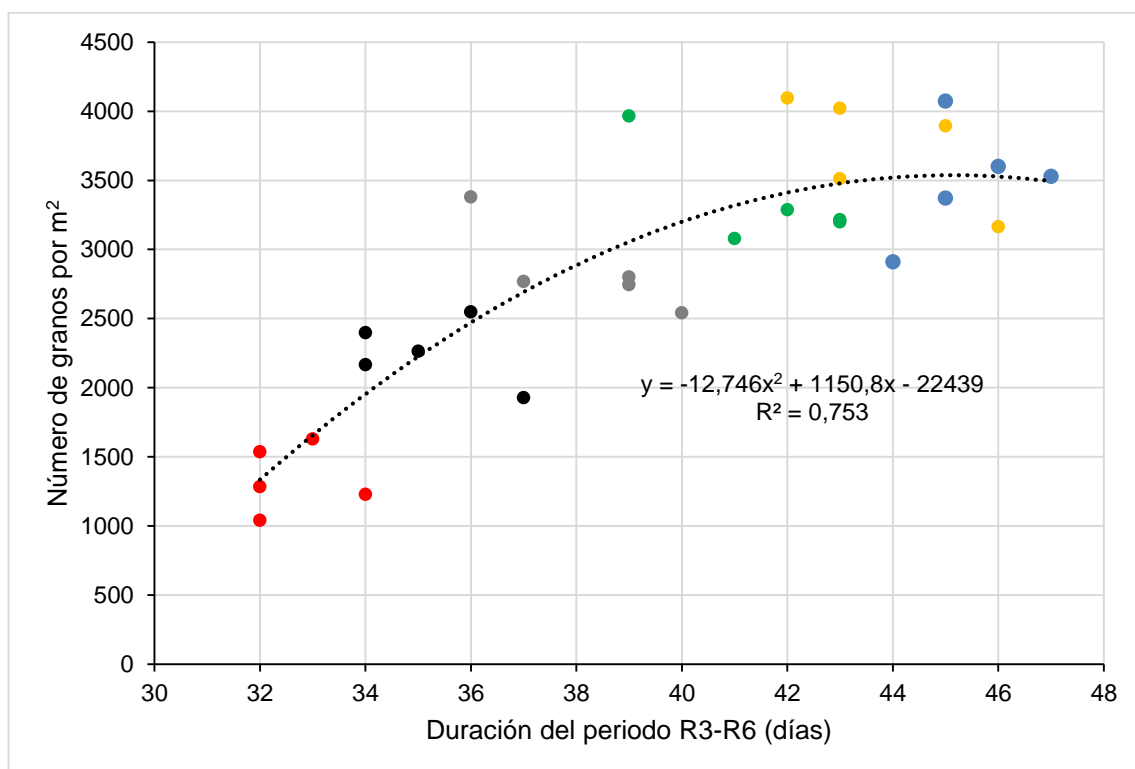


Figura 13. Relación entre la duración del período R3 - R6 (días) y el número de granos por  $\text{m}^2$  en cinco genotipos de soja de GM III y IV, sembrados en seis FS desde septiembre a enero ( $\text{FS}_1$ = azul,  $\text{FS}_2$ = amarillo,  $\text{FS}_3$ = verde,  $\text{FS}_4$ = gris,  $\text{FS}_5$ = negro,  $\text{FS}_6$ = rojo). Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.

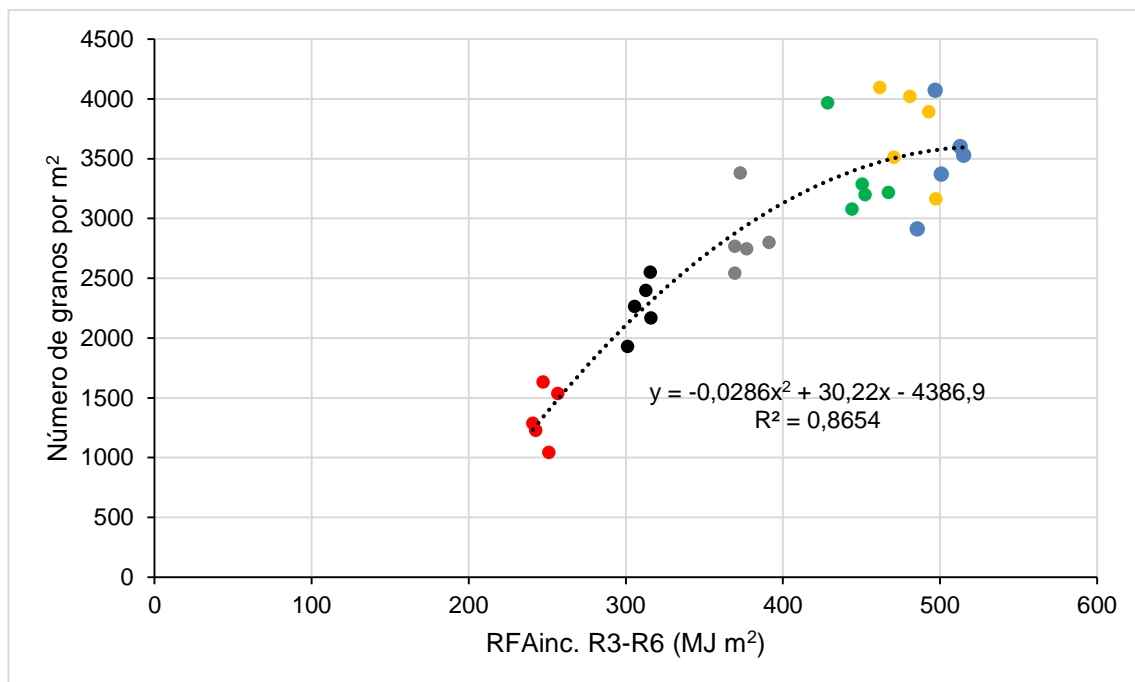


Figura 14. Relación entre la radiación fotosintéticamente activa incidente acumulada ( $\text{MJ m}^{-2}$ ) durante el periodo R3-R6 y el número de granos por  $\text{m}^2$  en cinco genotipos de soja de GM III y IV, sembrados en seis FS desde septiembre a enero ( $\text{FS}_1$ = azul,  $\text{FS}_2$ = amarillo,  $\text{FS}_3$ = verde,  $\text{FS}_4$ = gris,  $\text{FS}_5$ = negro,  $\text{FS}_6$ = rojo). Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.

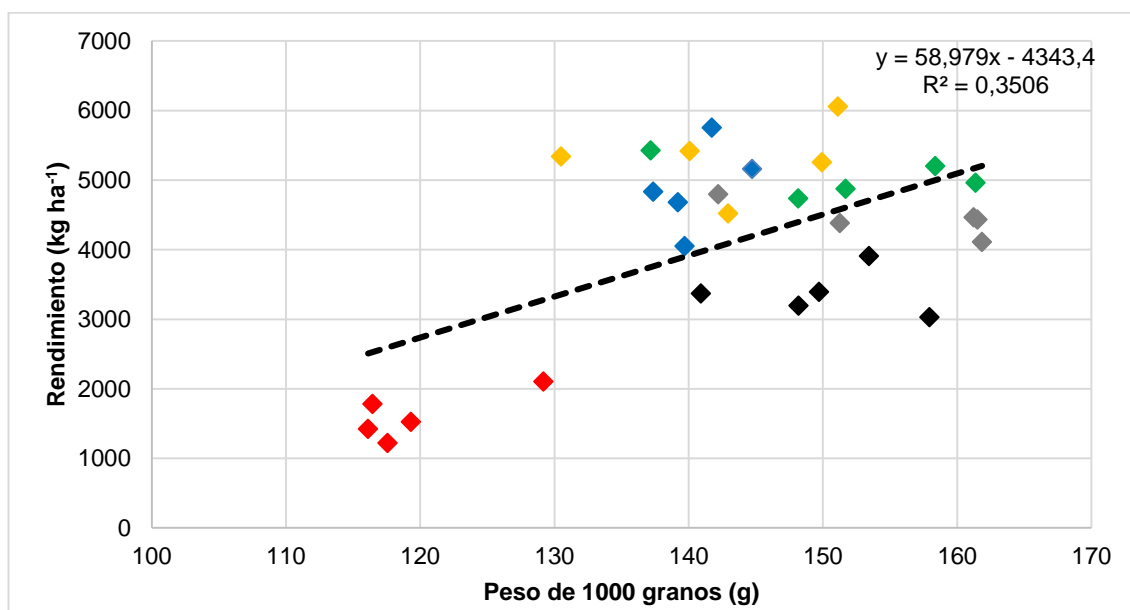


Figura 15. Relación entre el peso de 1000 granos (g) alcanzado en madurez fisiológica (R8) y el rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en cinco genotipos de soja de GM III y IV, sembrados en seis FS desde septiembre a enero ( $\text{FS}_1$ = azul,  $\text{FS}_2$ = amarillo,  $\text{FS}_3$ = verde,  $\text{FS}_4$ = gris,  $\text{FS}_5$ = negro,  $\text{FS}_6$ = rojo). Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.

El segundo componente del rendimiento, PG, fluctuó entre 116 y 162 g. Considerando todo el set de datos, explicó positivamente, pero en baja medida ( $R^2 = 0,35$ ) el rendimiento (Figura 15).

FS<sub>6</sub> no solo exhibió los valores más bajos de NG, sino también los menores PG (el promedio de los cinco cultivares fue 119,7 g) explicando los menores niveles de rendimiento obtenidos en este experimento. Las FS<sub>3</sub>, FS<sub>4</sub> y FS<sub>5</sub> no presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el PG, obteniendo un valor promedio de  $152,3 \pm 7,14$  g, asociados con valores de NG en general intermedios. FS<sub>1</sub> y FS<sub>2</sub>, obtuvieron un PG promedio de  $141,7 \pm 6$  g, asociado en general, a los valores de NG promedios más altos. En este sentido, se evidencia, entre fechas de siembra, que los mayores NG no estuvieron asociados a los PG máximos, sino levemente inferiores. Aunque a través de fechas de siembra, la relación entre componentes de rendimiento NG y PG se ajustó robustamente a un modelo cuadrático ( $R^2 = 0,66$ , Figura 16), es destacable resaltar que dicha relación fue positiva para la fecha más tardía y negativa para FS<sub>3</sub>, FS<sub>4</sub> y FS<sub>5</sub> ( $p < 0,05$ ) cuando se observó la típica relación de compensación entre componentes del rendimiento (i.e. a más NG, el PG tendió a ser menor; Figura 17a), no existiendo asociación en las FS<sub>1</sub> y FS<sub>2</sub> ( $p > 0,05$ ).

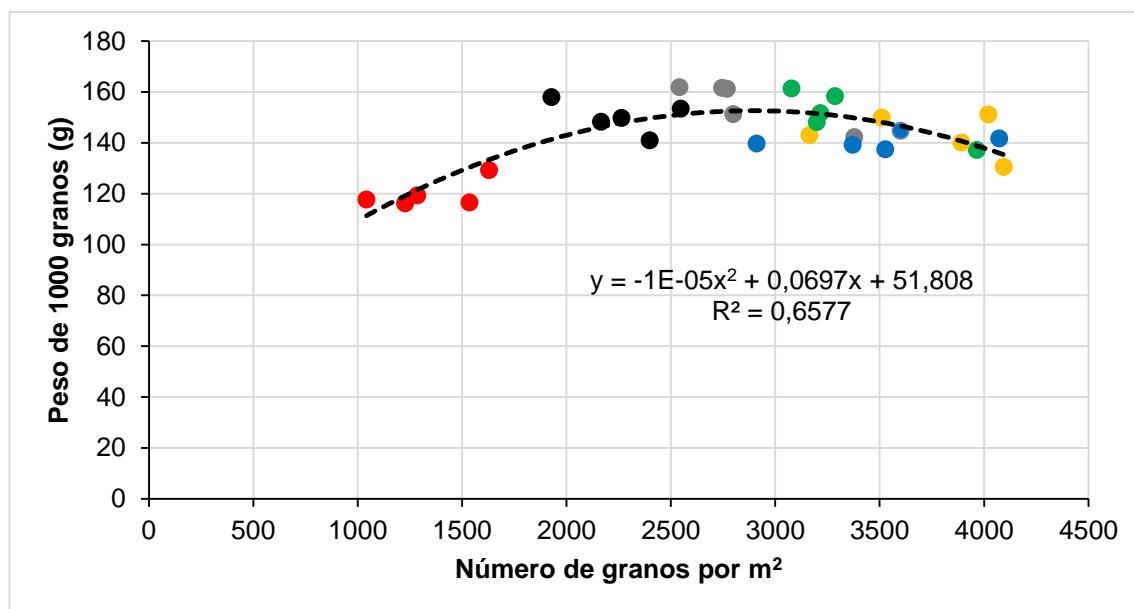


Figura 16. Relación entre el número y el peso de granos (g) a través de fechas de siembra en cinco genotipos de soja de GM III y IV. FS desde septiembre a enero (FS<sub>1</sub>= azul, FS<sub>2</sub>= amarillo, FS<sub>3</sub>= verde, FS<sub>4</sub>= gris, FS<sub>5</sub>= negro, FS<sub>6</sub>= rojo). Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.

A su vez, excluyendo FS<sub>6</sub>, la relación entre el PG y el NG resultó inversa en todos los G ( $p < 0.05$ ), excepto en DM 3810 que, si bien resultó negativa, no fue significativa ( $p > 0.05$ , Figura 17 b).

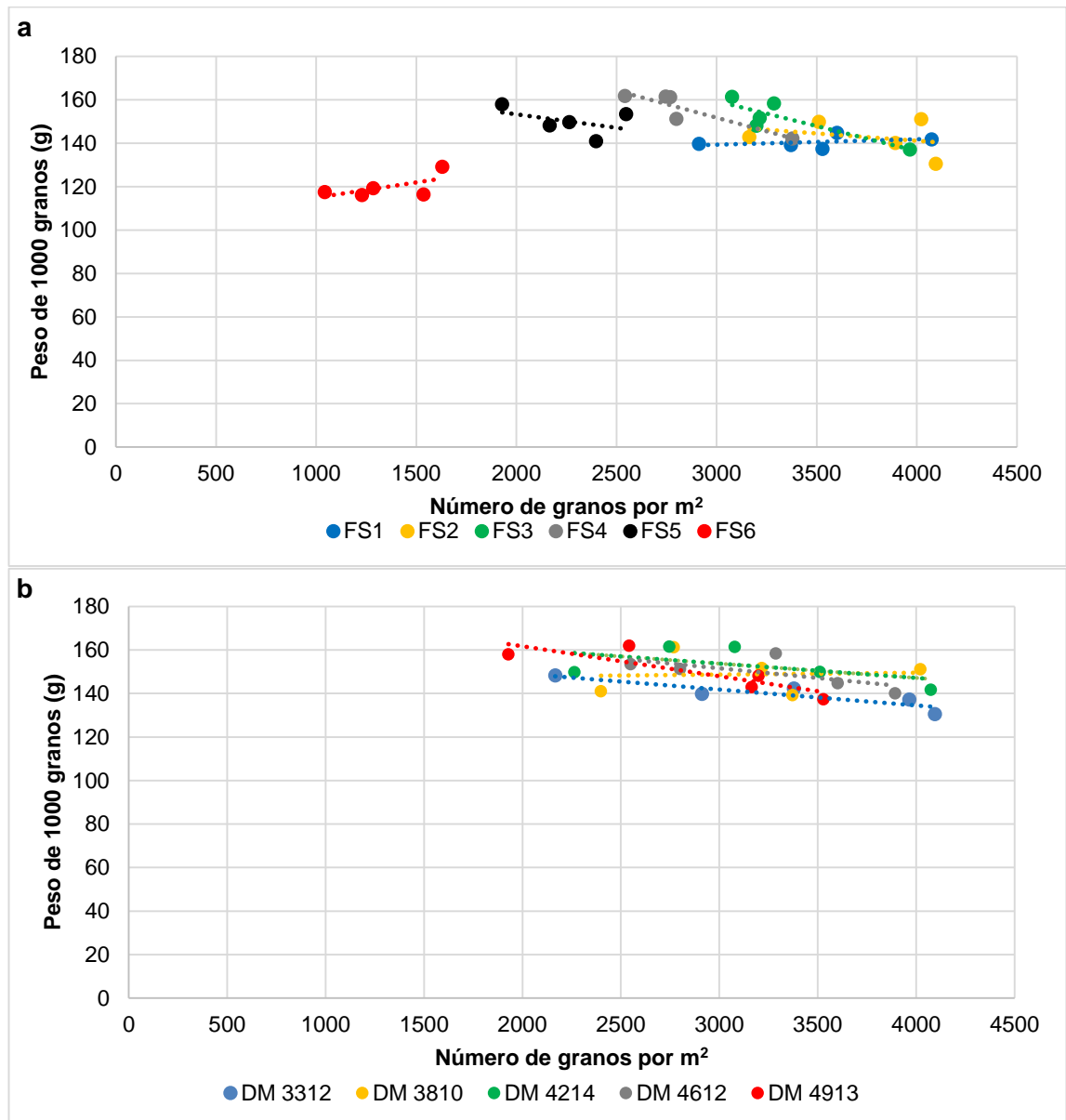


Figura 17. Relación entre el número y el peso de granos (g): a) a través de fechas de siembra desde septiembre a enero; b) por genotipo en las primeras cinco fechas de siembra. Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba. Excluyendo FS<sub>6</sub> y DM 3810, las relaciones entre PG y NG fueron inversas ( $p < 0.05$ ).

### 3.6. CALIDAD INDUSTRIAL, CONTENIDOS DE ACEITE Y PROTEÍNA

Las concentraciones de aceite, proteína y PROFAT variaron entre 17.5 y 26.4 %, 34.2 y 44.2 % y 59.1 y 62.6 % respectivamente. El G, la FS y la interacción entre ambos factores generaron efectos significativos ( $p < 0.05$ ) sobre estos parámetros. El análisis de los componentes de la varianza evidenció que, tanto para el porcentaje de proteína como



el de aceite, la FS resultó el factor de mayor importancia, explicando 87 y 93 % de sus variaciones, respectivamente; siendo el G y la interacción G\*FS de menor importancia (Tabla 3). En el caso de PROFAT, el efecto de la FS resultó bajo, mientras que la interacción G\*FS y el G explicaron el 49 y el 25 % de su variación, respectivamente.

Tabla 3. Componentes de la varianza de los parámetros de calidad industrial del grano de cinco cultivares sembrados en seis fechas de siembra desde septiembre a enero en la localidad de Monte Buey provincia de Córdoba.

Componente	Porcentaje de proteína	Porcentaje de aceite	PROFAT
Fecha de siembra	87,38	92,98	1,15
Genotipo	6,91	4,16	24,66
Fecha de siembra*Genotipo	1,37	1,75	46,89
Repetición	0,0	0,0	0,0
Residual	4,33	1.09	27,30

Para valorar aceite y proteína considerando como fuentes de variación la FS y el GM, se promediaron los G según el GM correspondiente. Así, la FS y el GM por separado, afectaron significativamente ( $p < 0.05$ ) la calidad del grano, siendo la FS el factor que más impacto tuvo sobre la misma (Tabla 4). Atrasos en FS incrementaron el porcentaje de proteína, pero redujeron el porcentaje de aceite. A pesar de que el efecto del GM fue relativamente menor, el GM IV exhibió un mayor porcentaje de proteína y un menor porcentaje de aceite.

Tabla 4. Porcentaje promedio de aceite y proteína de cinco cultivares de soja pertenecientes a los GM III y IV sembrados en seis fechas de siembra (FS) desde septiembre a enero en la localidad de Monte Buey provincia de Córdoba.

Fecha de siembra	Porcentaje de proteína	Porcentaje de aceite
FS <sub>1</sub>	35,49 d	25,26 a
FS <sub>2</sub>	35,67 d	25,04 a
FS <sub>3</sub>	36,73 c	24,61 b
FS <sub>4</sub>	37,25 bc	24,09 c
FS <sub>5</sub>	37,80 b	23,11 d
FS <sub>6</sub>	42,72 a	18,70 e
Grupo de madurez		
IV	37,84 a	23,26 b
III	37,26 b	23,78 a

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

#### Variación genotípica del porcentaje de proteína

Con excepción de las FS más tardías, el porcentaje de proteína varió entre genotipos. En términos promedio para los cinco G evaluados, el porcentaje de proteína

aumentó con el atraso en la FS, desde 35,49 (FS<sub>1</sub>) hasta 42,72 % (FS<sub>6</sub>), representando dicha variación un aumento de 20,3 % respecto a la FS inicial (Tabla 5).

Tabla 5. Porcentaje de proteína en el grano de cinco cultivares de soja sembrados en seis fechas desde septiembre a enero en la localidad de Monte Buey provincia de Córdoba.

	Fecha de siembra						PROMEDIO
	30/9/2015	19/10/2015	6/11/2015	1/12/2015	21/12/2015	12/1/2016	
DM 3312	34,43 B c	34,90 B b	35,77 B b	35,97 B b	36,67 B b	42,07 B a	36,64
DM 3810	36,10 A c	36,17 A c	36,13 B c	37,93 A b	38,13 A b	42,85 B a	37,89
DM 4214	36,57 A b	36,07 A b	37,87 A b	38,23 A b	38,20 A b	44,23 A a	38,53
DM 4612	34,83 B d	35,00 B d	36,10 B c	36,47 B c	37,27 A b	42,40 B a	37,01
DM 4913	35,50 A b	36,20 A b	37,80 A b	37,67 A b	38,70 A b	42,03 B a	37,98
<b>PROMEDIO</b>	<b>35,49</b>	<b>35,67</b>	<b>36,73</b>	<b>37,25</b>	<b>37,80</b>	<b>42,72</b>	<b>37,61</b>

ª Letras mayúsculas indican diferencias entre cultivares dentro de cada FS; letras minúsculas en rojo indican diferencias de cada cultivar entre FS. Test DGC ( $p < 0.05$ ).

El porcentaje de proteínas presentó una relación lineal negativa con el rendimiento del cultivo. Los mayores valores se obtuvieron en las combinaciones de G y FS conducentes a menores rendimientos y viceversa. La reducción promedio de la proteína fue de 1.7 puntos porcentuales por cada tonelada de incremento en el rendimiento (Figura 18).

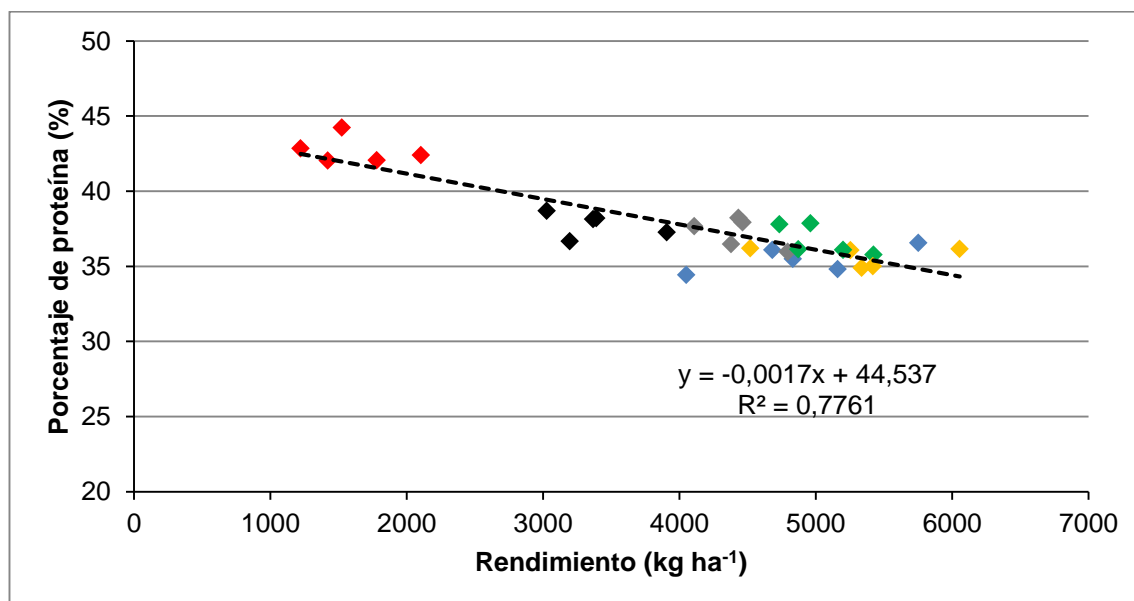


Figura 18. Porcentaje de proteína del grano en función del rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en cinco genotipos de soja pertenecientes a los GM III y IV, sembrados en seis FS desde septiembre a enero (FS<sub>1</sub>= azul, FS<sub>2</sub>= amarillo, FS<sub>3</sub>= verde, FS<sub>4</sub>= gris, FS<sub>5</sub>= negro, FS<sub>6</sub>= rojo). Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.

El porcentaje de proteínas presentó una relación estrecha y negativa con la temperatura promedio durante el llenado de granos (periodo R5-R8). Los menores valores se obtuvieron en siembras tempranas, asociados a las temperaturas más altas durante el

llenado, mientras que los mayores valores se obtuvieron en siembras tardías con temperaturas más bajas (Figura 19).

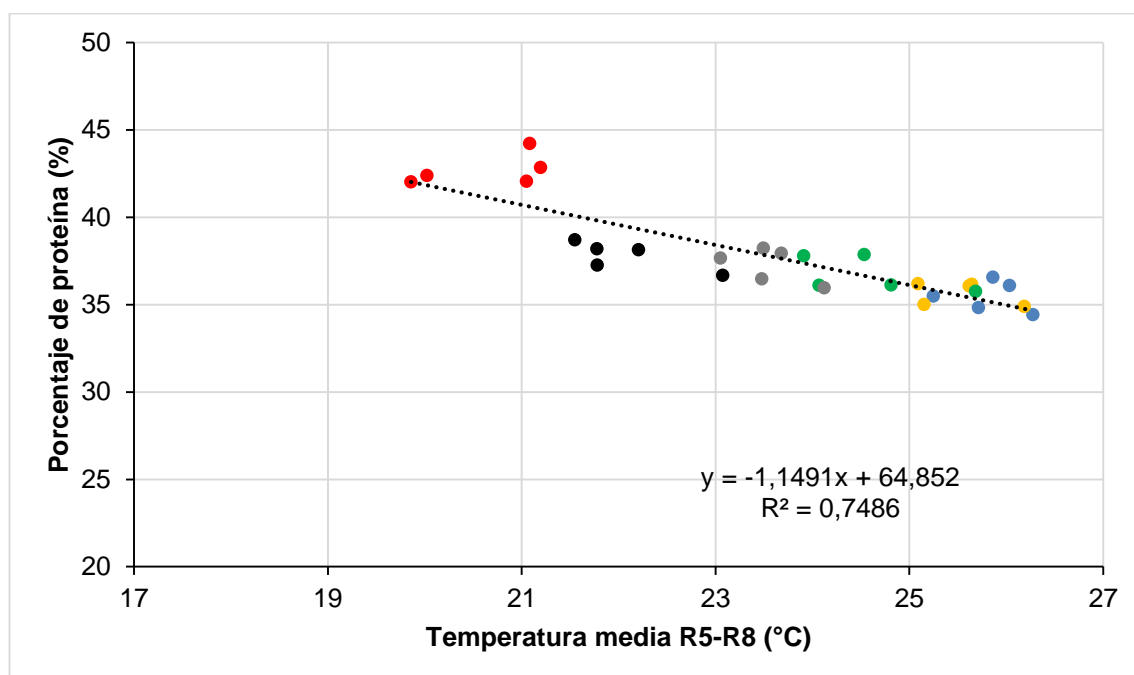


Figura 19. Porcentaje de proteína del grano en función de la temperatura promedio durante el periodo R5-R8 en cinco genotipos de soja de los GM III y IV, sembrados en seis FS desde septiembre a enero (FS1= azul, FS2= amarillo, FS3= verde, FS4= gris, FS5= negro, FS6= rojo). Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.

### Porcentaje de aceite

De manera inversa al porcentaje de proteína, el mayor porcentaje de aceite se obtuvo en la FS<sub>1</sub> siendo el promedio de todos los cultivares de 25,26 %. El menor fue del 18,7 % en la FS<sub>6</sub> lo que significó una disminución de 26 % respecto a la FS<sub>1</sub> (Tabla 6).

El porcentaje de aceite del grano se asoció significativamente con el rendimiento del cultivo a través de un modelo cuadrático ( $R^2=92$ ). En este sentido, el contenido de aceite aumentó en proporción al rendimiento, estabilizándose con un valor de 25 % a partir de rendimientos superiores a los 5000 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 20).

Tabla 6. Porcentaje de aceite en el grano de cinco cultivares de soja sembrados en seis fechas desde septiembre a enero en la localidad de Monte Buey provincia de Córdoba.

	Fecha de siembra						PROMEDIO
	30/9/2015	19/10/2015	6/11/2015	1/12/2015	21/12/2015	12/1/2016	
DM 3312	25,83 <sup>°</sup> A a	25,17 B b	24,50 C c	24,07 B d	23,23 B e	19,17 B f	23,66
DM 3810	25,43 A a	25,67 A a	25,37 A a	24,43 A b	23,43 B c	19,00 B d	23,89
DM 4214	24,60 C a	24,40 C a	23,70 D b	23,83 B b	22,37 C c	17,77 C d	22,78
DM 4612	25,70 A a	25,10 B b	25,00 B b	24,47 A c	23,63 A d	20,07 A e	24,00
DM 4913	24,73 B a	24,87 B a	24,47 C b	23,67 B c	22,90 B d	17,47 C e	23,02
<b>MEDIA</b>	<b>25,26</b>	<b>25,04</b>	<b>24,61</b>	<b>24,09</b>	<b>23,11</b>	<b>18,70</b>	<b>23,47</b>

◦ Letras mayúsculas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre cultivares dentro de cada FS, letras minúsculas en rojo indican diferencias significativas de cada cultivar entre FS.

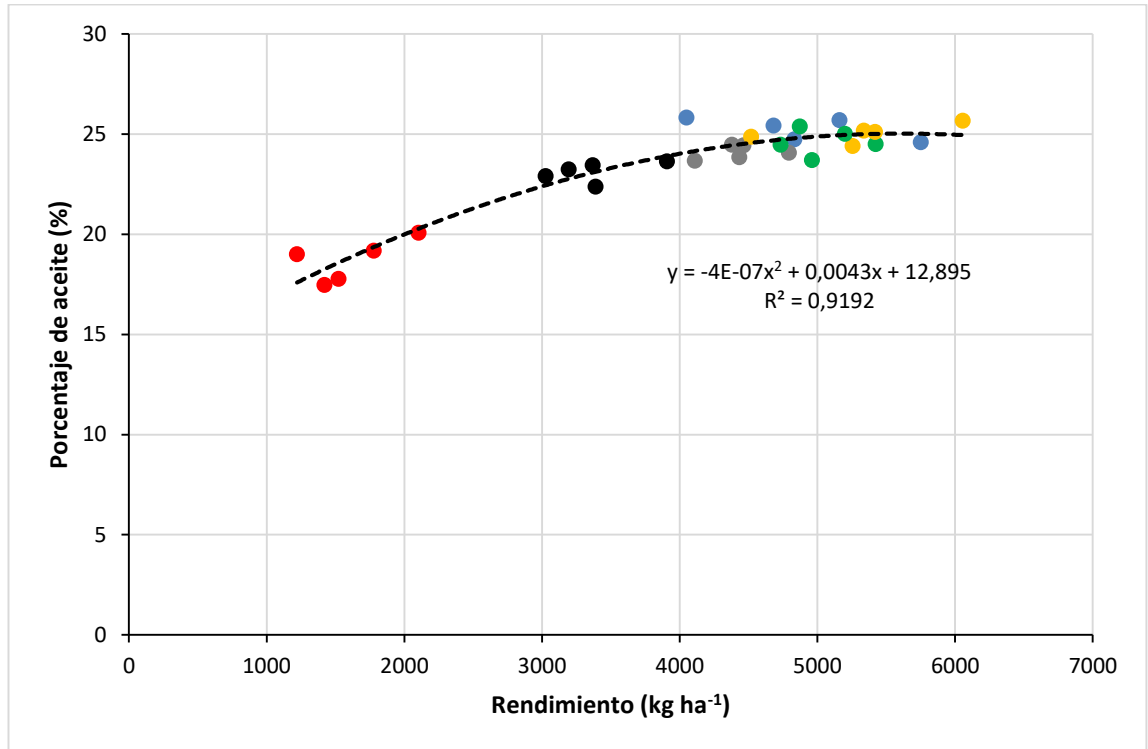


Figura 20. Porcentaje de aceite del grano en función del rendimiento en cinco genotipos de soja pertenecientes a los GM III y IV, sembrados en seis FS desde septiembre a enero (FS<sub>1</sub>= azul, FS<sub>2</sub>= amarillo, FS<sub>3</sub>= verde, FS<sub>4</sub>= gris, FS<sub>5</sub>= negro, FS<sub>6</sub>= rojo). Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.

El porcentaje de aceite fue robustamente explicado por la temperatura promedio durante el periodo de llenado de granos (R5-R8). Los mayores valores se obtuvieron con temperaturas altas, coincidentes con FS tempranas. El atraso en la FS y la disminución de las temperaturas en llenado de granos determinó menores porcentajes de aceite (Figura 21).

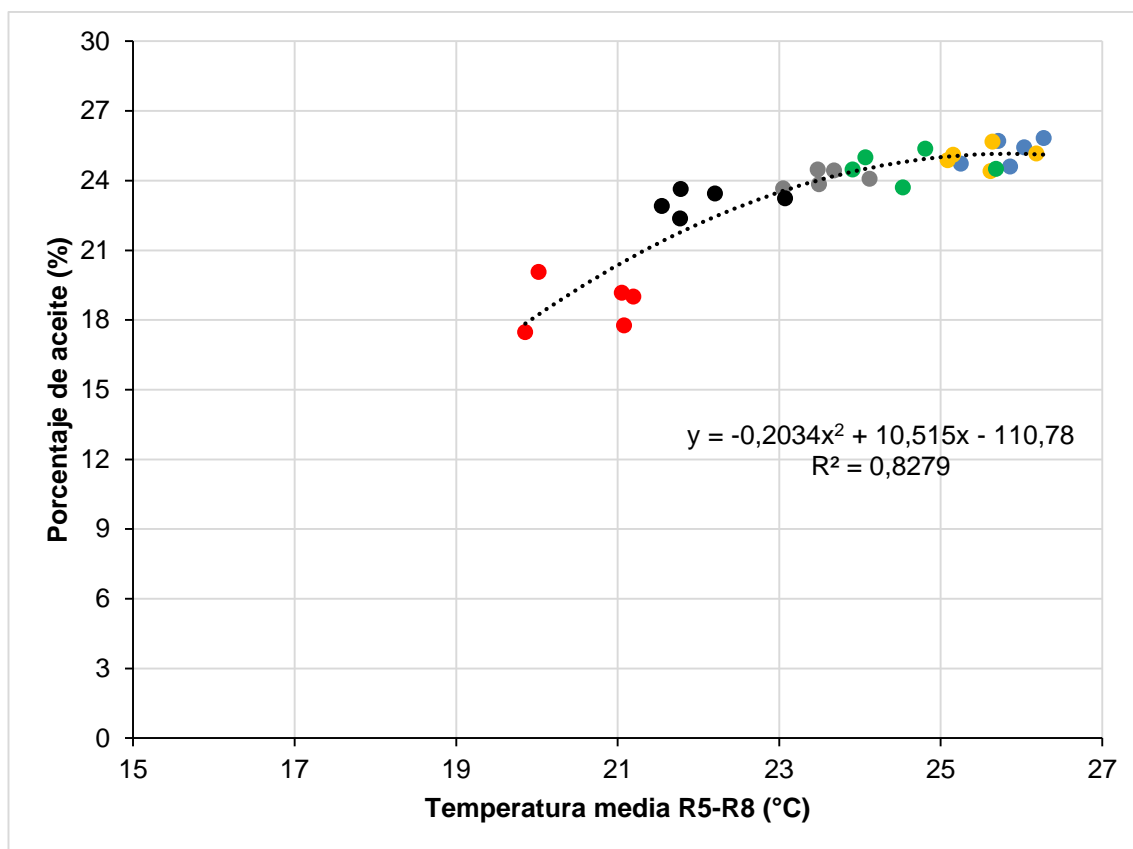


Figura 21. Porcentaje de aceite del grano en función de temperatura promedio en el periodo R5-R8 (°C) en cinco genotipos de soja pertenecientes a los GM III y IV, sembrados en seis FS desde septiembre a enero (FS<sub>1</sub>= azul, FS<sub>2</sub>= amarillo, FS<sub>3</sub>= verde, FS<sub>4</sub>= gris, FS<sub>5</sub>= negro, FS<sub>6</sub>= rojo). Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.

Entre sí, el porcentaje de aceite y proteína presentaron una relación lineal inversa. Por cada punto de incremento en el porcentaje de proteínas, el porcentaje de aceite del grano se redujo en 0.85 puntos porcentuales (Figura 22). Así, la composición del grano varió desde situaciones de alto rendimiento con contenidos de proteína inferiores al 35 % asociados con porcentajes de aceite de alrededor de 25 %, hasta la situación con el máximo porcentaje de proteína, superior al 44 %, asociado con un contenido de aceite de 17,7 % (bajo rendimiento).

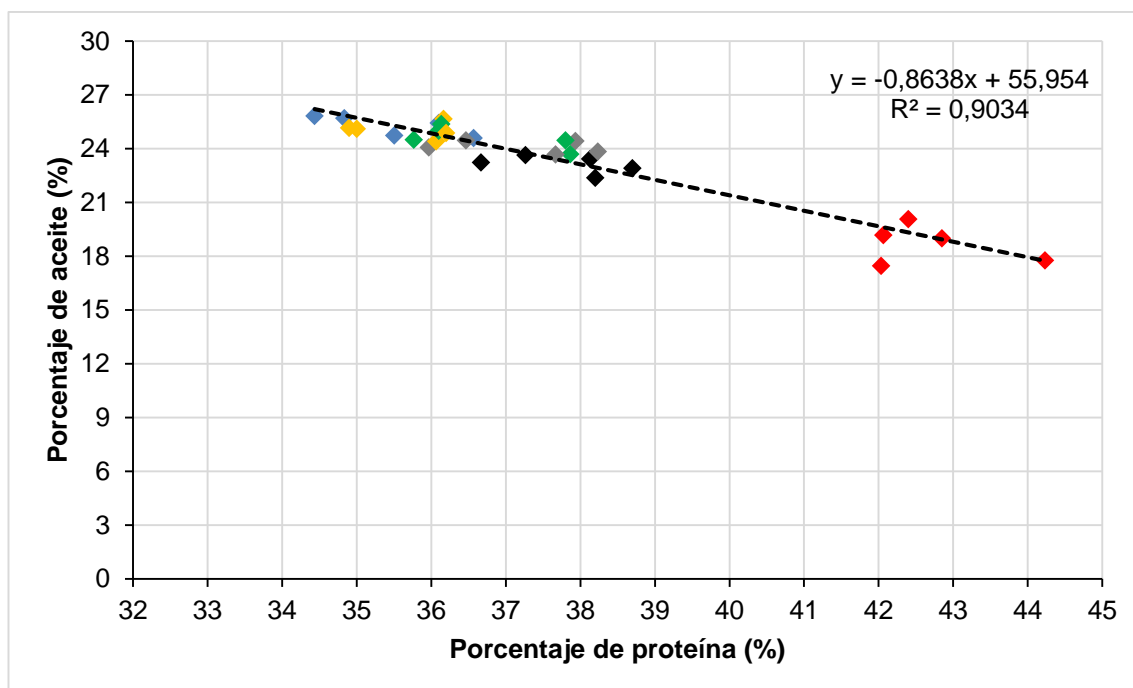


Figura 22. Relación entre el porcentaje de aceite y el porcentaje de proteína del grano en cinco genotipos de soja de los GM III y IV, sembrados en seis FS desde septiembre a enero (FS<sub>1</sub>= azul, FS<sub>2</sub>= amarillo, FS<sub>3</sub>= verde, FS<sub>4</sub>= gris, FS<sub>5</sub>= negro, FS<sub>6</sub>= rojo). Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.

## PROFAT

Al analizar la suma entre los porcentajes de aceite y proteína (PROFAT) se determinó un valor promedio, máximo y mínimo de 61,08, 62,47 y 59,5 % respectivamente, determinando un porcentaje de variación máximo de 5 % (Tabla 7).

Tabla 7. PROFAT de cinco cultivares de soja sembrados en seis fechas desde septiembre a enero en la localidad de Monte Buey provincia de Córdoba.

	Fecha de siembra						PROMEDIO
	30/9/2015	19/10/2015	6/11/2015	1/12/2015	21/12/2015	12/1/2016	
DM 3312	60,27 <sup>φ</sup> B b	60,07 B b	60,27 C b	60,03 C b	59,90 B b	61,23 B a	60,30
DM 3810	61,53 A b	61,83 A b	61,50 B b	62,37 A a	61,57 A b	61,85 B b	61,78
DM 4214	61,17 A a	60,47 B b	61,57 B a	62,07 B a	60,57 B b	62,00 B a	61,31
DM 4612	60,53 B c	60,10 B c	61,10 B b	60,93 B b	60,90 A b	62,47 A a	61,00
DM 4913	60,23 B c	61,07 A b	62,27 A a	61,33 B b	61,60 A b	59,50 C c	61,00
<b>PROMEDIO</b>	<b>60,75</b>	<b>60,71</b>	<b>61,34</b>	<b>61,35</b>	<b>60,91</b>	<b>61,41</b>	<b>61,08</b>

<sup>φ</sup> letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas (p<0.05) entre cultivares dentro de cada FS, letras minúsculas en rojo indican diferencias significativas de cada cultivar entre FS.

A través y dentro de FS, no existió asociación entre el PROFAT y el rendimiento del cultivo (Figura 23).

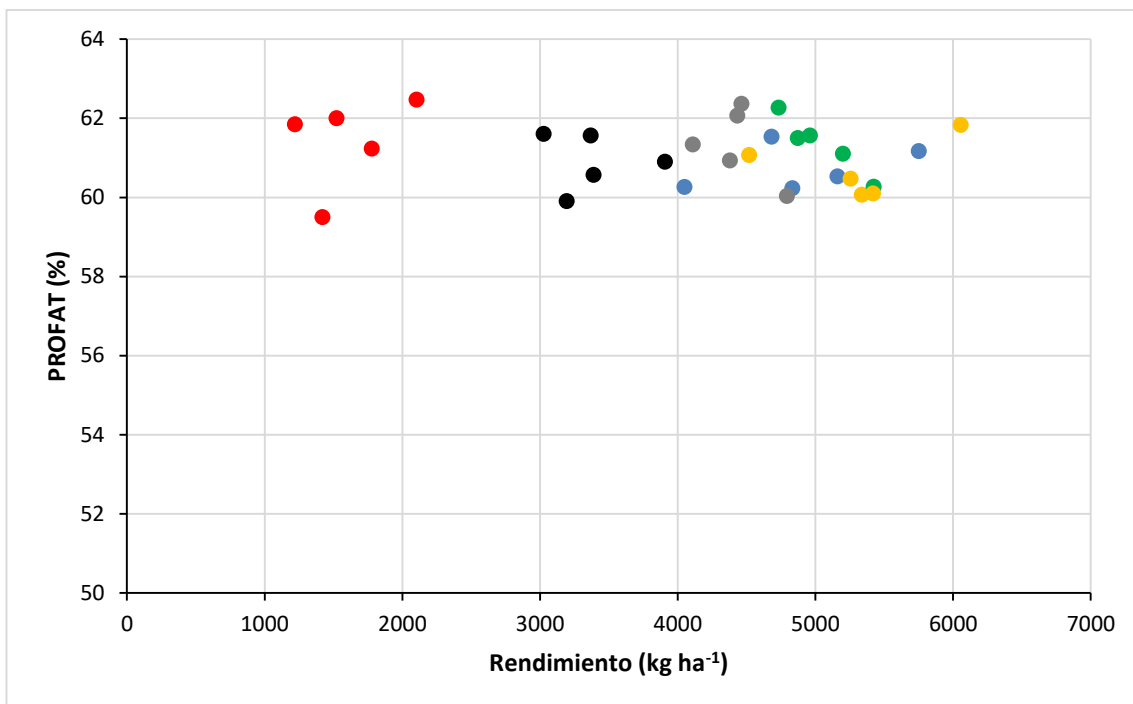


Figura 23. Relación entre el PROFAT (porcentaje de aceite + porcentaje de proteína del grano) y el rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>) en cinco genotipos de soja pertenecientes a los GM III y IV, sembrados en seis FS desde septiembre a enero (FS<sub>1</sub>= azul, FS<sub>2</sub>= amarillo, FS<sub>3</sub>= verde, FS<sub>4</sub>= gris, FS<sub>5</sub>= negro, FS<sub>6</sub>= rojo). Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, provincia de Córdoba.

## 4. DISCUSIÓN

### 4.1. CAMBIOS EN LA CALIDAD AMBIENTAL DURANTE EL PERÍODO CRÍTICO DEBIDOS AL MANEJO COMBINADO DEL GENOTIPO Y LA FECHA DE SIEMBRA

Durante el periodo de este estudio, realizado sobre un cultivo antecesor de verano, la posición inicial de la napa freática sumado a precipitaciones superiores a la media histórica determinaron que la fluctuación de la misma ocurra dentro de profundidades óptimas (Figura 1), destacando la oportunidad de uso de una fuente de agua muy valiosa para el crecimiento y el rendimiento del cultivo de soja, tal cual ha sido descripto por numerosos autores (Martini y Baigorri, 2001 y 2004; Menéndez, 2008; Vega y Salas 2012; Scilingo *et al.*, 2012; Murgio *et al.*, 2015). En un estudio realizado en el sur de la provincia de Córdoba, Nossetto *et al.*, (2009) reportaron máximos rendimientos relativos de soja cuando la profundidad promedio de la napa freática durante el ciclo del cultivo se ubicó entre 1,2 y 2,2 m. Disminuciones del rendimiento fueron observados con profundidades menores de napa, probablemente asociadas a efectos de anoxia radicular y/o salinidad. En este estudio, la profundidad promedio de la napa freática resultó muy cercana al límite superior de la banda mencionada como la que maximiza rendimiento en soja, lo que permitió inferir que el cultivo no sufrió limitaciones hídricas durante el ciclo. La profundidad promedio de la napa durante el periodo R3-R6 osciló entre 1,2 y 1,5 m en todos los casos, excepto en FS<sub>6</sub> y en los cultivares de GM IV sembrados en FS<sub>5</sub>, en donde la napa freática fluctuó en profundidades potencialmente perjudiciales para el crecimiento del cultivo. Si bien el significativo ascenso observado desde mediados de marzo en adelante ubicó la napa a una menor profundidad (Tabla Anexo 1), no se pudieron establecer efectos directos negativos sobre el rendimiento del cultivo. Por el contrario, es probable que esta situación haya mejorado, al menos parcialmente, el balance hídrico en los genotipos sembrados más tardíamente puesto que es conocido que los mismos exploran el suelo en menor medida que cuando son sembrados más tempranamente (Andriani, 2002).

Las distintas combinaciones de FS\*G expusieron los períodos críticos a ambientes de contrastante calidad en términos de demanda hídrica ambiental, radiativa y termofotoperiódica. Siembras tempranas durante los meses de octubre y noviembre expusieron al periodo crítico a elevados niveles de DPV, superiores a 1,4 kPa (Figura 8) y a una alta frecuencia de temperaturas máximas superiores a 26 °C (más del 95 % de los días; Tabla



Anexo 1). Siembras a partir de diciembre posicionaron el PC en la última década de enero hacia adelante, ambiente con un considerablemente menor DPV. Condiciones de alta demanda atmosférica y periodos prolongados con temperaturas superiores a la óptima para el crecimiento reproductivo promueven el aborto de vainas, y por ende reducen el NG (Molino, 2011). Sin embargo, la buena disponibilidad hídrica en este experimento habría morigerado potenciales efectos depresores, particularmente a partir de la FS<sub>2</sub>, puesto que en dicha fecha fueron observados los máximos rendimientos en los cinco genotipos evaluados (Tabla 2).

El atraso de la FS para ubicar el PC en ambientes con menor probabilidad de estrés térmico e hídrico suele ser una práctica de manejo en ambientes de menor productividad, sin influencia de napa freática (Baigorri, *et al.*, 2004; Menéndez, 2008). En este estudio, sin embargo, solo uno de los cinco genotipos (el más largo) no redujo su rendimiento en comparación con fechas más tempranas. Atrasos en la fecha de siembra fueron negativos para la definición del rendimiento (Figuras 9 y 10), particularmente a partir de la primera década de noviembre en GM cortos y de la tercera década de octubre en GM intermedios. Dicho efecto pudo ser explicado por la disminución del fotoperiodo desde valores superiores a 15 h en FS<sub>1</sub> hasta algo más de 13 h en FS<sub>6</sub> (Figura 7, Tabla Anexo 1), factor que acortó la duración de la fase reproductiva (Figuras 3, 4, 5), disminuyendo la plasticidad reproductiva, la radiación interceptada acumulada (Figura 12) y el número de granos fijados (Figura 14), principal componente del rendimiento. Considerando el período de septiembre a enero, el efecto combinado de la disminución de la radiación incidente, los cambios en temperatura y la reducción en la longitud del periodo crítico determinó disminuciones del 28 % en la duración de etapas críticas y del 50% en la RFA<sub>inc</sub> acumulada total.

Diversos trabajos demostraron previamente, en línea con los resultados de este estudio, los efectos negativos del atraso de las FS sobre el rendimiento potencial mediados por los cambios en la calidad ambiental en términos térmicos (Major *et al.*, 1975, Calviño *et al.*, 2003), radiativos (Kantolic y Slafer 2001, 2005; Murgio *et al.*, 2014, 2015) y fotoperiódicos (Kantolic y Slafer, 2001, 2005; Calviño *et al.*, 2003; Kantolic *et al.*, 2013; Nico *et al.*, 2015, 2016). Asimismo, otros factores aumentan en probabilidad, como el riesgo de daños por heladas tempranas, enfermedades de fin de ciclo, entre otros (Bianchi *et al.*, 2011; Salvagiotti, 2009).

#### **4.2. RENDIMIENTO, COMPONENTES NUMÉRICOS Y SU RELACIÓN CON LAS CONDICIONES AMBIENTALES EN LA ETAPA R3-R6**

Las FS tempranas en la región núcleo sojera permiten expresar altos rendimientos. Sin embargo, una limitante importante radica en la mayor dependencia de adecuada disponibilidad hídrica durante la etapa crítica de fijación de vainas y el llenado de granos (Baigorri *et al.*, 1997). En este trabajo, los rendimientos máximos obtenidos en FS tempranas cercanos a los 6000 kg ha<sup>-1</sup> evidencian la alta calidad del ambiente explorado por el cultivo durante el PC. Así, la variación del rendimiento fue explicada en un 85.4 % por variaciones en la FS, mientras que sólo un 3.34 % fue atribuido a la interacción G\*FS y sólo 0.95 % al efecto del G. En coincidencia con esto, Rizzo *et al.*, (2011) encontraron que, en ambientes de alta calidad de la zona núcleo, la FS explicó en mayor medida que el G la varianza del rendimiento, mientras que en ambientes de mediana calidad, la interacción G\*FS fue el factor más importante.

Los rendimientos obtenidos y su variación en función de la FS coinciden con los reportados por Baigorri (2009), quien determinó un patrón para ambientes de alto potencial de rendimiento de la región núcleo sojera donde rendimientos máximos crecientes ( $\pm 6000$  kg ha<sup>-1</sup>) son obtenidos con el adelanto de la FS hasta el mes de septiembre. Dichos ambientes corresponden a suelos de alta calidad y sin limitaciones en la disponibilidad hídrica (abundantes precipitaciones o napa freática entre 1.5 y 2 m de profundidad). Patrones de respuesta similares fueron reportados por Mercau y Grassini (2007, citado en Menéndez, 2008) para la región sur de Santa Fe; y por Vissani *et al.*, (2017) y Murgio *et al.*, (2015) para Marcos Juárez en ambientes con influencia de napa freática.

Los máximos rendimientos se obtuvieron cuando la fecha de R5 (parámetro que explicó el 91.8 % de la variación del rendimiento) se ubicó en las primeras dos décadas de enero (Figura 9). En la localidad de estudio de este trabajo, Gallo y Boxler (2014) reportaron rendimientos máximos de alrededor de 6000 kg ha<sup>-1</sup> en FS tempranas (desde 14/9 al 10/11) y pérdidas de hasta 3700 kg ha<sup>-1</sup> en fechas de enero. Dichos autores reportaron asimismo que, en años niño, los máximos rendimientos fueron obtenidos en aquellas combinaciones de GM y FS que lograron ubicar el estado R5 en el periodo comprendido entre la última década de diciembre y la primera década de enero, coincidiendo parcialmente con los resultados de este estudio; mientras que, en años niña,

los máximos rendimientos fueron obtenidos cuando la fecha de R5 se ubicó en el periodo comprendido entre la última década de enero y la primera de febrero.

Analizando rendimientos potenciales en una latitud más alta, Kantolic *et al.*, (2004) encontraron que la siembra de G de GM bajos aumenta la posibilidad de lograr altos rendimientos si ubican el período crítico durante la primera parte del verano, cuando los niveles de radiación son altos. En este estudio, sin embargo, los GM III en FS<sub>1</sub> que lograron posicionar R5 con anterioridad no maximizaron necesariamente el rendimiento. Es de destacar, asimismo, que, para este grupo de genotipos y fechas de siembra, duraciones de la etapa crítica mayores a 40 días no significaron aumentos en el NG (Figura 13).

Aunque en este estudio no se evaluó la intercepción de la radiación solar, los menores rendimientos logrados por esta combinación de FS y GM, podrían estar asociados a una captura de radiación menor al 95% (considerada como crítica para maximizar rendimientos, Gardner *et al.*, 1995), resultante de una menor altura de plantas (Baigorri, 2004; Cortés, 2015), menor expansión foliar por temperaturas más frescas durante primavera (Kantolic 2008 b), y debidas al arreglo espacial utilizado (espaciamiento entre surcos de 0.525 m). Aunque la duración de la etapa vegetativa fue mayor en tiempo calendario en las fechas más tempranas (Figura 3), es probable que el número de nudos haya sido menor, como fuera demostrado por otros autores (Baigorri, 2004; Cortés, 2015). En su conjunto, los factores mencionados podrían haber conducido a índices de área foliar más bajos que el crítico al inicio del periodo crítico, con consecuente disminución en la eficiencia de intercepción de la RFA<sub>inc</sub> y, por ende, en la tasa de crecimiento durante dicho período. Estos aspectos destacan la importancia de tener en cuenta también el correcto diseño espacial para maximizar rendimientos a través de la práctica de siembras tempranas y GM más cortos cuando no existen limitantes hídricas. Más estudios son necesarios para demostrar si un mejor arreglo espacial (i.e. distancias entre surcos o incremento en la densidad de plantas) permite maximizar rendimientos con GM cortos en fechas tempranas (Baigorri, 2009; Rizzo *et al.*, 2011; Gallo y Boxler, 2014; Vissani *et al.*, 2017).

Una diferencia importante entre éste y otros estudios (Baigorri *et al.*, 1997) fue el bajo rendimiento obtenido en la fecha de siembra más tardía. En un ensayo realizado en Marcos Juárez, Baigorri *et al.*, (1997) obtuvieron un rendimiento máximo de 3000 kg ha<sup>-1</sup> en una FS del 14/1, 86% superior al promedio obtenido en este trabajo (1610±306 kg

ha<sup>-1</sup>, Tabla 2). Esta importante diferencia podría estar asociada a múltiples factores. Entre ellos, una menor radiación solar durante la primera y segunda década del mes de abril (Figura 2), ineficiencias en la intercepción de la radiación solar (puesto que el espaciado entre surcos se mantuvo constante a través de FS; Baigorri, 2004, Vega y Andrade, 2002), efectos negativos de menores temperaturas (Calviño *et al.*, 2003) o potenciales excesos hídricos. Durante la misma campaña en que se realizó este trabajo y en Marcos Juárez, Nicollier *et al.*, (2016) reportaron rendimientos promedios de 717 kg ha<sup>-1</sup> en siembras de mediados de enero y bajo una distancia entresurcos de 0,525 m, respaldando los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Los resultados obtenidos permiten aceptar las Hipótesis 1 referida al efecto positivo de combinaciones de fechas y genotipos que maximizan la captura de radiación solar en ambientes con influencia positiva de la napa freática, ya que las estrategias que permitieron maximizar el rendimiento correspondieron a la siembra de cultivares de GM III corto hasta IV medio. En el caso de cultivares de GM IV, los mayores rendimientos se obtuvieron en FS<sub>1</sub> y FS<sub>2</sub>, e incluso también en FS<sub>3</sub> con un cultivar en particular (DM 4612). Los cultivares del GM III exhibieron un comportamiento menos estable, con menores rendimientos en FS<sub>1</sub>, obteniendo los mejores resultados las combinaciones de DM 3312 en FS<sub>2</sub> y FS<sub>3</sub> y DM 3810 sólo en FS<sub>2</sub>.

Según el modelo cuadrático entre rendimiento y FS, el atraso en la FS determinaría pérdidas de rendimientos con tasas crecientes de 15,3 (FS<sub>3</sub>) a 90,7 kg ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> (FS<sub>6</sub>). Los cultivares de GM III maximizaron su rendimiento en FS más tardías en comparación con los del GM IV (Figura 10) y exhibieron asimismo una comparativamente menor tasa de pérdida de rendimiento hasta la segunda década de noviembre. Sin embargo, a partir de dicha fecha, la tasa de pérdida de rendimiento en los cultivares del GM III fue superior a la de los del GM IV. Estos resultados complementan los obtenidos por Murgio *et al.*, (2014) en ambientes similares al del presente trabajo. En variedades de GM IV largo, el rendimiento máximo se redujo a menor tasa (11 kg ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) hasta el 27 de noviembre. Posteriormente, la tasa de pérdida fue máxima (50 kg ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>). Baigorri *et al.*, (1997) determinaron disminuciones del rendimiento inferiores a las obtenidas en este trabajo (entre 20 y 34 kg ha<sup>-1</sup> por cada día de atraso de la FS), aspecto que puede ser explicado por los mayores rendimientos máximos logrados en el ambiente de alta calidad en el que se desarrolló este estudio. En general, a medida que la fecha de siembra se retrasa más allá de cierto límite, el rendimiento tiende a disminuir debido a la caída del rendimiento

potencial (Kantolic, 2008 b). La fecha a partir de la cual se manifiesta la disminución y la tasa de reducción varía según la localidad y el G empleado. A su vez, la variabilidad de los rendimientos y las brechas entre el rendimiento potencial y los rendimientos máximos alcanzables en las diferentes fechas de siembra también pueden diferir entre regiones debido a la variabilidad interanual de la oferta de recursos, principalmente de agua.

En este estudio, el rendimiento estuvo estrechamente asociado con el NG, parámetro que logró explicar el 97 % de la variación del rendimiento (Figura 11), en línea con numerosos estudios previos (Vega *et al.*, 2001; Kantolic *et al.*, 2003; Murgio *et al.*, 2015). A través de las distintas combinaciones, la duración de la fase R3-R6 (Figura 13) y la RFAinc acumulada en dicho periodo (Figuras 12 y 14) explicaron muy significativamente la fijación de granos. Fotoperiodos largos a los que son expuestos las mejores combinaciones G\*FS aumentan la duración de la etapa R3-R6 e incrementan el NG a través de efectos directos (i.e. mayor captura de radiación solar, Kantolic y Slafer, 2001, 2005) e indirectos (mayor número de sitios reproductivos, Nico *et al.*, 2015).

Claramente, el cambio en la FS generó mayor impacto que la variación del G en una misma FS sobre la duración del periodo R3-R6, la RFAinc acumulada durante dicho período y la fijación del principal componente del rendimiento, el NG (Figuras 11 a 14).

El segundo componente del rendimiento, el PG, solo explicó parcialmente el rendimiento (35 %) entre fechas de siembra extremas (promedios de 119,7 a 155,6 g según FS; Figura 15). Dentro de cada fecha de siembra, el distinto PG logrado por los genotipos no explicó en forma importante el rendimiento, excepto en FS<sub>6</sub> (Figura 15). Estos resultados contribuyen al conocimiento previo que demuestra la menor importancia relativa de este componente sobre el rendimiento del cultivo de soja, particularmente en ambientes de la zona centro argentina (Vega *et al.*, 2001; Kantolic *et al.*, 2003; Murgio *et al.*, 2011, 2012, 2015), permitiendo la aceptación de la Hipótesis 2 postulada en este estudio. Solo en FS<sub>6</sub>, PG se redujo significativamente (en promedio 119,7 g), en coincidencia con resultados de Calviño *et al.*, (2003). Marcadas disminuciones del PG ocurren debido al efecto de menores duraciones del llenado por fotoperiodos cortos y baja fotosíntesis explicadas por menor nivel de radiación solar y temperatura (Calviño *et al.*, 2003).

En las FS<sub>3</sub>, FS<sub>4</sub> y FS<sub>5</sub> la relación entre NG y PG tendió a ser inversa (Figuras 16 y 17), probablemente como resultado de conocidos procesos de compensación entre componentes del rendimiento. Esto coincidiría con estudios de Rotundo (2014) que

demuestran que una alta cantidad de destinos establecidos debidos a buenas condiciones ambientales durante R1-R5 conduce por lo general a un menor peso individual de grano. Sin embargo, en FS<sub>6</sub> dicha asociación fue inexistente ya que menores NG estuvieron asociados también a PG más bajos. El hecho de que la RFAinc durante las dos primeras décadas de abril haya sido aproximadamente un 50% inferior a la media histórica hace suponer que el PG en FS<sub>6</sub> haya sido inferior al potencialmente alcanzable en campañas con RFAinc cercanas a las históricas. Estos datos son coincidentes con otros estudios (Cortés, 2015; Vega y Salas, 2012) que determinaron que FS de fines de diciembre no sólo exhiben menor NG sino también PG más bajos debido a que el llenado ocurrió tardíamente en el otoño.

#### **4.3. VARIACIÓN DE LA CALIDAD INDUSTRIAL ANTE CAMBIOS EN EL AMBIENTE DURANTE EL LLENADO DE GRANOS**

Los porcentajes de aceite, proteína y el índice PROFAT presentaron valores comparables a los obtenidos en otros estudios a nivel nacional (Carrera *et al.*, 2009; Cuniberti y Herrero 2012 b; Cuniberti *et al.*, 2015; Cuniberti *et al.*, 2018).

El efecto del G sobre los porcentajes de aceite y proteína resultó muy bajo (Tabla 3) en línea con otros trabajos publicados (Cuniberti y Herrero, 2006; Carrera *et al.*, 2014 b; Herrero *et al.*, 2017). Dichos estudios encontraron que el ambiente explicó el 55 y el 32 % de la variación del porcentaje de proteína y de aceite, respectivamente, y que el efecto del G fue de 13 y 12 %, respectivamente.

A través de todas las fuentes de variación, se encontró una relación negativa entre el porcentaje de proteína y el rendimiento del cultivo, siendo la tasa de disminución de 1.7 puntos porcentuales por cada tonelada de incremento del rendimiento (Figura 18). Es por ello, que el porcentaje de proteína se incrementó a medida que el atraso de la FS disminuyó el rendimiento (Tabla 4). La asociación entre el porcentaje de aceite y el rendimiento fue positiva hasta un umbral de rendimientos de 5 tn ha<sup>-1</sup> (Figura 20) donde el porcentaje de aceite se estabilizó en  $\cong 25$  %. La relación entre los porcentajes de aceite y proteína resultó inversa (Figura 22), tal cual fue demostrado anteriormente en múltiples trabajos (Soldini *et al.*, 1995; Hartwig y Kilen, 1991; Imsande, 1992; Burton, 1985; Cuniberti, 2004).

El porcentaje de aceite se redujo con el atraso de la FS (Tabla 6), probablemente en respuesta a la menor calidad ambiental (menor temperatura y radiación solar, Figura

21) que afecta la fotosíntesis actual, la tasa de crecimiento del cultivo y la duración del llenado de granos (Cuniberti *et al.*, 2004; Dardanelli *et al.*, 2006). Los valores de PROFAT no presentaron relación con la modificación de la FS (Tabla 7, Figura 23). Estos resultados coinciden con los reportados por Cuniberti *et al.*, (2004) y Cuniberti y Herrero (2006) para atrasos de FS y sojas de segunda sobre trigo (Cuniberti y Herrero 2012 b).

En resumen, el atraso en la FS no solo generó rendimientos menores sino granos con menor porcentaje de aceite y mayor porcentaje de proteína. En base a estos resultados, existe evidencia para la aceptación de la Hipótesis 3 postulada en este estudio.

## CONCLUSIONES

En este estudio, se demostró robustamente que altos y estables rendimientos de soja (i.e.  $> 5 \text{ tn ha}^{-1}$ ) pueden ser logrados en ambientes con napa freática mediante la óptima combinación de GM y FS que maximiza principalmente la captura de la radiación solar. Aunque la alta radiación solar durante el período crítico estuvo asociada con alta temperatura y DPV, potenciales efectos detrimentales habrían sido morigerados por la alta disponibilidad hídrica debida a la presencia de napa en profundidades óptimas para el crecimiento del cultivo.

Las variaciones en el rendimiento fueron explicadas consistentemente por cambios en el NG modulados por el efecto de la fecha de siembra sobre la duración de la etapa crítica R3-R6 y la RFAinc acumulada durante la misma. El PG siempre explicó en menor medida el rendimiento.

Las combinaciones de GM y FS que permitieron obtener los mayores rendimientos correspondieron a cultivares de GM III y IV, sembrados en octubre y principios de noviembre, ya que, además de optimizar largas duraciones del período crítico que promovieron la captura de alta radiación solar, posicionaron la segunda fase crítica del llenado de granos (estado R5) durante enero con alta oferta de RFAinc. Atrasos en FS no solo redujeron la duración del periodo R3-R6 y el NG en todos los G evaluados, sino que ubicaron al cultivo en ambientes de calidad empobrecida en términos de radiación solar incidente, fotoperiodos (más cortos) y temperatura. El atraso extremo redujo adicionalmente el PG, explicando fuertes disminuciones de los rendimientos.

En este estudio, el adelanto de la FS desde mediados de octubre a fines de septiembre no resultó favorable en los cultivares de GM III, lo que destaca que otros

factores ajenos a la calidad ambiental explorada podrían haber regulado el crecimiento y rendimiento. Dichos resultados destacan un nicho en el conocimiento que podría ser abordado mediante un estudio de los efectos de cambios en el diseño espacial sobre el rendimiento.

A través de todas las fuentes de variación, se encontraron robustas relaciones entre el rendimiento y el porcentaje de proteínas (inversa) y el aceite del grano (positiva). El contenido de proteína y aceite se asociaron de manera inversa, explicando por ende la escasa variación de PROFAT. Los marcados cambios en la composición química del grano ante modificaciones de la fecha de siembra pudieron ser explicados a través del efecto de éstas sobre el rendimiento. El genotipo explicó escasamente la variación en la calidad de granos.



## BIBLIOGRAFÍA

- Aguirrezábal L. y Andrade F. 1998. Calidad de productos agrícolas. Bases ecofisiológicas, genéticas y de manejo agronómico. Unidad Integrada Balcarce INTA, FCA UNMP. 315pp.
- Alexandratos N. y Bruinsma J. 2012. World Agriculture Towards 2030/2050: The 2012 Revision. ESA Working Paper Rome, FAO.
- Allen R. G., Pereira L. S., Raes D. y Smith M. 1998. Reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>). In 'Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements'. (FAO, Irrigation and Drainage: Rome). pp. 15–86.
- Álvarez C. R. y Rubio G.. 2010. Acidez: parámetros, efectos sobre los cultivos y manejo. En: Álvarez R; G Rubio; CR Álvarez; & RS Lavado, (eds.). Fertilidad de suelos caracterización y manejo en la región pampeana. Editorial facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires: Buenos Aires, Pp 21–44.
- Andrade F.H. y Cirilo A. G. 2002. Fecha de siembra y rendimiento de los cultivos. En: Andrade, F.H.; Sadras, V.O. Bases para el Manejo del Maíz, el Girasol y la Soja. INTA, Balcarce, Argentina, pp: 137-156.
- Andrade F. 2017. Los desafíos de la agricultura. Primera Edición. INTA FCA, UNMP. 137 pp.
- Andriani J. M. 2002. Estrés hídrico en soja. IDIA XXI. 2 (3): 48-51.
- Aramburu Merlos F., Monzon J., Mercau J., Taboada M., Andrade F., Hall A., Jobbagy E., Cassman K. y Grassini P. 2015. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. Field Crops Research 184: 145–154.
- Baigorri, H. 2002. Conclusiones sobre el efecto de la FS en el desarrollo y crecimiento de los cultivares. EN: Manejo del cultivo de soja en la Argentina. Actualizaciones. INTA Centro Regional Córdoba. EEA Marcos Juárez. pp. 100-111.
- Baigorri, H. 2004. Criterios generales para la elección y el manejo de cultivares en el cono sur. En: Díaz-Zorita, M. y Duarte, G. (eds.) Manual Práctico para la Producción de Soja, Editorial Hemisferio Sur S. A. Buenos Aires, pp. 39-77.
- Baigorri, H. 2009. Manejo del cultivo de soja. En: García, F. O., Ciampitti, I. A., Baigorri, H. E. Manual de manejo del cultivo de soja. International Plant Nutrition Institute, Buenos Aires, pp. 17-32.
- Baigorri H. E. J., Bodrero M. L., Morandi E. L., Martignone R. A., Andrade F. H., Meira S. y Guevera E. (1997) Ecofisiología del cultivo. En: Giorda L., Baigorri H.E.J. El cultivo de la soja en Argentina. Ed. INTA. pp. 30-50.
- Bertram N. y Chiacchiera S. 2014. Ascenso de napas en la Región Pampeana: ¿Consecuencia de los cambios en el uso de la tierra? INTA EEA Marcos Juárez. Publicado en internet, disponible en [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_napas\\_mjz\\_13.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_napas_mjz_13.pdf). Activo diciembre de 2018.
- Bianchi J., Rosbaco I., Tuttolomondo G., Romagnoli M. y Martignone R. 2011. ¿Es factible sembrar soja en fechas de siembra muy tardías? Revista Agromensajes de la Facultad. Facultad de Ciencias Agrarias UNR. Santa Fé. 32:1-2.
- Board J. E., Wier A. T. y Boethel D. J. 1995. Source strength influence on soybean yield formation during early and reproductive development. Crop Sci. 35: 1104-1110.
- Bray, R. H. y Kurtz, L. T. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. Soil Sci. 59: 39-45.

- Burton, J. W. 1985. Breeding soybeans for improved protein quantity and quality. Proceedings of the World Soybean Research Conference III. R. Shibles (ed.). pp.: 361-367.
- Calviño P. A., Sadras V. O. y Andrade F. H. 2003. Development, growth and yield of late-sown soybean in the southern Pampas. *European Journal of Agronomy* 19, 265-275.
- Carrera C., Dardanelli J. y Soldini D. 2014 b. Genotypic and environmental variation in seed nutraceutical and industrial composition of non-transgenic soybean (*Glycine max*) genotypes. *Crop Pasture Sci.* 65, 1311-1322. doi 10.1071/cp 14114.
- Carrera C., Dardanelli J. y Soldini D. 2014 a. Chemical compounds related to nutraceutical and industrial qualities of non-transgenic soybean genotypes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 94, 1463– 1469.
- Carrera C., Martínez M. J., Dardanelli J. y Balzarini M. 2011. Environmental variation and correlation of seed components in nontransgenic soybeans: protein, oil, unsaturated fatty acids, tocopherols and isoflavones. *Crop Sci.* 51:800–809.
- Carrera C., Martínez M. J., Dardanelli J. y Balzarini M. 2009. Water deficit effect on the relationship between temperature during the seed filling period and soybean seed oil and protein concentrations. *Crop Sci.* 49:990–998.
- Cisneros J., Scilingo M., Giayetto O., Morla F. y Jobbágy E.G. 2013. Uso del modelo de simulación AquaCrop-FAO para estimar el aporte subterráneo de agua al cultivo de soja. En: *Actas del XXIV Congreso Nacional del Agua*. San Juan, Argentina. p 1-10.
- Cortés, E. J. 2015. Desarrollo de estrategias de siembra del cultivo de soja [*Glycine max* (L.) Merr] en el Departamento San Justo, Córdoba, Argentina. Trabajo Final para la obtención del título de Especialista en Cultivos Extensivos. Escuela para Graduados de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNC.
- Cuniberti M. y Pérez A. 1997. Interacción genotipo-ambiente del contenido de proteína y aceite en cultivares de soja de GM V, VI y VII. (In Spanish.) pp. 25–50. In *Informe Técnico No. 126*. INTA EEA Marcos Juárez, Argentina.
- Cuniberti M., Herrero R. M. y Masiero B. 2000. Effect of planting dates and latitudes on the industrial quality of the argentine soybean. *Third International Soybean Processing and Utilization Conference*. ISPUC-III, Tsukuba, Japón. 15-20 de octubre.
- Cuniberti M., Rossi R., Herrero R. y Ferrari B. 2004. Industrial quality of soybean in Argentina. p. 961–970 In *Proc. of the VII World Soybean Res. Conf., IV Int. Soybean Processing and Utilization Conf. y III Congreso Mundial de Soja*, Foz de Iguazu´-Brasil. 1–5 Mar. 2004. Embrapa Londrina PR Brazil.
- Cuniberti M. y Herrero R. 2006. Factores que influyen en el contenido de proteína y aceite en la soja argentina. INTA EEA Marcos Juárez. *Informe de Actualización Técnica N° 7*, pp. 67-70.
- Cuniberti M., Herrero R., Mir L., Berra O. y Macagno S. 2009. Calidad industrial de la soja en la región Núcleo-Sojera. Cosecha 2008-09. *Informe de Actualización Técnica N° 14*.
- Cuniberti M., Herrero, R. y Masiero, B. 2011. Variación de la calidad industrial de la soja por efectos ambientales y genéticos. *Actas de Congreso Mercosoja 2011*, Rosario, Argentina, 14-16 Setiembre.
- Cuniberti, M. y Herrero R. 2012 a. Importancia de la proteína y aceite de la soja argentina, evaluación anual, valor nutricional, industrialización y usos. En H. E. J. Baigorri (In

- memoriam) & L. R. Salado Navarro, (Eds.). El cultivo de soja en Argentina. Agroeditorial, Vicente López, Argentina. Pp. 285-302.
- Cuniberti M. y Herrero R. 2012 b. Calidad de la soja para el proceso de extrusado-prensado. Laboratorio de Calidad Industrial de Cereales y Oleaginosas de la EEA INTA Marcos Juárez. Publicado en internet, disponible en: <http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/calidad/Calidad-SojaExtrusion-Prensado.pdf>. Activo octubre de 2018.
- Cuniberti M., Herrero R., Mir L., Berra O. y Macagno S. 2015. Rendimiento y calidad de la soja de la zona Núcleo-Sojera. Campaña 2014/15. Laboratorio de Calidad Industrial y Valor Agregado de Cereales y Oleaginosas de la EEA INTA Marcos Juárez. Publicado en internet, disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/rendimiento-y-calidad-de-la-soja-de-la-zona-nucleo-sojera-campana-2014-15>. Activo junio de 2018.
- Cuniberti M., Herrero R., Mir L., Berra O. y Macagno S., Pronotti M., Mansilla G. y Chialvo E. 2017. Productividad y calidad de la soja en la zona Núcleo-Sojera. Campaña 2016/17. Soja Actualización 2017 INTA EEA Marcos Juárez. pp. 94-105.
- Cuniberti M., Herrero R., Mir L., Berra O., Macagno S., Pronotti M., Mansilla G. y Chialvo E. 2018. Productividad y calidad de la soja en la zona Núcleo-Sojera Campaña 2017/18. INTA EEA Marcos Juárez. Publicado en internet, disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_soja\\_calidad1718.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_soja_calidad1718.pdf). Activo octubre de 2018.
- Cuniberti M. y Herrero R. 2018. Problemática de la baja proteína en soja. Soja Actualización técnica 2018 INTA EEA Marcos Juárez. pp. 9-13.
- Dardanelli J. L., Balzarini M., Martinez M. J., Cuniberti M., Resnik S., Ramunda S.F., Herrero R. y Baigorri, H. 2006. Soybean maturity groups, environments, and their interaction define mega-environments for seed composition in Argentina. *Crop Sci.* 46:1939939919.
- Díaz-Zorita M. 2004. Requerimientos nutricionales del cultivo de soja. En: Díaz-Zorita, M. y Duarte, G. (eds.) Manual Práctico para la Producción de Soja, Editorial Hemisferio Sur S. A. Buenos Aires, pp. 79-95.
- Di Rienzo J. A., Casanoves F., Balzarini M. G., Gonzalez L., Tablada M. y Robledo C. W. InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Dornbos D. L. y Mullen, R. E. 1992. Soybean seed protein and oil contents and fatty acid composition adjustment by drought and temperature. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 59:230-232.
- Edwards J.T., Purcell L.C., Vories E.D., Shannon J. G y Ashlock, L. O. 2003. Short-season soybean cultivars have similar yields with less irrigation than longer-season cultivars. *Plant Management Network*. Disponible en <http://www.plantmanagementnetwork.org/cm/doi:10.1094/CM-2003-0922-01-RS>.
- Edwards J. T. y Purcell L. C. 2005. Soybean yield and biomass responses to increasing plant population among diverse maturity groups: I. Agronomic characteristics. *Crop Sci.* 45: 1770-1777.
- Egli D. B. 1993. Cultivar maturity and potential yield of soybean. *Field Crops Res.* 32: 147-158.
- Egli D. B. 1997. Cultivar maturity and response of soybean to shade stress during seed filling. *Field Crops Res.* 52: 1-8.
- Egli D. B. 1998. Seed biology and the yield of grain crops. CAB International, UK. 178 pp.

- Egli D. B. 1999. Variation in leaf starch and sink limitations during seed filling in soybean. *Crop Sci.* 36: 1361-1368.
- Egli D. B. 2004. Seed-fill duration and yield of grain crops. *Adv. Agron.* 83: 243-279. 1
- Egli D. B. y Bruening W. P. 2000. Potential of early-maturing soybean cultivars in late plantings. *Agron. J.* 92: 532-537.
- Egli D. B. y Bruening W. P. 2006. Fruit development and reproductive survival in soybean: Position and age effects. *Field Crops Res.* 98: 195-202.
- FAO. 2013. La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Roma, Italia. (Disponible en: [http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues\\_papers/Issues\\_papers\\_S\\_P/La\\_agricultura\\_mundial.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/Issues_papers_S_P/La_agricultura_mundial.pdf) Consultado el 21/05/2017).
- Fehr W. R. y Caviness C. E. (1977): Stages of soybean development, Iowa St. Univ., Special Report 80.11.
- Gardner F., Pearce R. y Mitchel R. 1985. Physiology of crop plants. Iowa State University Press. USA. 327 pp.
- Gallo S., Pérez D. y Boxler M. 2014. Modelos zonales de producción en el movimiento CREA, Región Sur de Santa Fe. En: Sibaja, G., Satorre, E., Suárez, M. (eds.) Soja: Claves para una producción rentable y sostenible. Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola, Buenos Aires, pp. 63-65.
- Guiamet J. J. y Nakayama F. 1984. The effects of long days upon reproductive growth in soybeans (*Glycine max* (L.) Merr.) cv. Williams. *Japanese Journal of Crop Science* 53, 35-40.
- Gutierrez Boem F. 2008. Nutrición del cultivo. En: Kantolic A., Gutiérrez F., Satorre E. (eds.) Producción de Soja. Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola, Buenos Aires, pp. 45-53.
- Hartwig E. E. y Kilen T. C. 1991. Yield and composition of soybean seed from parents with different protein, similar yields. *Crop Science.* 31 (2): 290-292.
- Heatherly L. G. y Elmore R. W. 2004. Managing inputs for peak production. p. 451-536. In: H.R. Boerma and J.E. Specht (ed.) Soybeans: Improvement, production and uses. Agronomy. Monograph 16, 3a. edición. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.
- Herrero R., Cuniberti M. y Masiero B. 1999. Effect of planting date on the industrial quality of soybean. Proceedings del "World Soybean Research Conference VI". August 4-7, Chicago, Illinois, USA. Pág. 668-669.
- Herrero R., Cuniberti M., Mir L. y Conde B. 2017. Influencia del ambiente y la genética sobre la expresión de la cantidad de proteína y aceite de la soja. Actualización técnica de soja 2017, INTA EEA Marcos Juárez. Pp. 89-93.
- Imsande J. 1992. Agronomic characteristics that identify high yield, high protein soybean genotypes. *Agron. J.* 84: 409-414.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 1978. Carta de suelos de la República Argentina, hoja 3363-17 Marcos Juárez.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 1994. Guía para determinar el agua útil en el perfil de suelo. Información para extensión N° 8 ISSN 0327 697X pp.: 12.
- Kantolic A.G. y Slafer G. A. 2001. Photoperiod sensitivity after flowering and seed number determination in indeterminate soybean cultivars. *Field Crops Research* 72, 109-118.
- Kantolic A., Giménez G. y De La Fuente E. B. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en soja. En: E.H. Satorre; R.L. Benech A.; G.A. Slafer; E.B. de la Fuente, D.J. Miralles; M.E. Otegui y R. Savin

- (eds.), Producción de Cultivos de Granos: Bases Funcionales para su Manejo. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires, pp. 165-201.
- Kantolic A. y Satorre E. 2004. Elementos centrales de ecofisiología del cultivo de soja. Manual práctico para la producción de soja. Buenos Aires, Argentina, Hemisferio sur, 19-37.
- Kantolic A. G. y Slafer G. A. 2005. Reproductive development and yield components in indeterminate soybean as affected by post-flowering photoperiod. *Field Crops Research* 93, 212–222.
- Kantolic A. 2008 a. Control ambiental y genético de la fenología del cultivo de soja: impactos sobre el rendimiento y la adaptación de genotipos. *Revista de la Facultad de Agronomía* 28:63-88 ISSN 0325-9250.
- Kantolic A. 2008 b. Fecha y densidad de siembra. En: Kantolic, A., Gutiérrez, F., Satorre, E. (eds.) Producción de Soja. Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola, Buenos Aires, pp. 101-105.
- Kantolic A. G., Peralta G. E. y Slafer, G. A. 2013. Seed number responses to extended photoperiod and shading during reproductive stages in indeterminate soybean. *European Journal of Agronomy* 51, 91–100.
- Lavado R. S. 2010. Salinidad y alcalinidad: propiedades, efectos sobre los cultivos y manejo. En: Álvarez R; G Rubio; CR Álvarez; & RS Lavado, (eds.). Fertilidad de suelos caracterización y manejo en la región pampeana. Editorial facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires: Buenos Aires, Pp 21–44.
- Lawn R. J., Imrie, B. C. 1994. Exploiting Phenology in crop improvement: matching genotypes to the environment. *Crop Physiol. Abstr.* 20, 467-476.
- Leffel R. C. y Barber G. W. 1961. Planting date and Varietal Effects on Agronomic and Seed Compositional Characters in soybeans. *Bulletin A-117*, University of Maryland, College Park.
- Lobell D., Cassman K. y Field C. 2009. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 34, 179–204.
- Mangieri M., Martínez Noya S. y Pérez Recalde I. 2006. Variación de los parámetros de calidad en variedades de soja inscriptas durante el período 2000/06. Publicado en internet, disponible en: <http://www.inase.gov.ar>. Activo diciembre de 2017.
- Major D. J., Johnson D. R., Tanner J. W. y Anderson I.C. 1975. Effect of daylength and temperature on soybean development. *Crop. Sci.* 15:174-179.
- Martínez F. y Cordone G. 2015. Impacto de la fertilización en soja sobre la calidad del grano. *IAH* 18:17-21.
- Martini E. y Baigorri H. 2001. Manejo del cultivo de soja en suelos con influencia de napa freática. *Información para extensión N° 69*, INTA EEA Marcos Juárez.
- Martini E. y Baigorri H. 2004. Claves para la caracterización de un ambiente con influencia de napa freática. *Información para extensión N° 89*, EEA INTA Marcos Juárez pp. b 41-46.
- Menéndez F. 2008. Modelos zonales de producción en el movimiento CREA, Región Sur de Santa Fe. En: Kantolic, A., Gutiérrez, F., Satorre, E. (eds.) Producción de Soja. Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola, Buenos Aires, pp. 101-105.
- Ministerio de Agroindustria de La Nación. 2017. Datos Abiertos Agroindustria. (Disponible en: <https://datos.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones> Consultado 21/05/2017).
- Molino J. 2011. Estrés térmico por alta temperatura en soja (*Glycine max* (L.) Merr.): análisis de la dinámica de producción y fijación de vainas y su efecto sobre la

- determinación del rendimiento. Tesis de Magíster de la 42 Universidad de Buenos Aires, Área Producción Vegetal. Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires.
- Morandi E. N., Casano L. M. y Reggiardo L. M. 1988. Post-flowering photoperiodic effect on reproductive efficiency and seed growth in soybean. *Field Crops Research* 18, 227–241.
- Murgio M., Fuentes F., Salines L. A. y Soldini D. 2011. Respuesta de seis cultivares de soja en diferentes fechas de siembra. Actualización técnica de soja 2011, INTA EEA Marcos Juárez, pp. 118-122.
- Murgio M., Fuentes F., Salines L. A. y Soldini D. 2012. Respuesta de cuatro cultivares de soja en diferentes fechas de siembra. Actualización técnica de soja 2012. Ed. INTA EEA Marcos Juárez, pp. 31-36.
- Murgio M., Fuentes F., Lenzi L., Soldini D. y Salines L. 2014. Reducción del rendimiento en función del retraso de la fecha de siembra. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Marcos Juárez. Publicado en internet, disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/reduccion-del-rendimiento-en-funcion-del-retraso-de-la-fecha-de-siembra-en-el-cultivo-de-soja>. Activo diciembre de 2018.
- Murgio M., Formia M., Gassmann F., Bertone R., Fuentes F., Lenzi L. y Salines L. 2015. Fecha de siembra y grupos de madurez para la campaña 2014-15 en Marcos Juárez (ambiente con influencia de napa freática). Informe de actualización técnica de soja 2015, INTA EEA Marcos Juárez, pp. 39-46.
- Nico M., Miralles D. J. y Kantolic A. G. 2015. Post-flowering photoperiod and radiation interaction in soybean yield determination: Direct and indirect photoperiodic effects. *Field Crops Research* 176, 45–55.
- Nico M., Mantese A. I., Miralles D. J. y Kantolic A. G. 2016. Soybean fruit development and set at the node level under combined photoperiod and radiation conditions. *Journal of Experimental Botany*, 67, 365–377.
- Nicollier M., Le Roux M., Fuentes F., Lenzi L. y Murgio M. 2016. Fecha de siembra y grupos de madurez para la campaña 2015-16 en Marcos Juárez. Ambiente con influencia de napa freática. Informe de actualización técnica de soja 2016, INTA EEA Marcos Juárez, pp. 30-35.
- Nosetto M., Jobbagy E., Jackson R. y Sznajder G. 2009. Reciprocal influence of crops and shallow ground water in sandy landscapes of the Inland Pampas. *Field Crop Research*, 113: 138-148.
- Ortega A. 2014. Tablas de consulta para el manejo de la nutrición de cultivos y suelos 2a edición. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria EEA Salta.
- Otegui M. E. y López Pereira M. 2003. Fecha de siembra. En: Satorre E. H. B., 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. Editorial Facultad de Agronomía, UBA., Bs. Pp 259 – 274.
- Pascale A., Damario, E. 2004. Bioclimatología agrícola y agroclimatología. 550 p. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires.
- Pascale, A. 1969. Tipos agroclimáticos para el cultivo de soja en la Argentina. *Rev. Fac. Agronomía y Veterinaria* 14: 31-48.
- Pascale A. y Ravelo A. 1989. A world agroclimatic classification for soybean. *Proc. World Soybean research Conference IV*, Buenos Aires, 1: 142-150.
- Passioura J. 2002. Environmental biology and crop improvement. *Functional Plant Biology* 29: 537-546.



- Remussi C. y Pascale A. 1977. La soja. Cultivo, mejoramiento, comercialización y usos. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería, 2da. Edición, Tomo 2, Fasc. 12-4. 104 p, Ed. Acme SACI, Buenos Aires.
- Richards R. 1996. Defining selection criteria to improve yield under drought. *Plant Growth Regulation* 20: 157-166.
- Rizzo F., De Luca P., Gómez D., Iglesias R. y Aguilar J. 2011. Síntesis de resultados que ayudan a una mejor elección de la fecha de siembra, grupo de madurez y arreglo espacial. Actas de congreso Mercosoja 2011, Rosario, Argentina.
- Rose I. A. 1988. Effect of moisture stress on the oil and protein components of soybean seeds. *Aust. J. Agric. Res.* 39:163-170.
- Rotundo J. 2014. Bases funcionales de la determinación del rendimiento en soja. En: Sibaja, G., Satorre, E., Suárez, M. (eds.) Soja: claves para una producción rentable y sostenible. Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola, Buenos Aires, pp. 11-16.
- Salvagiotti F. 2009. Manejo de soja de alta producción. Para mejorar la producción. 45: 57 - 62.
- Schapaugh W. T. y Wilcox J. R. 1980. Relationships between harvest indices and other plant characteristics in soybeans. *Crop Sci.* 20: 529-533.
- Scilingo M., Cisneros J., Giayetto O. y Jobbagy E. 2012. Producción de soja y uso de agua freática en ambientes medanosos. AAPRESID, Revista Especial pp. 89-94. \*
- Slafer G. 2003. Genetic basis of yield as viewed from a crop physiologist's perspective. *Ann. Appl. Biol.* 142:117- 128.
- Soldini D. O., Masiero A. B. y Spontón F. V. 1995. Interacción Genotipos x Ambientes y efectos del sistema de labranza sobre caracteres de calidad industrial en soja. Compendio de trabajos del Primer Congreso Nacional de Soja. Segunda Reunión Nacional de Oleaginosos. pp.: 16-23.
- UN. 2015. United Nations Population division. World population prospects. The 2015 revision. (Disponible en: <http://www.un.org/esa/population/> Consultado 22/05/2017).
- Van Ittersum M. K. y Rabbinge R. 1997. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Res.*52:197-208.
- Vega C. R. C. y Salas G. 2012. Bases para el manejo del cultivo de soja. En H. E. J. Baigorri (In memoriam) & L. R. Salado Navarro, (Eds.). El cultivo de soja en Argentina. Agroeditorial, Vicente López, Argentina. Pp. 147-162.
- Vega C. R. C. y Andrade F. H. 2002. Densidad de plantas y espaciamento entre hileras. En: Andrade, F.H.; Sadras, V.O. Bases para el Manejo del Maíz, el Girasol y la Soja. INTA, Balcarce, Argentina, pp: 97-133.
- Vega C. R. C., Andrade F. H. y Sadras V. O. 2001. Reproductive partitioning and seed set efficiency in soybean, sunflower and maize. *Field Crops Research.* 72: 163-175.
- Vissani C., Fuentes F. y Murgio M. 2017. Fecha de siembra y grupos de madurez para la campaña 2016-17 en Marcos Juárez (ambiente con influencia de napa freática). Informe de actualización técnica de soja 2017, INTA EEA Marcos Juárez, pp. 51-58.
- Weiss M. E., Weber C. R., Williams L. F. y Probst A. H. 1952. Correlation of Agronomic Characters and Temperature with Seed Compositional Characters in Soybeans, as Influenced by Variety and Time of Planting. *Agronomy Journal.* V.44, P. 289-297.

Westgate M. E., Orf J., Schussler J. R. y Shumway C. 1995. Temperature regulation of seed composition in soybean. Inform 6:498.



## **ANEXO**

## Tabla Anexo 1

Fechas de ocurrencia de R3 y R6, duración, radiación solar fotosintéticamente activa incidente, temperatura media, cantidad de días con temperaturas máximas superiores a 26 °C, fotoperiodo promedio, déficit presión de vapor y profundidad promedio de la napa freática durante el período crítico de cinco genotipos de soja que difieren en la longitud de su ciclo de desarrollo, sembrados en seis fechas de siembra desde septiembre a enero. Ensayo conducido durante la campaña 2015/2016 en la localidad de Monte Buey, Córdoba.

Genotipo comercial	Grupo de madurez	Fecha de siembra	Fecha evento R3	Fecha evento R6	Duración R3 a R6 (días)	Radiación Fotosintéticamente Activa incidente (MJ.m-2)		Temperatura media R3 a R6 (°C)	Días con temperatura máxima mayor a 26 °C en el periodo R3-R6	Fotoperiodo promedio R3 a R6 (h)	Déficit de presión de vapor en el periodo R3-R6 (kPa)	Profundidad promedio de la napa freática (m)	
						R3-R6	R6-R8					R3-R6	S-R8
DM 3312	III corto	30/09/15	04/12/2015	17/01/2016	44	485.5	393.5	24,63	42	15,18	1,39	1,21	1,20
		19/10/15	17/12/2015	28/01/2016	42	461.7	274.3	25,28	40	15,08	1,45	1,36	1,20
		06/11/15	31/12/2015	08/02/2016	39	428.5	268.5	25,35	39	14,87	1,43	1,53	1,21
		01/12/15	20/01/2016	25/02/2016	36	372.9	217.0	26,00	36	14,40	1,45	1,45	1,17
		21/12/15	06/02/2016	11/03/2016	34	316.1	173.3	24,39	30	13,93	1,17	1,27	1,06
		12/01/16	23/02/2016	26/03/2016	32	256.7	98.1	21,88	24	13,40	1,04	0,91	0,92
DM 3810	III largo	30/09/15	08/12/2015	22/01/2016	45	500.8	378.1	25,16	43	15,15	1,43	1,20	1,18
		19/10/15	23/12/2015	04/02/2016	43	481.0	284.1	25,40	43	14,98	1,47	1,43	1,21
		06/11/15	03/01/2016	15/02/2016	43	467.4	265.4	25,50	43	14,75	1,45	1,54	1,20
		01/12/15	24/01/2016	01/03/2016	37	369.5	214.6	25,10	36	14,29	1,32	1,40	1,14
		21/12/15	10/02/2016	15/03/2016	34	312.9	150.1	23,75	30	13,80	1,15	1,27	1,12
		12/01/16	28/02/2016	31/03/2016	32	251.1	72.0	21,71	25	13,23	1,07	0,75	1,05
DM 4214	IV corto	30/09/15	16/12/2015	30/01/2016	45	496.8	314.6	25,24	43	15,07	1,43	1,39	1,19
		19/10/15	28/12/2015	09/02/2016	43	470.8	259.5	25,56	43	14,88	1,46	1,49	1,24
		06/11/15	09/01/2016	19/02/2016	41	444.0	246.1	25,76	41	14,63	1,47	1,53	1,22
		01/12/15	27/01/2016	06/03/2016	39	376.9	195.8	24,73	37	14,16	1,25	1,39	1,13
		21/12/15	13/02/2016	19/03/2016	35	305.8	125.7	23,22	30	13,68	1,10	1,08	1,05
		12/01/16	28/02/2016	31/03/2016	32	240.8	75.5	21,66	24	13,21	1,06	0,74	1,04
DM 4612	IV medio	30/09/15	19/12/2015	03/02/2016	46	512.9	287.0	25,20	45	15,01	1,45	1,39	1,19
		19/10/15	28/12/2015	11/02/2016	45	493.0	271.7	25,64	45	14,86	1,47	1,49	1,23
		06/11/15	11/01/2016	22/02/2016	42	450.7	230.4	25,87	42	14,56	1,48	1,50	1,18
		1/12/15	29/01/2016	08/03/2016	39	391.2	194.7	24,40	37	14,06	1,21	1,32	1,12
		21/12/15	13/02/2016	20/03/2016	36	315.6	137.1	23,21	31	13,68	1,09	1,06	1,05
		12/01/16	29/02/2016	02/04/2016	33	247.4	92.7	21,87	26	13,17	1,05	0,73	0,96
DM 4913	IV largo	30/09/15	20/12/2015	05/02/2016	47	515.0	317.2	25,31	47	14,99	1,45	1,40	1,19
		19/10/15	31/12/2015	15/02/2016	46	497.5	281.9	25,59	46	14,78	1,45	1,51	1,18
		06/11/15	12/01/2016	24/02/2016	43	452.5	247.6	25,93	43	14,53	1,47	1,46	1,12
		01/12/15	31/01/2016	11/03/2016	40	369.5	185.9	24,40	35	14,03	1,21	1,26	1,08
		21/12/15	14/02/2016	22/03/2016	37	301.2	135.5	22,93	29	13,64	1,08	1,03	1,04
		12/01/16	01/03/2016	04/04/2016	34	242.8	89.1	21,80	26	13,11	1,03	0,73	0,96



