



Crear... Crear... Crecer...

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO  
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

“Trabajo Final presentado  
para optar al Grado de Ingeniera Agrónoma”

**COMPORTAMIENTO FENOLÓGICO Y RENDIMIENTO DE  
CULTIVARES DE SOJA GM III Y V BAJO RIEGO EN RÍO  
CUARTO, CÓRDOBA**

**Alumna: Ponso, Daisi Analuz**

**DNI: 33.384.918**

**Director: Ing. Agr. Oscar Giayetto**

**Co-directora: Ing. Agr. María Belén Rosso**

**Río Cuarto – Córdoba**

**Agosto 2015**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**  
**CERTIFICADO DE APROBACIÓN**

Título Del Trabajo Final: *Comportamiento Fenológico y Rendimiento de Cultivares de Soja GM III y V Bajo Riego en Río Cuarto, Córdoba*

Autora: Ponso, Daisi Analuz  
DNI: 33.384.918

Director: GIAYETTO, Oscar  
Co-Director: ROSSO, María Belén

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la Comisión Evaluadora:

Prof. Ing. Agr. Elena M. Fernandez -----

Prof. Ing. Agr. Alfredo E. Ohanian -----

Prof. Ing. Agr. Oscar Giayetto -----

Fecha de Presentación: -----/-----/-----

Aprobado por Secretaría Académica: -----/-----/-----

-----  
Secretaria Académica

## DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Este trabajo va dedicado especialmente a mis padres, a quienes les agradezco profundamente su apoyo incondicional a lo largo de todos estos años, por sus enseñanzas de vida, mi formación como persona y por darme la oportunidad de poder seguir esta hermosa profesión.

A mis hermanas, Verónica e Ivana, por estar siempre.

A mi novio, Sebastián por todo su amor y compañía.

A mis sobrinos, Milena, Benjamín, Constanza y Joaquín, por toda la felicidad que me dan.

A mis cuñados, José y Jonatan.

A Florencia, que me diseñó la tapa del TFG.

A mis profesores, Oscar, Belén, Federico, Guillermo y Elena, por su dedicación, empeño y ayuda a mi trabajo.

A cada uno de mis compañeros/amigos que conocí en la carrera, que hicieron que cada día de estudio fuesen más divertidos y llevaderos.

A mis amigos de siempre, Belén, Estefanía, Alan, Iván, Daniel, Mariana, Florencia, Jenifer y Leopoldo.

## ÍNDICE GENERAL

Certificado de aprobación.....	II
Dedicatoria y agradecimientos.....	III
Índice General.....	IV
Índice de Cuadros.....	V
Índice de Figuras.....	VI
Resumen.....	VII
Summary.....	VIII
<b>Introducción</b> .....	9
Hipótesis y objetivos generales y específicos.....	15
<b>Materiales y Métodos</b> .....	16
<b>Resultados y Discusión</b> .....	18
Condiciones meteorológicas durante la estación de crecimiento del cultivo.....	18
Fenología y condiciones meteorológicas.....	20
Crecimiento.....	23
Rendimiento en granos y sus componentes.....	26
Relaciones entre la TCC y los componentes directos del rendimiento.....	30
Conclusiones.....	31
<b>Bibliografía</b> .....	32

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Estadios fenológicos del cultivo de soja.....	10
Cuadro 2: Fenología de los cultivares evaluados. Fechas de ocurrencia de cada fase y duración de las etapas en días (DDS) y °Cd acumulados desde la siembra.....	21
Cuadro 3: Condiciones meteorológicas prevalecientes durante las etapas vegetativas y reproductivas de los cultivares y su duración.....	22
Cuadro 4: Materia seca (MS) aérea acumulada durante el ciclo de los dos genotipos evaluados.....	23
Cuadro 5: Biomasa aérea total (BT) y su distribución en hojas, tallos y vainas+semillas en las fases fenológicas muestreadas para ambos genotipos (GM III y V), en gr.m <sup>2</sup> .....	25
Cuadro 6: Tasa de crecimiento del cultivo de ambos genotipos en los periodos vegetativo (E-R1) y reproductivo (R1-R5 y R5-R7).....	26

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Datos decádicos de precipitaciones (PP), evapotranspiración potencial (ETP) y déficit hidrológico (DH: PP-ETP) de la campaña 2011/12.....	18
Figura 2: Valores decádicos de radiación solar fotosintéticamente activa incidente durante la campaña 2011/12 y de la serie histórica de Río Cuarto (1977-2006).....	19
Figura 3: Promedios decádicos de la temperatura del aire (máxima, mínima y media) de la campaña 2011/12 y de la serie histórica de Río Cuarto (1977-2006).....	20
Figura 4: Biomasa aérea acumulada durante el ciclo de crecimiento de los cultivares evaluados en función del tiempo desde la siembra (días). Cada dato es promedio de 3 repeticiones.....	24
Figura 5: Rendimiento en granos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de ambos GM. Diferencias significativas entre promedios según test de Fisher ( $p= 0,05$ ).....	28
Figura 6 a: Número de granos. $\text{m}^2$ .....	28
Figura 6 b: Peso de 100 granos (g) de los dos GM.....	28
Figura 7: Relación entre la TCC entre R5 y R7 y el peso de 100 granos.....	30

# COMPORTAMIENTO FENOLÓGICO Y RENDIMIENTO DE CULTIVARES DE SOJA GM III Y V BAJO RIEGO EN RÍO CUARTO, CÓRDOBA

## RESUMEN

El ensayo se realizó en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía y Veterinaria-UNRC, sobre un Haplustol típico de textura franca arenosa fina. Los objetivos fueron evaluar la fenología, desarrollo, crecimiento, producción de biomasa y rendimiento en dos grupos de madurez de soja (*Glycinemax* (L.) Merrill), GM III y GM V bajo riego. Se dispusieron en un diseño de parcelas subdivididas en bloques al azar con tres repeticiones. La siembra se realizó el 02/11/2011 con una sembradora neumática de 9 surcos a 0.525 m y una densidad de 30 pl/m<sup>2</sup>. Los genotipos elegidos fueron GM III cv. TJ 2137 y GM V cv. NA 5509. El sistema de riego utilizado fue por aspersión con avance frontal. Conclusiones: En la fenología no se observaron cambios desde la siembra hasta R1, pero entre R1 a R5, el GM V fue el que desplazó más sus fases en el tiempo. Finalmente, R7 en el GM III se presentó a los 114 días desde siembra (DDS) mientras que el GM V presentó una diferencia, llegando a los 144 DDS. En ambos GM siempre se destacó con mayores valores de biomasa total el GM V, aunque diferencias significativas presentaron sólo en las etapas R1 y R3. La tasa de crecimiento en la etapa vegetativa, fue similar en ambos genotipos. Luego, en la primera parte del periodo reproductivo (R1-R5), el GM V superó levemente al GM III. El mayor contraste entre genotipos se produjo en la etapa R5-R7 (llenado de granos) en la que el GM III superó al V. El rendimiento promedio fue de 4493 kg/ha, pero el mayor resultado a favor del GM III con 4879 kg/ha.

Palabras claves: *Glycinemax*, Grupo de madurez, fenología, biomasa, tasa de crecimiento.

## PHENOLOGY AND YIELD OF SOYBEAN CULTIVARS GM III Y V UNDER IRRIGATION IN RÍO CUARTO, CÓRDOBA

### SUMMARY

The trial was conducted at the Experimental Field of the Agronomy and Veterinary UNRC, on a typical fine sandy loam Haplustol. The objectives were to assess the phenology, development, growth, biomass production and yield in two maturity groups of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill), GM III and V under irrigation. They were placed in a subdivided plot design in randomized blocks with three replications. Sowing took place on 02/11/2011 with a pneumatic drill grooves 9 0.525 m and a density of 30 pl / m<sup>2</sup>. The selected genotypes were GM III cv. TJ 2137 and GM V cv. NA 5509. The irrigation system used was spray with frontal advance. Conclusions: phenology, no changes were observed from planting to R1, but R1 to R5, GM V was the one who moved more stages in time. Finally, R7 in GM III was presented to the 114 days from sowing (DAS) while the GM V presented a difference, reaching 144 DDS. In both GM always stood out with higher values of total biomass GM V, although significant differences occurred only in stages R1 and R3. The growth rate in the vegetative stage was similar in both genotypes. Then, in the first part of the reproductive period (R1-R5), the GM V slightly outperformed the GM III. The biggest contrast between genotypes occurred in the R5-R7 stage (grain filling) in which surpassed GM III V. The average yield was 4493 kg / ha, but the biggest result in favor of GM III with 4879 kg / ha.

Key words: *Glycine max*, maturity group, phenology, biomass, growth rate.

## INTRODUCCIÓN

La soja es el cultivo oleaginoso que mayor crecimiento ha experimentado a nivel mundial. Argentina, en la campaña 2013/14 tuvo una superficie sembrada de 19.781.812 hectáreas, de las que se cosecharon 19.252.552, con una producción de 53.397.715 toneladas y un rendimiento medio de 2.774 kg/ha. En Córdoba, se sembraron 5.052.760 has, se cosecharon 4.965.360 has con una producción de 14.917.611 Tn y un rendimiento promedio de 3.004 kg/ha. En el Departamento Río Cuarto la producción fue de 2.108.980 Tn, el rendimiento medio de 2.580 kg/ha en una superficie sembrada y cosechada de 817.300 ha. (SIIA, 2015).

Esta especie tiene características morfo-fisiológicas con distintos hábitos de crecimiento (determinado, semideterminado e indeterminado) que según Bernard (1972), citado por Sadras *et al.* (2000), se debe a una diferente superposición de etapas vegetativas y reproductivas. Poseen, además, diferentes ciclos de crecimiento, denominados Grupos de Madurez (GM), desde el GM 000 al X, de los cuales en Argentina pueden sembrarse del II al IX, con una distribución geográfica de norte (GM IX) a sur (GM II) en función de la oferta de condiciones ambientales. Específicamente, en la región pampeana se pueden utilizar los GM III al VI (Álvarez y Mulin, 2004) pero, la potencialidad del cultivo varía entre las distintas zonas de producción, debido principalmente a las diferentes condiciones climáticas reinantes en cada una de ellas (Mambrin *et al.*, 2005).

Los Estadios fenológicos más relevantes para un cultivo anual son siembra-emergencia, iniciación floral, floración, madurez fisiológica y de cosecha (Sadras *et al.*, 2000). Por esto, es importante tener en cuenta la fenología como el estudio y explicación organizada de los cambios periódicos en apariencia y constitución de los seres vivos, influenciados por el clima. La fenología puede distinguirse en *cualitativa*, referida a los fenómenos visibles vinculados con el desarrollo, y *cuantitativa o fenometría* que aborda los fenómenos periódicos vinculados al crecimiento (Pascale y Damario, 2004). Según Seiler *et al.* (1995), la observación y cuantificación de los distintos procesos de los vegetales que se relacionan con los elementos y factores climáticos, significó un paso en el conocimiento de las formas y metodologías que permiten un aprovechamiento racional del medio ambiente en beneficio de la producción. Por lo cual, determinar correctamente el inicio, fin y la duración de las fases fenológicas es clave para relacionar al cultivo con su ambiente. Para ello, se han combinado los signos macroscópicos (floración) y microscópicos (iniciación floral) que experimenta un vegetal en diferentes escalas de desarrollo conformando claves fenológicas particulares (Pascale y Damario, 2004).

En el caso de la soja, la clave fenológica diseñada por Fehr y Caviness (1977) (Kantolic *et al.*, 2010 a), comprende un periodo vegetativo y otro reproductivo (Cuadro 1), existiendo una superposición de las etapas de desarrollo cuya magnitud depende del hábito de crecimiento del cada cultivar (determinado o indeterminado, principalmente).

**Cuadro 1.** Estadíos fenológicos del cultivo de soja.

<b>Etapas</b>	<b>Denominación</b>	<b>Características</b>
VE	Emergencia	Cotiledones sobre la superficie
Vn	Vegetativo “n” nudos	“n” nudos con hojas completas desplegadas
R1	Comienzo de floración	Una flor abierta en cualquiera de los nudos del tallo principal
R3	Comienzo de fructificación	Una vaina de 3-5 mm de largo en alguno de los cuatro nudos superiores del tallo principal
R5	Comienzo de llenado de granos	Semilla de 3 mm de tamaño en alguno de los cuatro nudos superiores del tallo principal
R6	Máximo tamaño de la semilla	Semillas que ocupan toda la cavidad en la vaina y se encuentra en alguno de los cuatro nudos superiores del tallo principal
R7	Comienzo de la madurez	Una vaina de la parte superior del tallo principal ya tiene su color característico (verde-amarronado)
R8	Plena madurez	El 95% de las vainas de la planta tienen el color característico de madurez (amarronado)

A continuación se describen las etapas fenológicas de mayor importancia en las decisiones de manejo del cultivo:

*Siembra-Emergencia:* la germinación comienza cuando la semilla tiene adecuadas condiciones de temperatura y humedad y embebe el 50% de su peso con agua. Luego, emerge la radícula, el hipocótilo y los cotiledones.

*Emergencia-Cotiledonar:* Al llegar los cotiledones a la superficie del suelo comienza a desplegarse la primera hoja unifoliada.

*Cotiledonar-Comienzo de floración:* Expansión de las hojas; las primeras hojas son unifoliadas y las siguientes trifoliadas. Dependiendo del GM se forman las ramificaciones a partir de las yemas axilares del tallo y de las nuevas ramificaciones. A medida que crece la parte aérea lo hace también el sistema radical, formado por una raíz principal y raíces secundarias llegando hasta profundidades de 2 m, aproximadamente.

*Floración-Llenado de granos:* la primera flor que aparece define el inicio de esta etapa. En general, se presentan agrupadas en racimos de hasta 35 flores, la duración varía de 5 a 7 semanas y en un mismo nudo puede haber diferentes estados de desarrollo (flores recién abiertas-marchitas-vainas en crecimiento). Luego, continúa el crecimiento de vainas y

granos. La aparición de hojas continúa hasta la fructificación, dependiendo del GM y su grado de indeterminación.

*Llenado de granos-Madurez:* Se define cuando la vaina alcanza la máxima longitud y se hace evidente el crecimiento de los granos. El máximo número de nudos, área foliar (AF) y altura, se alcanza en R5-R6. En estados más avanzados del llenado hay un cambio en la coloración de las hojas de verde a amarillento. El cultivo llega a madurez fisiológica (MF) cuando la semilla alcanza el máximo peso seco y la vaina toma un color marrón (Kantolic *et al.*, 2010a). Posteriormente, ocurre la pérdida de humedad del grano hasta alcanzar los valores cercanos a madurez de cosecha (MC) 13,5% (BCR, 2008).

La tasa de crecimiento del cultivo (TCC), biomasa acumulada por unidad de superficie y de tiempo, resulta del balance de dos procesos contrapuestos, la fotosíntesis y la respiración. Debido a que la fracción del carbono fijado que se destina a la respiración es casi constante, aumentos en la radiación interceptada por el cultivo se traducen en aumentos proporcionales de la tasa de crecimiento (Cárcova *et al.*, 2010; Navarro, 2012). Para obtener una TCC máxima durante una etapa determinada, es importante la velocidad de crecimiento del área foliar. Puede decirse que con el incremento del índice área foliar (IAF), aumenta también la TCC hasta que la planta logra capturar valores cercanos al 95% de la radiación solar incidente (Meneghello, 2006). Por tal motivo, la acumulación de materia seca al inicio del ciclo es lenta y se hace máxima al comienzo de la floración, durante el establecimiento de los frutos y la primera etapa del llenado de granos. Este periodo de máxima TCC dura entre 20 y 40 días, según cultivares y fechas de siembra. Luego, disminuye durante la etapa final del llenado de granos (después de R6) y se detiene poco después de R6.5. La acumulación de materia seca máxima y constante ocurre inicialmente en las estructuras vegetativas y luego cambia hacia las vainas y semillas. Después de R5.5 se alcanzan los valores máximos de materia seca vegetativa (Baigorri y Giorda, 1997). Para maximizar la TCC durante el periodo crítico, es necesario hacer coincidir este periodo con el momento de la estación de crecimiento en el que ocurre la máxima radiación incidente, siempre y cuando no se comprometa el estado hídrico del cultivo (Díaz Zorita, 2004).

La producción de biomasa puede ser afectada por un déficit hídrico, debido a una reducción del crecimiento, que afecta la intercepción de radiación, y también por una menor eficiencia de conversión de la misma. Un déficit puede perjudicar a los componentes del rendimiento, principalmente si ocurre en R5-R6 (número de granos fijados) y después de R6 (el peso) según (Andrade y Sadras, 2000).

El uso de riego permite mantener el contenido hídrico del suelo en niveles compatibles con los requerimientos del cultivo durante su ciclo y, en particular, durante el periodo crítico.

Según Morandi *et al.* (citado por Garófolo, 2005), la partición de asimilados de la planta afecta directamente el rendimiento ya que influye en la fracción de asimilados que se acumulan en las semillas y en el resto de la biomasa aérea y radicular, la que se sintetiza numéricamente a través del índice de cosecha (IC).

El resultado final del crecimiento del cultivo es el rendimiento, el cual está determinado por el número de granos por superficie y el peso de los mismos, siendo el periodo crítico más relevante para el rendimiento entre R4-R6 principalmente (Kantolic *et al.*, 2010a).

El número de granos y su peso están limitados por los asimilados durante la etapa R1-R5/R6. Estos dos componentes están relacionados y pueden experimentar compensaciones entre ellos. Si ocurre alguna deficiencia durante la etapa de R1-R3 no sería tan importante, como si ocurriera entre R4-R6 porque en esta última puede afectar seriamente el número de granos fijados, reduciendo la capacidad de compensar luego con el peso de los mismos. Este último depende de la TCC y la duración de la etapa del llenado y es afectado por la genética y las condiciones ambientales (Kantolic *et al.*, 2010a).

El rendimiento del cultivo es el producto de la interacción entre genotipo y ambiente, por lo que se puede decir que existen genotipos con rendimientos similares o diferentes en el mismo ambiente, y otros que muestran diferentes rendimientos en distintos ambientes (Enrico *et al.*, 2013).

Según Kantolic (2008), se debería contar con recursos ambientales óptimos durante el periodo crítico. También Ferreyra y Piatti (2013) y Martignone *et al.* (citado por Martignone *et al.*, 2010), mencionan que las variaciones ambientales y de genotipo influyen el crecimiento y los componentes del rendimiento, como número de granos y su peso unitario.

Durante el crecimiento vegetativo, es importante lograr un óptimo número de nudos/planta y adecuado desarrollo foliar para llegar al IAF crítico (IAFc) en una de las etapas de mayores requerimientos del cultivo (inicios de fructificación y comienzo de llenado de granos). Lograr el IAFc en estas etapas permite una máxima eficiencia en el uso de la radiación, por ende una mayor TCC y, consecuentemente, un mayor rendimiento (Board y Harville, citado por Enrico *et al.*, 2012). Se requieren las siguientes condiciones ambientales para que el cultivo tenga un adecuado crecimiento y desarrollo:

- Temperaturas óptimas para el desarrollo, comprendidas entre 20 y 30°C, siendo las temperaturas próximas a 30°C las ideales para su desarrollo. La temperatura adecuada para la siembra oscila entre 15 y 18°C y para la floración alrededor de 25°C (INFOAGRO, 2013). Las temperaturas cardinales varían durante el ciclo y son las que regulan el desarrollo (Kantolic *et al.*, 2006). Con relación a la temperatura base (Tb), la

bibliografía refiere diferentes valores como 9,9 °C (Angus, citado por Andrade y Sadras, 2002) y de 6 a 10°C (Toledo, 2009).

- Esta especie posee una respuesta al fotoperiodo de día corto cuantitativa (Gardner y Allard (1920), citado por Kantolic *et al.*, 2010).
- Respecto a la humedad, los requerimientos hídricos varían entre 450 y 700 mm para una producción adecuada (según Gil citado por Álvarez, 2010).

La adaptación del cultivo al ambiente está influenciada por el patrón fenológico. Los mismos pueden sortear situaciones de estrés cuando el periodo crítico ocurre en épocas más desfavorables. Puede mencionarse que el mecanismo de tolerancia a la pérdida de agua es el ajuste osmótico, el cual permite el mantenimiento parcial de la turgencia, ayudando al mantenimiento de la fotosíntesis, a la continuidad del crecimiento y al retraso de la senescencia foliar (Andrade y Sadras, 2000). Por lo que la práctica de riego, en el periodo de mayor demanda por parte del cultivo, posiciona al mismo en condiciones más favorables para lograr mayor biomasa y también mayor rendimiento.

Entre los antecedentes relacionados con la temática de este estudio se menciona a Ferreyra y Piatti (2013) de la EEA Manfredi (Córdoba), quienes evaluaron diferentes cultivares de GM II al VI, sembrados en 4 fechas 1°: 26/10/12, 2°: 15/11/12, 3°: 23/11/12 y 4°: 22/12/12. El GM III tuvo un ciclo total de 126 días tanto para la 1° y 2° FS, donde la duración entre etapas desde la siembra a R1, R5 y R7, duró 42, 36, 38 días para la 1° Fecha de Siembra (FS) y 34, 41 y 36 días para la 2° FS. El GM V tuvo una duración de ciclo total para la 1°FS de 147 días, con duraciones entre etapas desde la siembra a R1, R5 y R7 de 47, 45 y 38 días, respectivamente. Para la 2° FS el ciclo total fue de 139 días, y las etapas duraron 42, 46 y 37 días, respectivamente. Los rendimientos obtenidos en la 1° y 2° FS para el GM III fueron de 5419 y 4569 kg ha<sup>-1</sup>; mientras que para el GM V fueron de 5331 y 4569 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Pérez *et al.* (2012) en la EEA Gral. Villegas (Bs. As.) sembraron el 18/11/2011 varios cultivares de soja de los GM III Corto (III C); GM III Largo (III L); GM V Corto (VC), entre otros. El número de granos/m<sup>2</sup> fue de 1309 y el peso medio de 159,4 gr. con rendimientos medios de 2099 kg ha<sup>-1</sup> para todos los materiales, donde los GM IV largo y V corto son los que sobresalieron del resto de los GM, ante las condiciones climáticas de sequía durante la campaña 2011/12.

Por su parte Pérez *et al.* (2013) sembraron en varias regiones y el 20/11/12 cultivares similares a los mencionados en el párrafo anterior, obteniendo un rendimiento medio de 3985 kg ha<sup>-1</sup> para todos los GM evaluados, destacándose el GM III con los mayores rendimientos. Respecto al número de granos m<sup>-2</sup>, la media fue de 2302, donde el GM III L y

IV C se destacaron y el peso medio de 100 granos fue 172,8 g para todos los GM, con mayores pesos en el GM III largo y IV largo.

Por su parte Manso (2011), trabajando sobre el comportamiento de cultivares de soja bajo riego en el centro-sur bonaerense, utilizó cuatro cultivares de diferentes GM y crecimiento indeterminado (DM 2200, DM 3070, DM 3700 y DM 4210) sembrados en tres fechas de siembra. En todos los casos, se observó que el atraso en la siembra redujo la duración del ciclo del cultivo y que esa reducción fue más importante en los GM mayores, debido a la mayor sensibilidad de respuesta fotoperiódica de los mismos. La longitud de las etapas E-R1, R1-R5 y R5-R7 para el GM III L en la segunda fecha de siembra fue de 53, 34 y 34 días, respectivamente.

En función de lo reseñado, se considera importante generar información actualizada sobre el cultivo de soja en la región de Río Cuarto, planteando como línea de trabajo el comportamiento fenológico, crecimiento y rendimiento de cultivares representativos de los GM sembrados en esta región y sin limitaciones hídricas.

## **Hipótesis**

Las diferencias genotípicas de cultivares de distintos grupos de madurez (GM) de soja cultivados sin limitaciones hídricas, se expresan en función de las interacciones entre los procesos de desarrollo fenológico, crecimiento y definición del rendimiento y las condiciones ambientales que experimenta cada uno de ellos durante su ciclo.

## **Objetivos**

### **Objetivo general:**

Evaluar la fenología, el crecimiento y el rendimiento de dos cultivares de soja (GM III y V) cultivados bajo riego en Río Cuarto.

### **Objetivos específicos:**

- Registrar la ocurrencia de las fases fenológicas y cuantificar la duración de las etapas de dos GM sin limitaciones hídricas.
- Cuantificar el crecimiento de dos GM sin limitaciones hídricas y calcular la tasa de crecimiento del cultivo (TCC).
- Relacionar las condiciones ambientales durante los periodos críticos de cada genotipo con la TCC, el rendimiento en granos y sus componentes directos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía y Veterinaria UNRC (33° 07' S, 64° 14' W y 421 msnm), sobre un Haplustol típico de textura franca-arenosa-fina.

Los tratamientos evaluados fueron dos cultivares de soja representativos de los GM III y V en condiciones hídricas no limitantes. Se dispusieron en un diseño de parcelas subdivididas en bloques al azar con tres repeticiones. La siembra se realizó el 2 de noviembre de 2011 con una máquina de siembra directa y distribución neumática de semillas, de 9 surcos distanciados a 0,525 m y una densidad objetivo de 30 pl m<sup>-2</sup>. Se realizaron dos maquinadas para cada GM. Los cultivares elegidos fueron GM III: TJ 2137 y GM V: NA 5509.

La condición hídrica no limitante se obtuvo mediante la aplicación de riegos complementarios con un sistema de riego por aspersión de avance frontal. El criterio para la dotación fue mantener el contenido de agua útil del suelo cercano al 50-60% de su capacidad de almacenaje máxima, el cual se monitoreó semanalmente mediante la relación entre los datos de lluvia y ETP obtenidos de una estación agrometeorológica instalada en el mismo campo experimental. Un chequeo adicional se realizó a partir de datos de agua del suelo obtenidos mediante el método gravimétrico.<sup>1</sup>

En proximidad de la fecha de siembra, se realizó un muestreo compuesto de las capas superiores del suelo (0-20 y 20-40 cm) para verificar mediante un análisis químico la disponibilidad de nutrientes. Los resultados indicaron 1,8% de MO; 21,2 ppm de N-NO<sub>3</sub> (0-40 cm) y 25 ppm de fósforo (0-20 cm). A partir de esta información se decidió no fertilizar el ensayo. Tampoco se inocularon las semillas porque la parcela experimental posee registro de historial sojero.

Durante el ciclo del cultivo se realizaron controles fitosanitarios mínimos para mantener al cultivo libre de malezas, plagas y enfermedades.

---

<sup>1</sup>Datos registrados por la estudiante Soledad Scheurer para su trabajo final, desarrollado en el mismo contexto experimental de este trabajo.

## **Determinaciones realizadas**

### *Del cultivo:*

Se registró la fecha de siembra y ocurrencia de las fases fenológicas VE, V6/V7, R1, R3, R5, R7 y R8 según la clave de Fehr y Caviness (1977) y se calculó la duración de las respectivas fases en días y °CD utilizando una  $T_{base}$  aproximada entre 6°-9°C según Munier-Jolain *et al.* (1993) (citado por Kantolic *et al.*, 2013) y Angus *et al.* (1981) (citado por Sadras *et al.*, 2000 b). En cada fase se determinó la biomasa aérea producida mediante 3 muestreos de todas las plantas en 1 metro lineal de surco (equivalente a 0,52 m<sup>2</sup>) por tratamiento y repetición. Las plantas se separaron en sus órganos componentes (hojas, tallos+ramas, frutos y semillas) y se secaron en estufa con circulación forzada de aire a 80 °C hasta peso constante. Con estos datos se construyeron las curvas de crecimiento y se calculó la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) la cual se estimó como la biomasa producida por superficie y en un determinado periodo de tiempo (días).

A la madurez de cosecha se recolectaron todas las plantas de 5 muestras de 1 m<sup>2</sup> para cuantificar el rendimiento de granos y sus componentes directos (número y peso de semillas) e indirecto (número de plantas/m<sup>2</sup>).

### *Del clima:*

Se dispuso de datos meteorológicos (precipitaciones, ETP, temperatura y radiación solar incidente global) durante el ciclo del cultivo, obtenidos de la estación Agrometeorológica instalada en el área experimental (CAMDOCEX) en cercanías del ensayo.

## **Análisis de datos**

Para organizar los datos se trabajó con planillas de cálculo y para detectar diferencias debidas a los tratamientos se realizaron análisis estadísticos (ANAVA) y de comparación de medias (DMS al 0,05) de las variables evaluadas con el Programa INFOSTAT v. 2011 (Di Renzo *et al.*, 2011).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

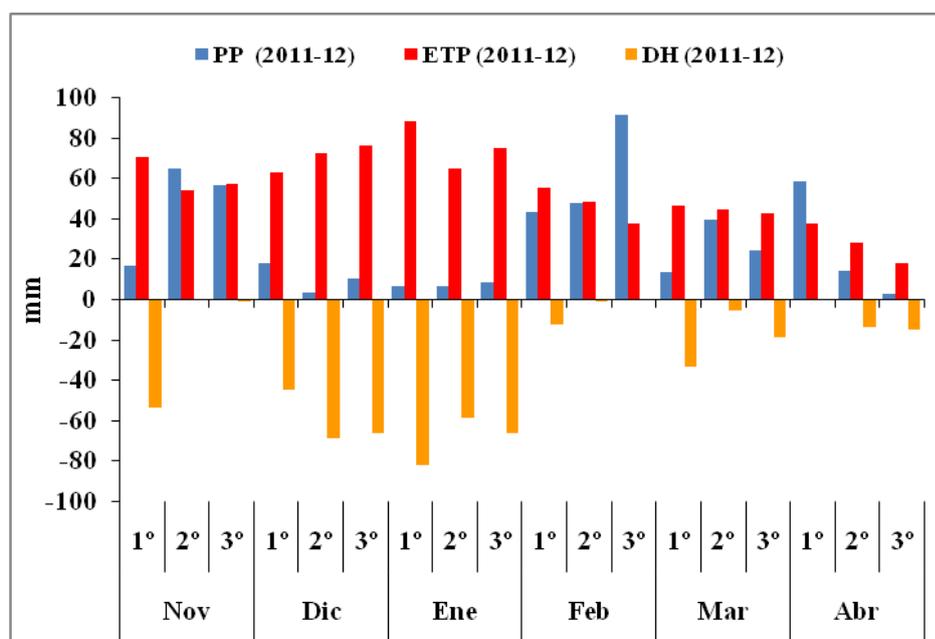
### Condiciones meteorológicas durante la estación de crecimiento del cultivo

#### *Precipitaciones y riegos aplicados*

Las precipitaciones (PP) de esta región se caracterizan por tener un régimen monzónico, con una media anual de 800 mm, presentando en los meses del ciclo del cultivo (noviembre-abril) una media acumulada de 665 mm para el periodo 1977-2006 y un valor acumulado para la campaña 2011/12 de 526 mm, inferior a la media histórica.

Si se comparan los valores de PP de la campaña bajo estudio y los promedios históricos, para los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril, se observa que en 2011/12 fueron 138, 32, 22, 182, 77 y 75 mm, respectivamente, mientras que los valores normales para los mismos meses son 120, 129, 137, 91, 94, y 94 mm respectivamente. Del contraste entre ambos, se observan diferencias en los meses de diciembre, enero y febrero, principalmente.

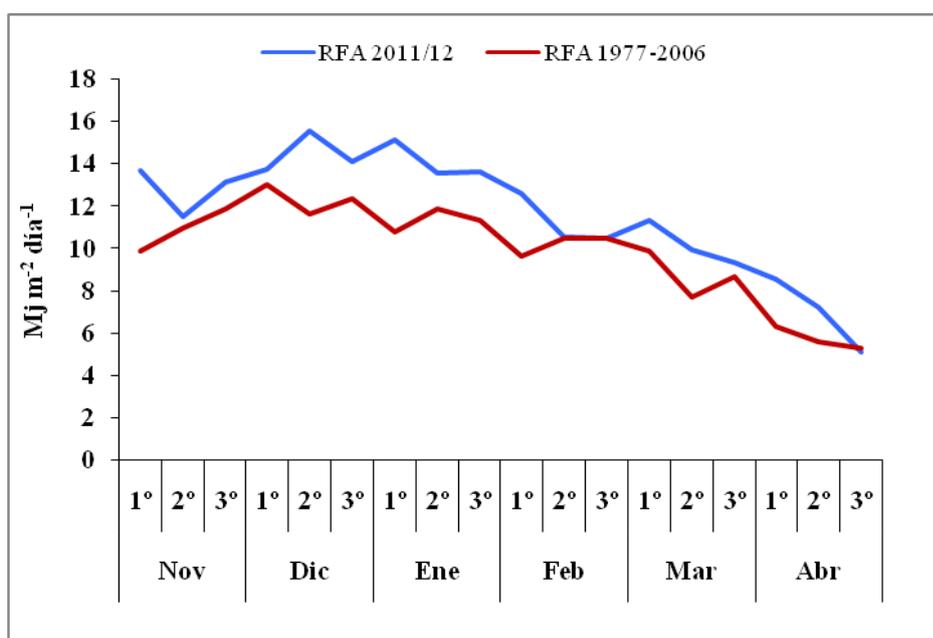
La figura 1, muestra la distribución decádica de las PP, la evapotranspiración potencial (ETP) y la relación entre ambas como una estimación del déficit hidrológico (DH) de la campaña, observándose DH en los meses de diciembre y enero, principalmente. Como se indicó en la metodología, a partir de los datos climáticos y de los monitoreos de agua del suelo, se decidieron los momentos y la dotación de riego, los cuales fueron cinco, de aproximadamente 70 mm cada uno (350 mm en total) aplicados el 23 y 31 de diciembre de 2011, el 6 y 17 de enero y el 1 de febrero de 2012.



**Figura 1.** Datos decádicos de precipitaciones (PP), evapotranspiración potencial (ETP) y déficit hidrológico (DH= PP-ETP) de la campaña 2011/12.

### ***Radiación solar***

En la figura 2 se muestran los valores medios decádicos de radiación solar fotosintéticamente activa incidente (RFAi) de la serie histórica (1977-2006) y la campaña 2011/12. La tendencia de ambos fue similar, aunque los datos de la campaña 2011/12 fueron superiores. Se observó un aumento progresivo que alcanzó los valores máximos en diciembre (1° y 2° década) y la declinación posterior hacia marzo-abril. Los valores más altos de RFAi registrados en diciembre y enero coincidieron con los periodos de déficit hídrico debidos a la escasez de precipitaciones y alta demanda atmosférica (ver figura 1).



**Figura 2.** Valores decádicos de radiación solar fotosintéticamente activa incidente durante la campaña 2011/12 y de la serie histórica de Río Cuarto (1977-2006).

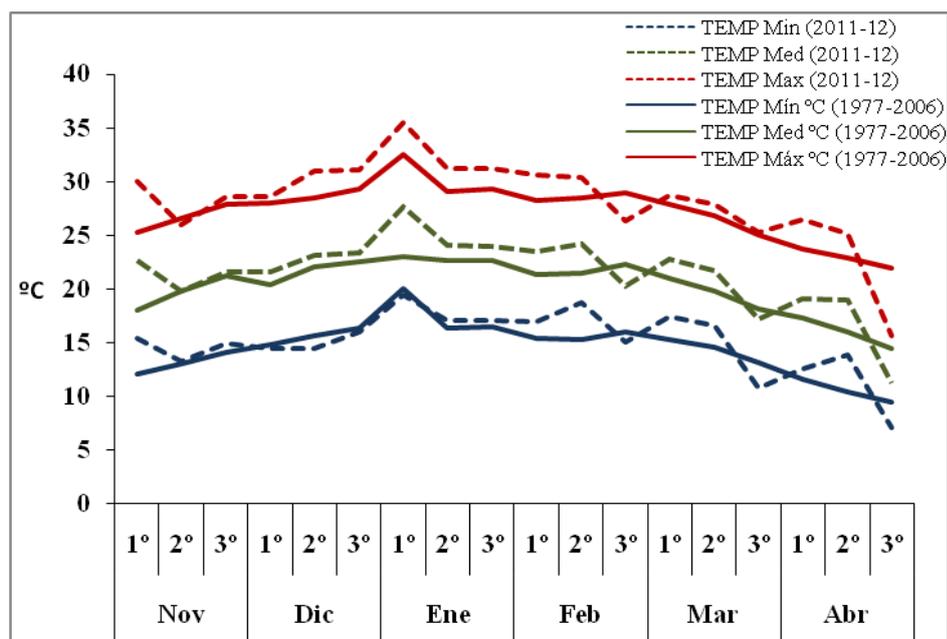
### ***Temperatura***

La temperatura del aire media normal (serie 1977-2006) de los meses noviembre a abril fue de 20,23 °C y su equivalente para la campaña del estudio 21,46 °C.

Respecto a los valores de las temperaturas del aire (media y máxima decádicas) durante el ciclo del cultivo, fueron superiores a los de la serie histórica 1977-2006 (figura 3), en particular entre la 3° década de noviembre de 2011 y la 2° década de febrero de 2012. A fines de diciembre y en enero se observaron los mayores valores de temperatura máxima media en coincidencia con la escasez de precipitaciones (ver figura 1) y sumado a la alta radiación solar incidente de diciembre. La combinación de estos factores determinó un ambiente de alta demanda evaporativa.

Por su parte, la temperatura mínima media también fue superior a la serie histórica desde la 2° década de enero hasta la 2° década de abril (con un valor menor en la 3° década de marzo de 2012).

Los valores promedio de temperaturas del aire, mínima y máxima, desde noviembre hasta abril de la campaña 2011/12 fueron de 15,07 °C y 28,31 °C con una amplitud térmica entre ambos de 13,21°C, en comparación con los valores promedios históricos de 14,49 °C y 27,21°C, los cuales presentan una amplitud térmica de 12,72 °C.



**Figura 3.** Promedios decádicos de la temperatura del aire (máxima, mínima y media) de la campaña 2011/12 y de la serie histórica de Río Cuarto (1977-2006).

### Fenología y condiciones meteorológicas

Según Pascale y Damario (2004), la fenología es el estudio y explicación organizada de los cambios periódicos en apariencia y constitución de los seres vivos, influenciados por el clima. En tal sentido, el cuadro 2 presenta las fechas de ocurrencias de las diferentes fases fenológicas y la duración en días después de la siembra (DDS) y tiempo térmico (TT) para los dos GM evaluados. La emergencia del cultivo ocurrió a los 15 días de la siembra. El periodo reproductivo se dividió en los subperíodos R1-R5 (que comprende las etapas R1-R3 y R3-R5), y R5-R7 (llenado de los granos). El primero de ellos, comenzó con la floración (R1) y se extendió hasta la definición, casi completa, del número de granos (R5). R1 se produjo entre los 42 y 47 DDS para los GM III y V, y la etapa hasta R3 tuvo una duración de 26 y 38 de días, respectivamente. La etapa R3-R5 tuvo una extensión similar en ambos materiales (14 y 13 días). Contrariamente, la duración del subperíodo R5-R7 varió entre

ambos cultivares con 32 días en el GM III y 46 días en el GM V. Finalmente, el ciclo completo del GM III fue de 114 días, mientras que el del GM V se extendió hasta los 144 días, en estrecha correspondencia con sus respectivas características genotípicas.

**Cuadro 2.** Fenología de los cultivares evaluados. Fechas de ocurrencia de cada fase y duración de las etapas en días (DDS) y °Cd, acumulados desde la siembra ( $T_{base} = 6^{\circ}C$ ).

Fases fenológicas	GM III			GM V		
	Fecha	DDS	°Cd desde la S	Fecha	DDS	°Cd desde la S
<b>S</b>	02/11/2011	0	0	02/11/2011	0	0
<b>E</b>	17/11/2011	15	220	17/11/2011	15	220
<b>V6</b>	05/12/2011	33	515	05/12/2011	33	515
<b>R1</b>	14/12/2012	42	663	19/12/2011	47	751
<b>R3</b>	09/01/2012	68	1163	26/01/2012	85	1456
<b>R5</b>	23/01/2012	82	1410	08/02/2012	98	1707
<b>R7</b>	24/02/2012	114	1970	26/03/2012	144	2430

Aunque ambos GM presentaron una duración similar para alcanzar la fase R1, una corrida del modelo SiFeSoja (v. 2010) (Peltzer y Peltzer, 2010) para GM similares, la misma fecha de siembra (FS) y latitud, muestra diferencia de ~20 días entre genotipos. Puede inferirse entonces que para la FS de este estudio (02/11/2011) y las condiciones ambientales descritas (en particular las temperaturas registradas), es esperable un menor tiempo a R1 del GM V, como efectivamente se produjo, resultando una escasa diferencia respecto al GM III.

Pueden mencionarse los estudios de Piatti y Ferreyra (2013) cuyos resultados difieren de los datos de Río Cuarto, teniendo en la etapa a R1 menores DDS, a R5 son similares y a R7 son similares a la 1° FS y diferentes de la 2° FS. Por su parte (Manso, 2011) quien trabajó con un GM III L similar, registró los días de E-R1, R1-R5 y R5-R7 donde fueron de 53, 34 y 34 días respectivamente, los cuales comparándolos con nuestros resultados aquí la etapa E-R1 fue menor (42 días), R1-R5 presentó mayor duración (40 días) y en R5-R7 hubo apenas dos días menos de diferencia.

El cuadro 3, contiene una síntesis de las condiciones meteorológicas registradas en el periodo vegetativo (S-R1) y reproductivo (R1-R7). Al primero se lo dividió en dos etapas: S-E y E-R1. Como ambos GM fueron sembrados en la misma fecha y demoraron el mismo tiempo en emerger (15 días), los datos meteorológicos durante la etapa S-E fueron iguales (temperatura media de 21,7 °C y 48 mm de lluvia). Durante la etapa E-R1, la temperatura media diaria fue similar para ambos cultivares ( $21,8 \pm 0,2^{\circ}C$ ), pero la máxima media fue un grado superior para el GM V, como también la RFAi acumulada con 447 Mj m<sup>-2</sup> respecto a 368 Mj m<sup>-2</sup> del GM III. El periodo vegetativo completo (S-R1) experimentó un déficit

hidrológico moderado (-127 mm), pero el contenido de agua útil del suelo se mantuvo por encima del 60% de su capacidad, razón por lo cual no se administró riego.

**Cuadro 3.** Duración y condiciones meteorológicas prevalecientes durante las etapas fenológicas.

<b>Etapas</b>	<b>GM</b>	<b>Duración</b> Días	<b>PP</b> mm	<b>R</b> mm	<b>ETP</b> mm	<b>DE</b> Mm	<b>Tm</b> °C	<b>Tmáx</b> °C	<b>RFAiac</b> Mj m <sup>-2</sup>
<b>S-E</b>	<b>III-V</b>	15	48	0	100	-52	21,7	28,1	201
<b>E-R1</b>	<b>III</b>	28	108	0	165	-57	21,3	28,1	368
	<b>V</b>	33	108	0	201	-93	21,6	29,0	447
<b>R1-R3</b>	<b>III</b>	26	14	210	213	0	25,0	33,0	370
	<b>V</b>	38	27	280	238	0	24,6	32,2	542
<b>R3-R5</b>	<b>III</b>	14	20	70	84	0	23,6	31,1	174
	<b>V</b>	13	45	70	91	0	25,1	32,1	168
<b>R1-R5</b>	<b>III</b>	40	34	280	290	0	24,7	32,3	569
	<b>V</b>	51	79	350	358	0	24,7	32,3	704
<b>R5-R7</b>	<b>III</b>	32	95	70	181	-16	23,5	30,1	391
	<b>V</b>	46	217	0	206	0	21,4	27,6	447

*Referencias:* PP: precipitación, R: riego; ETP: evapotranspiración potencial, DE: déficit hidrológico, Tm: temperatura media, Tmáx: temperatura máxima y RFAiac: radiación fotosintéticamente activa interceptada y acumulada.

El análisis del periodo reproductivo, basado en los datos meteorológicos de los subperíodos R1-R5 y R5-R7, muestra que el agua aportada por riego, principalmente en el primero de ellos (280 y 350 mm al GM III y V, respectivamente) cubrió satisfactoriamente la demanda atmosférica, permitiendo a ambos cultivares crecer y desarrollarse sin limitaciones hídricas aparentes. La temperatura media fue de 24,7 °C y la máxima media de 32 °C para ambos cultivares, mientras que la RFAi acumulada fue mayor en el GM V (704 Mj m<sup>-2</sup>) respecto al GM III (569 Mj m<sup>-2</sup>). En el subperíodo complementario (R5-R7), el último riego de 70 mm se aplicó sólo al GM III ya que por su ciclo más corto alcanzó antes la fase R5 y porque el GM V capturó 122 mm adicionales de lluvia en virtud de su ciclo más largo. Las temperaturas media y máxima media fueron menores en el GM V (21,4 y 27,6 °C) respecto al III (23,5 y 30,1 °C, respectivamente), ya que por esa misma característica (ciclo más largo) expuso parte del llenado de granos a condiciones térmicas en disminución. La RFAi acumulada, como en casi todas las etapas fenológicas analizadas, también fue superior en el GM V (447 Mj m<sup>-2</sup>) respecto al III (391 Mj m<sup>-2</sup>).

A diferencia de nuestro trabajo (RC) donde se aplicó riego; Pérez (2012) observaron que el GM III en los estadíos entre R1-R5 sufrieron déficit hídricos y donde el GM V posiblemente tuvo mayores posibilidades de reaccionar favorablemente ante las lluvias ocurridas en etapas más tardías.

## Crecimiento

### *Producción y acumulación de biomasa aérea*

En el cuadro 4 y la figura 4 se presentan los datos de materia seca (MS) aérea, cuantificada en diferentes fases fenológicas durante el ciclo de los cultivares evaluados y su dinámica temporal en función de los grados día (°Cd) y DDS, respectivamente.

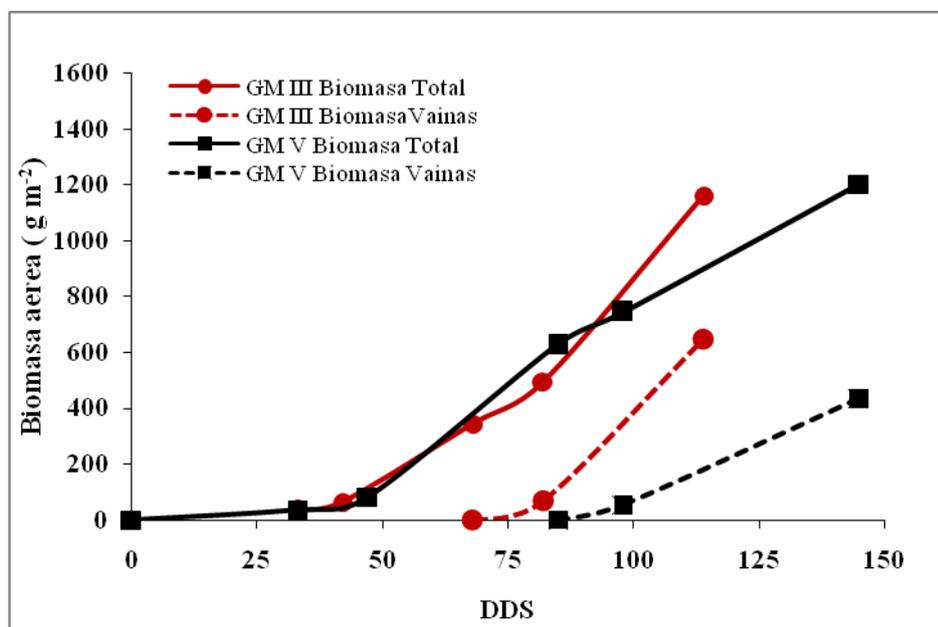
**Cuadro 4.** Materia seca aérea acumulada durante el ciclo de los dos genotipos evaluados.

Etapa	GM III			GM V		
	°Cd	DDS	Biomasa Total	°Cd	DDS	Biomasa Total
E	220	15	s/d	220	15	s/d
V6	515	33	35,8	515	33	41,5
R1	663	42	64,9	751	47	82,3
R3	1163	68	344,5	1456	85	592,7
R5	1410	82	495,3	1708	98	679,1
R7	1970	114	1161,8	2430	144	1220,2

La biomasa producida y acumulada fue superior en el cultivar V respecto al III, durante todo el ciclo. Así, la biomasa aérea total acumulada a R1, producto de la materia seca vegetativa (tallos+hojas), alcanzó valores de 64,9 (GM III) y 82,3 (GM V) g m<sup>-2</sup>. Entre R1-R5 el crecimiento continuó incrementándose hasta valores de 495,3 y 679,1 g m<sup>-2</sup> en el GM III y V, respectivamente, aumento al que contribuyeron la formación de los frutos y la continuidad del crecimiento vegetativo (hojas y ramas). Finalmente, en R7 los valores medios fueron 1161,8 y 1220,2 g m<sup>-2</sup> en la variedad III y V, respectivamente; debiéndose este incremento final al aporte del peso de los granos formados. El análisis estadístico reveló diferencias significativas entre cultivares sólo en las fases R1 y R3 a favor del GM V.

Estos resultados coinciden en parte con los de Buyatti y Sosa (2006) quienes evaluaron en (Corrientes-UNNE), cuatro cultivares de soja, del GM III al VI (DM3700, DM50048, TJ2055 y A6411), en distintas fechas de siembra y obtuvieron los mayores valores de biomasa aérea total en los grupos de madurez IV, V y VI principalmente en la siembra de septiembre.

La dinámica temporal del crecimiento (Figura 4) se observa en las curvas de biomasa aérea (total y reproductiva) de ambos genotipos en función del tiempo en días desde la siembra hasta la fase R7. El cultivar III finalizó su ciclo antes que el V debido a su precocidad genotípica, pero la biomasa total acumulada a R7 fue sólo ligeramente superior en el cultivar más largo y sin diferencias significativas entre ambos.



**Figura 4.** Biomasa aérea acumulada durante el ciclo de crecimiento de los cultivares evaluados en función del tiempo desde la siembra (días). Cada dato es promedio de 3 repeticiones.

En cuanto a la acumulación de biomasa en los órganos reproductivos (vainas+granos), el momento de inicio se produjo alrededor de la fase R3, con incrementos pequeños hasta R5 y un aumento casi lineal en la etapa R5-R7. Así, el GM III pasó de 69 a 647 gr m<sup>-2</sup> y el GM V de 54 a 436 g m<sup>-2</sup>; llegando a la fase R7 con una diferencia de 211 g m<sup>-2</sup> a favor del cultivar III (ver Cuadro 5).

#### *Distribución de biomasa aérea total en los diferentes órganos de la planta*

La distribución de biomasa a los diferentes órganos de la planta se presenta en el cuadro 5. En la etapa de S-V6 la biomasa de hojas, tallos y total (BT) por superficie fue similar en ambos cultivares (diferencia de 1,3 g m<sup>-2</sup> en BT). A R1, se detectaron diferencias levemente superiores (18,2 g m<sup>-2</sup> en BT) entre las variedades con los valores superiores en el GM V.

**Cuadro 5.** Biomasa aérea total (BT) y su distribución en hojas, tallos y vainas+semillas en las fases fenológicas muestreadas para ambos genotipos (GM III y V), en g m<sup>-2</sup>.

Fase	GM III					GM V				
	DDS	Hojas	Tallos	Vainas	BT	DDS	Hojas	Tallos	Vainas	BT
<b>S</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>V6</b>	33	25,7	9,2	-	35,0	33	26,2	10,0	-	36,2
<b>R1</b>	42	43,1	21,1	-	64,3	47	51,3	31,1	-	82,4
<b>R3</b>	68	185,2	159,3	-	344,5	85	256,1	371,7	-	627,8
<b>R5</b>	82	199,1	227,3	69,0	495,3	98	263,0	429,4	53,8	746,1
<b>R7</b>	114	214,6	299,8	647,4	1161,8	145	170,1	597,7	435,6	1203,5

En la fase R3, las diferencias entre genotipos aumentaron marcadamente. Para la BT el valor fue 283 g m<sup>-2</sup> a favor del GM V y debido mayoritariamente al aumento registrado en la materia seca de tallo (+ramas), propio de este GM que posee un mayor potencial de ramificación; mientras que la diferencia entre pesos secos de hojas fue de 71 g m<sup>-2</sup>. Esta tendencia se reprodujo en la fase R5 con una diferencia en peso seco de hojas de 64 g m<sup>-2</sup>, similar a la observada en la fase anterior y de 202 g m<sup>-2</sup> en tallo (+ramas). Sin embargo, en esa fase se detectó una primera diferencia en el peso seco de frutos (vainas+semillas) de 15 g m<sup>-2</sup> a favor del GM III, por lo que en conjunto la diferencia de BT entre cultivares fue de 251 g m<sup>-2</sup> a favor del GM V. En la fase R7, se reprodujo el patrón de respuesta descrito en R5, con una diferencia positiva de la biomasa de tallos (+ramas) de 298 g m<sup>-2</sup> a favor del cultivar V, y diferencias negativas (es decir, favorables al GM III) de 45 g m<sup>-2</sup> en biomasa de hojas y 212 g m<sup>-2</sup> en vainas+semillas. La resultante de este comportamiento explica la diferencia mínima de 42 g m<sup>-2</sup> entre BT del GM III (1162 g m<sup>-2</sup>) y el GM V (1204 g m<sup>-2</sup>) en la fase R7.

#### ***Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)***

La TCC expresa el ritmo de crecimiento a través de la acumulación diaria de biomasa por superficie. La misma está estrechamente relacionada con la radiación solar interceptada que, a la vez, depende de la cobertura (IAF) (Shibles y Weber citados por Garófolo, 2005). Los valores calculados para las etapas E-R1, R1-R5 y R5-R7 se muestran el cuadro 6. En la etapa vegetativa, la TCC fue similar en ambos genotipos (promedio de 2,49 ± 0,12 g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>). Luego, en la primera parte del periodo reproductivo (R1-R5), el GM V con 11,7 g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> superó levemente al GM III con un valor medio de 10,8 g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>. Pero el mayor contraste entre genotipos se produjo en la etapa R5-R7 (llenado de granos) en la que el GM III superó al V, con un valor de 20,8 versus 11,5 g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>, respectivamente. Ésta dinámica temporal tiene relación con la biomasa aérea total acumulada a lo largo del ciclo de los dos materiales en estudio (Ver Figura 4).

**Cuadro 6.** Tasa de crecimiento del cultivo de ambos genotipos en los periodos vegetativo (E-R1) y reproductivo (R1-R5 y R5-R7).

<i>Etapas</i>	<b>Tasa de crecimiento del cultivo</b>	
	$\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$	
	<b>GM III</b>	<b>GM V</b>
<b><i>E-R1</i></b>	2,40	2,57
<b><i>R1-R5</i></b>	10,76	11,70
<b><i>R5-R7</i></b>	20,83	11,51

Los datos observados anteriormente donde la TCC va en aumento hacia etapas reproductivas con valores máximos en la etapa R5-R7 para ambos GM, coinciden en general con lo mencionado por Baigorri y Giorda (1997) quienes describen que la acumulación de materia seca del cultivo es lenta al principio y se hace máxima generalmente a partir de R1, durante el establecimiento de los frutos y en la primera parte del llenado de granos hasta R5,5 aproximadamente; luego decaen a partir de R6-R6,5. Este periodo de máxima TCC puede variar entre 20 y 40 días, según cultivares y fechas de siembra.

Para maximizar la TCC durante el periodo crítico para la determinación del rendimiento, éste debiera coincidir con una adecuada radiación solar incidente y disponibilidad hídrica para el cultivo según Díaz Zorita (2004). En esa consideración, las deficiencias hídricas marcadas pueden tener prioridad por sobre los niveles de radiación. En este trabajo, los GM estudiados tuvieron buenas condiciones hídricas (lluvias+riego) en los subperiodos R1-R5 y R5-R7 y una adecuada cantidad de radiación fotosintéticamente activa incidente (RFAi) acumulada con diferencias ya mencionadas debidas a la longitud de los ciclos. Respecto a la temperatura media el GM III en el periodo de R5-R7 tuvo valores cercanos a la óptima de 23,5°C para soja en la cual según Boote *et al.* (citado por Kantolic *et al.*, 2013a) se maximizaría la TCC del grano en beneficio de este GM, en cambio el GM V presentó 21,4°C. Por otra parte la temperatura media máxima fue menor en el GM V, donde puede pensarse en un beneficio para este GM ya que esta etapa posiblemente ayude a una mayor duración, por lo que también si se lo relaciona a la radiación capturada también se vea beneficiado, sumado a la longitud del ciclo mayor.

### ***Rendimiento en granos y sus componentes***

El rendimiento del cultivo puede expresarse como el producto de dos componentes principales, el número de granos por unidad de superficie (NG) y el peso de los granos (PG). Si bien existen compensaciones entre ellos, sobre todo a nivel genotípico (variedades con semillas más grandes tienden a tener menos número de granos y viceversa), guardan cierta

independencia que permite suponer que un aumento en cualquiera de los dos puede producir un aumento del rendimiento. No obstante, en un rango amplio de condiciones agronómicas, el número de granos por unidad de superficie es el componente que mejor explica las variaciones del rendimiento (Díaz Zorita *et al.*, 2004).

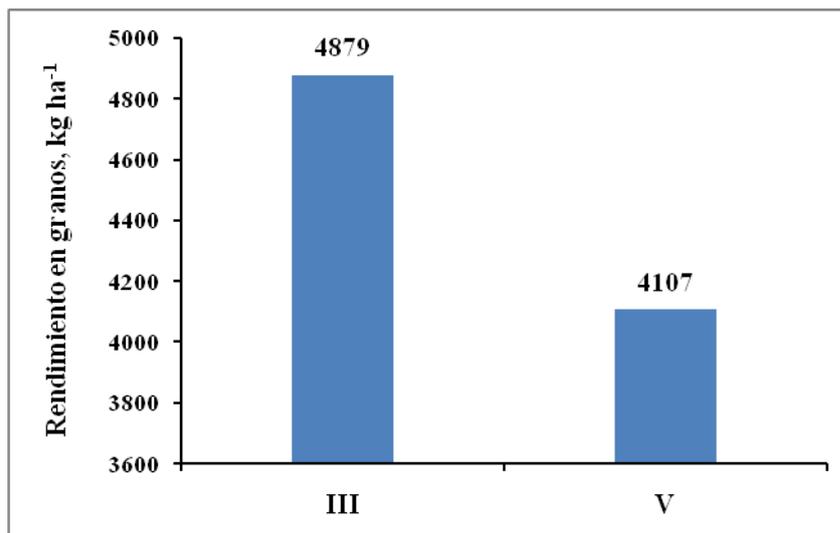
El rendimiento en granos obtenido en este trabajo (Figura 5) presentó diferencias significativas entre genotipos. Mayor rendimiento en el grupo de madurez (GM) III, con un valor medio de 4879 kg ha<sup>-1</sup>, esperable ya que bajo condiciones ambientales no limitantes los GM cortos suelen expresar su potencial de rendimiento y superar, eventualmente, a los cultivares de GM mayores, como ocurrió con el GM V en este estudio (4107 kg ha<sup>-1</sup>).

A diferencia de estos datos, Kantolic *et al.* (2013a) trabajaron con el GM III y V en Pergamino (Bs. As.); donde no se presentaron diferencias significativas en el rendimiento con valores medios de 3566 kg ha<sup>-1</sup> ya que el periodo crítico para el GM V se dio en condiciones menos adecuadas.

Los datos de este trabajo coinciden con los de Pérez *et al.* (2013) quienes obtuvieron un rendimiento medio de 3985 kg ha<sup>-1</sup> para todos los GM evaluados y se destacó el GM III con mayores rendimientos ante una mejor condición climática.

Por su parte Álvarez *et al.* (2004), quienes trabajaron con cultivares de soja del GM II al V con riego en tres campañas (2001/2004), encontraron que el rendimiento medio ponderado para las tres campañas analizadas, fue de 2984 kg ha<sup>-1</sup>.

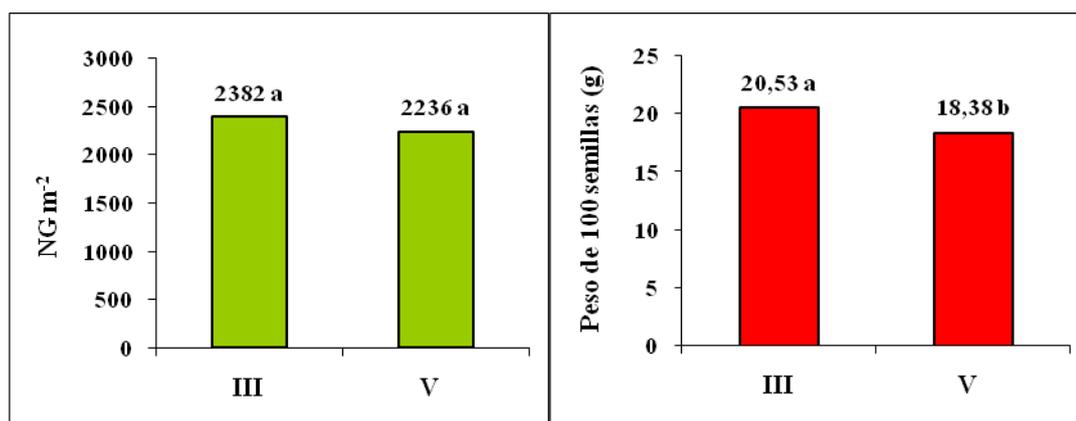
A diferencia de estos estudios, Pérez *et al.* (2012) obtuvieron rendimientos medios de 2099 kg ha<sup>-1</sup> para todos los materiales evaluados, donde los GM IV largo y V corto sobresalieron del resto de los GM, ante las condiciones climáticas de sequía presentadas en esta campaña. Por otra parte, en el INTA de Concepción del Uruguay obtuvieron rendimientos de las variedades DM3810 y NA5009, sembradas en noviembre y seco, donde muestran una leve tendencia de mayores rendimientos bajo condiciones limitantes de los GM largos (De Battista *et al.*, 2012).



**Figura 5.** Rendimiento en granos (kg ha<sup>-1</sup>) de ambos GM. *Diferencias significativas entre promedios según test de Fisher (p=0,05).*

La importancia del ambiente por sobre los cultivares en la variación de los rendimientos ha sido confirmada por diferentes investigadores, entre ellos Martignone *et al.* (2008) (citado por Manso, 2011) quienes determinaron que las diferencias climáticas de las campañas tuvieron una mayor incidencia en la variación de los rendimientos que las características de los cultivares.

La figura 6 muestra los componentes directos del rendimiento, número de granos (NG) y su peso individual (PG) en las dos variedades estudiadas.



**Figura 6.** Número de granos.m<sup>-2</sup> y peso de 100 granos (g) de los dos GM. *Las diferencias entre ambos cultivares fueron significativas sólo para el peso individual de granos, según test de Fisher (p=0,05).*

El GM III presentó los mayores valores de ambos componentes, pero con diferencias significativas sólo para el peso individual de los granos. No obstante, el número de granos

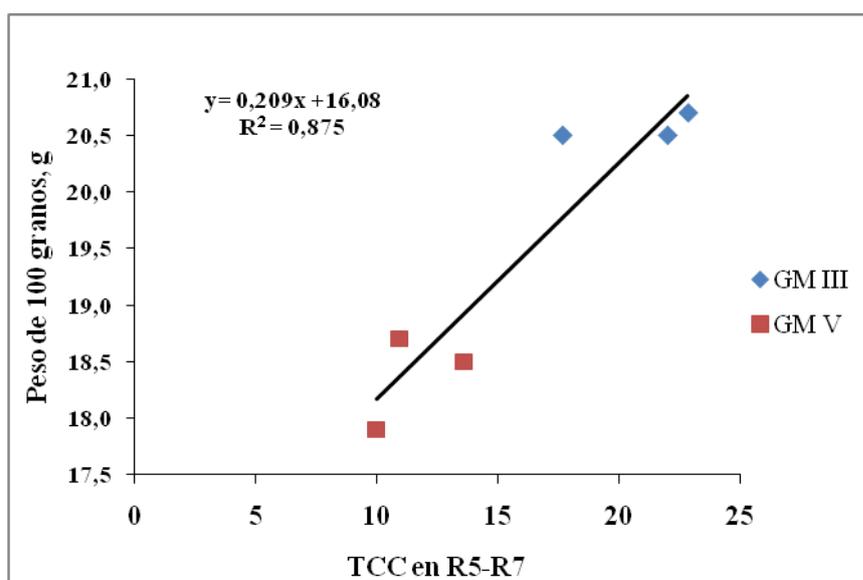
por  $\text{m}^{-2}$  tuvo la misma tendencia observada en el rendimiento de granos que fue superior en el GM III, lo que soporta la mayor influencia de este componente respecto al peso individual. A diferencia de nuestro trabajo Pérez *et al.*, (2012) encontraron, que el NG promedio para todos los GM evaluados fue de 1309 granos  $\text{m}^{-2}$ , con valores de 1083 para el GM III L para esa campaña.

A grandes rasgos se observa que el GM III presentó valores de peso de 100 granos entre 20,5 y 20,7 g, un valor medio de 20,57 g con valores de TCC promedios de 20,83  $\text{grm}^{-2}$  día<sup>-1</sup>. El GM V presentó valores de peso de 100 granos entre 17,9 y 18,7 g con una media de 18,36 g y una TCC de 11,76  $\text{gr m}^{-2}$  día<sup>-1</sup>; es decir menores pesos de granos con menor TCC.

El peso individual (PG) coincide en parte con lo reportado por Pérez *et al.* (2012) quienes observaron para la FS 15/11/2011 datos de peso de 1000 granos, donde el GM III L, los GM IV y el GM V se diferenciaron estadísticamente del GM II y GM IV corto, a su vez puede mencionarse que se destacó el GM III con los mayores valores (185 g), coincidiendo con nuestro trabajo donde el GM III obtuvo los mayores pesos de granos comparado al GM V. Por su parte Zuil (2011), realizó un ensayo de rendimiento de cultivares de soja bajo riego en INTA Reconquista, donde obtuvo el peso de mil semillas de las variedades A800, MUNASQA y DK 5520 siendo de 117, 124 y 172 g, respectivamente, para la fecha de siembra del 11 diciembre.

### Relaciones entre la TCC y los componentes directos del rendimiento

El análisis de las relaciones entre la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) y los componentes del rendimiento (NG y PG) mostró una tendencia positiva y significativa en la etapa R5-R7 entre la TCC y el PG. La misma responde al comportamiento de los cultivares reflejado en la distribución de los pares de datos en la figura 7, correspondiéndole al GM III los valores más altos de TCC y consecuentemente de peso individual de los granos.



**Figura 7.** Relación entre la TCC entre R5 y R7 y el peso de 100 granos de ambos cultivares.

Con respecto al número de granos por superficie y la TCC en la etapa R1-R5, no se detectaron diferencias entre los cultivares evaluados.

El periodo R5-R7 el GM III tuvo un déficit hídrico mínimo, una elevada radiación solar acumulada de  $391 \text{ MJ m}^2$ , importante para el periodo de llenado, con temperaturas medias cercanas a las óptimas de  $23,5 \text{ }^\circ\text{C}$  y temperaturas máximas del orden de  $30,1^\circ\text{C}$ . Esto pudo beneficiar en tener mayores TCC, las cuales se tradujeron en mayores pesos de los granos. En comparación con el GM V que tuvo mayor radiación acumulada  $447 \text{ MJ m}^2$  debido a la mayor duración de esa etapa, con temperaturas máximas de  $27,6 \text{ }^\circ\text{C}$  y medias de  $21,4 \text{ }^\circ\text{C}$ , levemente inferiores al GM III (ver Cuadro 3).

## CONCLUSIONES

Este ensayo en la zona rural de Río Cuarto, y bajo las condiciones edafo-climáticas para la campaña 2011-12, permitió registrar los estadíos fenológicos para el GM III y V en riego, donde desde siembra a R1 no se presentaron diferencias entre los GM; pero entre los estadíos R1, R5, y R7, el GM V fue el que más retrasó sus etapas fenológicas por tener un ciclo más largo.

Respecto a la biomasa total para ambos GM, la etapa vegetativa (S-R1) presentó valores bajos, luego aumentó de forma más notoria hacia las etapas de (R1-R5) donde se destacó el GM V con mayores valores, debido a su capacidad de ramificación y follaje. Finalizando en R7, ambos GM con valores relativamente similares, pero sobresaliendo el GM V.

La tasa de crecimiento en etapas tempranas del cultivo (S-R1) fue baja, luego aumentó hasta R5 en ambos GM, siendo levemente superior en el GM V; luego en la etapa R5-R7 el GM III superó ampliamente al GM V.

Respecto al rendimiento, los mayores valores los obtuvo el GM III en ambos componentes del rendimiento (NG y PG), pero con diferencias significativas sólo en el peso de los granos.

Las relaciones entre la TCC y los componentes del rendimiento (NG y PG) mostraron una tendencia positiva y significativa para la etapa R5-R7 con el PG, con los mayores valores en el GM III.

Es una temática importante para obtener datos acerca del comportamiento de los GM estudiados en condiciones hídricas no deficitarias, considerando que son los GM más utilizados en general en esta zona agrícola.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- ÁLVAREZ, C. y E. MULIN. 2004. *El gran libro de la siembra directa*. Editorial: Facultad de Agronomía UBA- Clarín Rural. Cap. 14, p: 154.
- GIORDA, H. y L. BAIGORRI.1997. *El cultivo de soja en Argentina*. Ediciones INTA Regional Córdoba. EEA Marcos Juárez – EEA Manfredi. Publicación de Editar Cap. 2 p: 29-48.
- BOLSA DE COMERCIO DE ROSARIO. 2008. En: [www.bcr.com.ar/Normas/normas/NORMA %20SOJA%20151-2008.pdf](http://www.bcr.com.ar/Normas/normas/NORMA%20SOJA%20151-2008.pdf). Consultado: 02/07/2015.
- BUYATTI, L. y M.A. SOSA. 2006. *Evaluación de materia seca de biomasa total de soja, según fecha de siembra y grupo de madurez, en los estadíos fenológicos R5 y R6*. Resumen A-049. Universidad Nacional del Nordeste (Corrientes). En: [www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt2006/05-Agrarias/2006-A-049.pdf](http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt2006/05-Agrarias/2006-A-049.pdf). Consultado: 03/05/15.
- CÁRCOVA, J.; L.G. ABELEDO y M. LÓPEZ. 2010. Análisis de la generación del rendimiento: Crecimiento, Partición y Componentes. En: SATORRE E.H.; R.L. BENECH ARNOLD.; G.A. SLAFER.; E.B. DE LA FUENTE; D.J. MIRALLES; M.E. OTEGUI; R. SAVIN. *Producción de granos. Bases funcionales para su manejo*. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Cuarta edición. Cap. 6. p: 75-77.
- DE BATTISTA, J.; N. ARIAS; G. BURGOS; M. CARIGNANO y M. ORELLANO. 2012. *Comportamiento de cultivares de soja en fechas de siembra. Campaña 2011/2012*. Boletín técnico. INTA EEA Concepción del Uruguay. Facultad de Ciencias Agrarias, UCU.
- DI RIENZO, J.A.; F. CASANOVES; M.G. BALZARINI; L. GONZALEZ; M. TABLADA y C.W. ROBLEDO. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. En: [www.infostat.com.ar](http://www.infostat.com.ar). Consultado: 03/08/14.
- DIAZ ZORITA, M. y G.A. DUARTE. 2004. *Manual Práctico para la producción de soja*. Ed. Hemisferio Sur. Cap. 1, p: 31-35.
- ENRICO, J.M; M.B.CONDE; R.A. MARTIGNONE y M.L. BODRERO. 2013. *Soja: evaluación de la estabilidad del rendimiento según fechas de siembra*. INTA EEA Oliveros. p. 71-78. En: [www.inta.gov.ar/documentos/red-nacional-de-evaluacion-de-cultivares-de-soja-ensayos-comparativos-de-rendimiento.-campana-2012-13/at\\_multi\\_download/file/INTA-soja-evaluacion-estabilidad-rendimiento-segun-fechas-siembra.pdf](http://www.inta.gov.ar/documentos/red-nacional-de-evaluacion-de-cultivares-de-soja-ensayos-comparativos-de-rendimiento.-campana-2012-13/at_multi_download/file/INTA-soja-evaluacion-estabilidad-rendimiento-segun-fechas-siembra.pdf). Consultado: 03/08/2014.
- FORJAN, H.J.; Z. LOPEZ y M.L. MANSO. 2011. *Comportamiento de cultivares de soja bajo riego en el centro-sur bonaerense*. Boletín Técnico. Ed. INTA.

- GAROFOLO, G. 2005. *Fecha de Siembra Tardía y Cultivares de Soja de Diferentes de GM*. TFG. FAV-UNRC. 22p.
- GIMENEZ, B. L. 2005. *Efecto del largo del ciclo, fecha de siembra y localidad sobre el rendimiento de soja en Uruguay*. Boletín técnico T161. En: [inta.gob.ar/documentos/efecto-del-riego-sobre-el-rendimiento-de-soja-en-el-norte-de-santafe/at\\_multi\\_download/file/INTA\\_%20VyE\\_NRO27\\_Efecto\\_del\\_riego\\_enel\\_%20rendimiento\\_de\\_la\\_soja\\_enel\\_%20N\\_de\\_%20Santa\\_Fe.pdf](http://inta.gob.ar/documentos/efecto-del-riego-sobre-el-rendimiento-de-soja-en-el-norte-de-santafe/at_multi_download/file/INTA_%20VyE_NRO27_Efecto_del_riego_enel_%20rendimiento_de_la_soja_enel_%20N_de_%20Santa_Fe.pdf) .Consultado: 29/10/2014.
- INFOAGRO. 2013. *Herbáceas Soja Exigencias en clima y suelo*. En: [infoagro.com/herbaceos/industriales/soja.htm](http://infoagro.com/herbaceos/industriales/soja.htm). Consultado: 15/11/13.
- KANTOLIC, A.G. 2008. *Producción de soja*. CREA. Bs. As. Cap.1. p. 13-21.
- KANTOLIC A.; P. GIMÉNEZ y E. DE LA FUENTE. 2010a. *Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en soja*. En: SATORRE E.; R. BENECH ARNOLD; G. SLAFER; E. DE LA FUENTE; D. MIRALLES; M. OTEGUI; R. SAVIN. *Producción de granos. Bases funcionales para su manejo*. Cap. 9, p: 166-201.
- KANTOLIC, A.; E. DE LA FUENTE y P. GIMÉNEZ. 2013a. *Soja -Productores de aceite*. En: E. DE LA FUENTE, A. GIL., A. KANTOLIC., M. PEREZ PEREIRA., E. PLOCHUK., P. GIMENEZ., N. GOMEZ., A. LENARDIS., D. SORLINO., M. VILARIÑO., D. WASSNER y L. WINDAUER. *Cultivos industriales*. Editorial Facultad de Agronomía, UBA Buenos Aires, 3º edición. Cap.2.2. p: 117-165.
- MAMBRIN, M.; G.D.L DEBORTOLI; R. BAST; M. MÉNDEZ y H. CURRIE. 2005. *Evaluación del rendimiento de soja bajo riego en dos modalidades y secano*. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2005. Resumen: A-037 En: [ww.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/com2005/5-Agrarias/037.pdf](http://ww.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/com2005/5-Agrarias/037.pdf). Consultado: 28/08/14.
- MANSO, M.L.; H.J. FORJAN y Z. LOPEZ. 2011. *Comportamiento de cultivares de soja bajo riego en el centro sur bonaerense*. MERCOSOJA 2011. Rosario, Santa Fé, Argentina.
- MARTIGNONE, R. A.; J.M. ENRICO; M.L. BORDERO y J.M. ANDRIANI. 2010. *Factores asociados con la variabilidad de rendimientos entre grupos de madurez en soja*. Fisiología Vegetal, Facultad Ciencias Agrarias, CIUNR, Universidad Nacional de Rosario, Zavalla. Área Agronomía, E.E.A. Oliveros INTA, 2206 Oliveros, Argentina. p: 25-34. En: [inta.gob.ar/documentos/factores-asociados-con-la-variabilidad-de-rendimientos-entre-grupos-de-madurez-en-soja/at\\_multi\\_download/file/factores-asociados-con-la-variabilidad.pdf](http://inta.gob.ar/documentos/factores-asociados-con-la-variabilidad-de-rendimientos-entre-grupos-de-madurez-en-soja/at_multi_download/file/factores-asociados-con-la-variabilidad.pdf). Consultado: 02/07/15.

- MENEGHELLLO M. 2006. *Comportamiento de soja Glycine max (L.) Merr.) GM VI en dos fechas de siembra*. Trabajo Final de Grado. FAV – UNRC. 26 p.
- NAVARRO, L. 2012. Ecofisiología de Soja. En: BAIGORRI, H. y L. NAVARRO. *El Cultivo de Soja en Argentina*. Editorial: Agroeditorial. Cap. 4. p: 83-87.
- PASCALE, A.J.; A.M. PLANCHUELO-RAVELO; A.C. RAVELO y R.A. SELIRER. 1986. *Manual para el Curso de Capacitación en Agrometeorología, Evaluación del Estado de los Cultivos y Pronóstico de Rendimientos*. PRONAREG-INAMHI-AID, Quito, Ecuador. 126 p.
- PASCALE, A.J. y E. A. DAMARIO. 2004. Fenología. En: *Bioclimatología Agrícola y Agroclimatología*. Facultad Agronomía. Universidad Nacional de Buenos Aires. Primera Edición. Cap. 3, p: 37-53.
- PELTZER, H. y N.G. PELTZER.2010. *Modelo de Simulación de Fenología de Soja-SI. FE. SOJA*. Edición INTA. EEA Paraná. En: [external.informer.com/o/inta.gov.ar/parana%2Finfo%2Fotra\\_info%2Fsoftware%2Fsifesoja.htm/AA001290](http://external.informer.com/o/inta.gov.ar/parana%2Finfo%2Fotra_info%2Fsoftware%2Fsifesoja.htm/AA001290). Consultado: 08/12/11.
- PEREZ, L., M. PEREZ y C. SCIANCA. 2012. *Comportamiento de cultivares de soja campaña 2011/2012*. Memoria técnica. General Villegas: Ediciones INTA. En: [inta.gob.ar/documentos/efecto-de-la-fecha-de-siembra-sobre-cultivares-de-soja.-campana-2011-2012/at\\_multi\\_download/file/INTA\\_MT2012\\_Perez\\_Comportamiento\\_CV\\_soja.pdf](http://inta.gob.ar/documentos/efecto-de-la-fecha-de-siembra-sobre-cultivares-de-soja.-campana-2011-2012/at_multi_download/file/INTA_MT2012_Perez_Comportamiento_CV_soja.pdf). Consultado: 17/11/14.
- PEREZ L.; M. PEREZ y C. SCIANCA. 2012. *Efecto de la fecha de siembra sobre cultivares de soja Campaña 2011/2012*. Memoria técnica. General Villegas: Ediciones INTA. En: [inta.gob.ar/documentos/efecto-de-la-fecha-de-siembra-sobre-cultivares-de-soja.-campana-2011-2012-1/at\\_multi\\_download/file/INTA\\_MT2012\\_Perez\\_Efecto\\_FS\\_cultivares.pdf](http://inta.gob.ar/documentos/efecto-de-la-fecha-de-siembra-sobre-cultivares-de-soja.-campana-2011-2012-1/at_multi_download/file/INTA_MT2012_Perez_Efecto_FS_cultivares.pdf). Consultado: 12/09/14.
- PÉREZ M.; A. LARDONE y C. JUSTO. 2013. *Comportamiento de cultivares de soja campaña 2012-2013*. Memoria Técnica. General Villegas: Ediciones INTA. p. 52-56. En: [inta.gob.ar/documentos/comportamiento-de-cultivares-de-soja-campana-2012-13/at\\_multi\\_download/file/INTA\\_MT2013\\_Perez\\_Comportamiento\\_cultivares\\_soja.pdf](http://inta.gob.ar/documentos/comportamiento-de-cultivares-de-soja-campana-2012-13/at_multi_download/file/INTA_MT2013_Perez_Comportamiento_cultivares_soja.pdf). Consultado: 02/07/15.
- PIATTI, F.D. y M. FERREYRA. 2013. *Evaluación de grupos de madurez y fechas de siembra de cultivares comerciales de soja. Campaña 2012-2013, INTA EEA Manfredi*. En: [inta.gob.ar/documentos/evaluacion-de-grupos-de-madurez-y-fechas-de-siembra-de-cultivares-comerciales-de-soja\\_-campana-2012-2013/at\\_multi\\_download/file/INTA %20 Evaluaci%C3%B3n%20de%20grupo%20de%20madurez %20y%20 fechas %20de](http://inta.gob.ar/documentos/evaluacion-de-grupos-de-madurez-y-fechas-de-siembra-de-cultivares-comerciales-de-soja_-campana-2012-2013/at_multi_download/file/INTA%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20grupo%20de%20madurez%20y%20fechas%20de)

%20siembra%20de%20cultivares%20comerciales%20de%20soja.pdf. Consultado: 20/06/14.

SADRAS V.; M FERREIRO; F. GUTHEIM y A KANTOLIC. 2000 (a). Desarrollo fenológico y su respuesta a la temperatura y fotoperiodo. En ANDRADE, F.; V. SADRAS 2000. *Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja*. Primera edición. Editorial Médica Panamericana S.A. Cap. 2 p: 29-60.

SEILER, R. A.; R. FABRICIUS; V. ROTONDO y M. VINOCUR. 1995. Agroclimatología de Río Cuarto- 1974/93. UNRC. Vol. I. 68 p.

SIIA. 2015 Sistema Integrado de Información Agropecuaria. Estadísticas. En: [www.siiia.gov.ar/Series](http://www.siiia.gov.ar/Series). Consultado: 28/07/2015.

TOLEDO, R. 2009 *Cultivo de Soja*. Cereales y Oleaginosas, FCA-UNC. En: [www.innovacion.gob.sv/inventa/attchments/article/2046/el-cultivo-de-soja.pdf](http://www.innovacion.gob.sv/inventa/attchments/article/2046/el-cultivo-de-soja.pdf). Consultado: 28/08/14.

ZUIL, S.G. 2011. *Efecto del riego sobre el rendimiento de soja en el Norte de Santa Fé*. EEA INTA Reconquista. En: [inta.gob.ar/documentos/efecto-del-riego-sobre-el-rendimiento-de-soja-en-el-norte-de-santa-fe/at\\_multi\\_download/file/INTA\\_%20V yE\\_NRO27\\_ Efecto\\_del\\_riego\\_enel\\_%20rendimiento\\_de\\_la\\_soja\\_enel\\_%20N de\\_%20 Santa\\_Fe.pdf](http://inta.gob.ar/documentos/efecto-del-riego-sobre-el-rendimiento-de-soja-en-el-norte-de-santa-fe/at_multi_download/file/INTA_%20V yE_NRO27_ Efecto_del_riego_enel_%20rendimiento_de_la_soja_enel_%20N de_%20 Santa_Fe.pdf). Consultado: 10/04/15.