



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

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

“Proyecto de Trabajo Final presentado
para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo”

**EFFECTO DE LAS CONDICIONES HIDRICAS SOBRE LA
EFICIENCIA DE USO DE LA RADIACIÓN EN DIFERENTES
GRUPOS DE MADUREZ DE SOJA**

Alumno: Pastore, Martin Ezequiel

DNI: 31.756.656

Director: Federico D. Morla

Co-Director: Oscar Giayetto

Río Cuarto - Córdoba

Mayo de 2014

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

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

**Efecto de las condiciones hídricas sobre la eficiencia de uso de la
radiación en diferentes grupos de madurez de soja**

Autor: Martín Ezequiel Pastore

Director: Federico D. Morla

Co-Director: Oscar Giayetto

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Jurado Evaluador:

J. Omar Plevich _____

Guillermo R. Balboa _____

Federico D. Morla _____

Fecha de Presentación: / / .

Aprobado por la secretaría Académica: / / .

Secretario Académico

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por darme la posibilidad de formarme no solo académicamente sino también como una persona de bien, con buenos principios y valores. A mi hermana quien me dio una sobrinita hermosa la que con su alegría, travesuras y amor sacó siempre de mí una sonrisa hasta en los malos momentos.

A Tania por llegar a mi vida y darme aliento, seguridad, apoyo y amor cada día.

A mis amigos de cursada por compartir años hermosos de mi vida.

Al Ing. Agr. Federico Morla quien junto a todos los integrantes de la Cátedra de Cultivos Oleaginosos me brindaron su apoyo y confianza para la realización de este trabajo.

A todos los amigos de Rio Cuarto.

ÍNDICE GENERAL

Certificado de aprobación.....	II
Agradecimientos.....	III
Índice general.....	IV
Índice de figuras.....	V
Índice de cuadros.....	VII
Resumen.....	VIII
Summary.....	IX
1- Introducción.....	1
2- Hipótesis.....	4
3- Objetivo General.....	5
3.1- Objetivos Específicos.....	5
4- Materiales y métodos.....	7
5- Resultados y Discusión.....	8
5.1- Condiciones Meteorológicas.....	8
5.2- Crecimiento del cultivo.....	10
5.2.1-Interceptación de la RFA.....	14
5.2.2-Eficiencia de uso de la radiación.....	18
5.2.3-Rendimiento en grano y sus componentes.....	20
6- Conclusiones.....	30
7- Bibliografía.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Variación de las temperaturas durante el ciclo del cultivo.....	8
Figura 2: Variación de la radiación fotosintéticamente activa durante el ciclo del cultivo.....	9
Figura 3: Precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo y Riego complementario de las mismas.....	9
Figura 4: Biomasa total aérea producida por los grupos de madurez evaluados bajo la condición hídrica de riego.....	10
Figura 5: Biomasa total aérea producida por los grupos de madurez evaluados bajo la condición hídrica de secano.....	11
Figura 6: Biomasa total aérea producida por el grupo de madurez III en condiciones hídricas Riego-Secano.....	12
Figura 7: Biomasa total aérea producida por el grupo de madurez IV en condiciones hídricas Riego-Secano.....	13
Figura 8: Biomasa total aérea producida por el grupo de madurez V en condiciones hídricas Riego-Secano.....	13
Figura 9: Porcentaje de radiación solar interceptada por los grupos de madurez evaluados, bajo la condición de riego.....	14
Figura 10: Porcentaje de radiación solar interceptada por los grupos de madurez evaluados, bajo la condición de secano.....	15
Figura 11: Porcentaje de radiación solar interceptada por el grupo de madurez III, bajo condiciones hídricas contrastantes.....	16
Figura 12: Porcentaje de radiación solar interceptada por el grupo de madurez IV, bajo condiciones hídricas.....	17
Figura 13: Porcentaje de radiación solar interceptada por el grupo de madurez V, bajo condiciones hídricas contrastantes.....	17
Figura 14: Eficiencia de uso de la radiación (EUR) (g MJ^{-1}) para el grupo de madurez III, para la condición de riego (A) y secano (B).....	19
Figura 15: Eficiencia de uso de la radiación (EUR) (g MJ^{-1}) para el grupo de madurez III, para la condición de riego (A) y secano (B).....	20
Figura 16: Eficiencia de uso de la radiación (EUR) (g MJ^{-1}) para el grupo de madurez	

III, para la condición de riego (A) y seco (B).....	19
Figura 17: Número de granos por unidad de superficie, en función de los grupos de madurez evaluados.....	23
Figura 18: Número de granos por unidad de superficie, en función de los niveles del factor condición.....	24
Figura 19: Peso de 100 granos en función de la interacción Grupo de madurez-Condición hídrica.....	25
Figura 20: Rendimiento del cultivo de soja en función de los grupos de madurez evaluados.....	26
Figura 21: Rendimiento del cultivo de soja en función de la condición Hídrica.....	26
Figura 22: Número de granos por unidad de superficie, en función de la radiación fotosintéticamente activa interceptada y acumulada durante el periodo R1-R5.....	27
Figura 23: Peso de 100 granos, en función de la radiación fotosintéticamente activa interceptada y acumulada durante el periodo R5-R7.....	28
Figura 24: Rendimiento de los tratamientos grupo de madurez (III, IV y V) riego y seco en función del número de granos por unidad de superficie.....	28
Figura 25: Rendimiento de los tratamientos grupo de madurez (III, IV y V) riego y seco en función del peso de las 100 granos.....	29
Figura 26: Rendimiento de los tratamientos grupo de madurez (III, IV y V) riego y seco en función de la radiación fotosintéticamente activa acumulada (MJ. m ⁻²) durante el periodo R3-R6.....	29

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Componentes del rendimiento del cultivo de soja en función de la condición hídrica y el grupo de madurez.....	22
---	----

RESUMEN

La diferencia de duración en el ciclo del cultivo y arquitectura de la planta dada por los distintos grupos de madurez, y el estado hídrico durante ciclo del cultivo modifica la cantidad de radiación interceptada y la eficiencia de conversión de la misma. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de las condiciones hídricas sobre la eficiencia de uso de la radiación en diferentes grupos de madures del cultivo de soja. El estudio se desarrolló en el Campo Experimental de la FAV-UNRC, durante el período 2012-2013. Se utilizó un diseño experimental de parcelas subdivididas dispuestas en bloques al azar con tres repeticiones, donde los factores estudiados fueron, la condición hidrológica: riego complementario y condiciones de secano; y el otro factor interviniente fue el grupo de madurez, con cultivares representativos de los GM III (TJ 2137), GM IV (TJ2246) y GM V (TJ exp. 2255). Durante el ciclo del cultivo se determinó materia seca total, cobertura de surco en porcentaje y componentes del rendimiento. La eficiencia de uso de la radiación se calculó a partir de la pendiente (b) de la recta de regresión lineal entre la radiación solar fotosintéticamente activa (RFA) interceptada acumulada (MJ m^{-2}) y la materia seca aérea acumulada (g m^{-2}). La eficiencia de uso de la radiación presentó diferencias en los factores evaluados. Los cultivares estudiados bajo el tratamiento de riego mostraron una EUR superior a los de secano. Se encontró una mayor capacidad de conversión de energía solar interceptada en biomasa, en los GM III y IV en el tratamiento regado, mientras que en el tratamiento secano le correspondió a él GM IV, siendo similar la expuesta por el GM III y GM V. El rendimiento del cultivo de soja se vio incrementado por la aplicación de riego, impactando principalmente en los componentes principales del rendimiento. Se observó que existe una relación estrecha entre el rendimiento y el número y peso de granos, quienes a presentaron una asociación directa con la radiación solar acumulada durante el período crítico para su determinación, la que fue fuertemente condicionada por la condición hídrica y en menor medida por el GM.

Palabras claves: soja, tratamientos, eficiencia de uso de la radiación, rendimiento.

SUMMARY

The effect of water conditions on Radiation use efficiency in different maturity groups of soybean was evaluated. The study was conducted in the experimental field of the Faculty of Agronomy and Veterinary belonging to UNRC located in Rio Cuarto bed during the period 2012-2013. The soil is a sandy loam Typical Hapludol fine.

The experimental design was split plot arranged in randomized blocks with three replications, the factors were studied, were the hydrological condition: treatment under supplementary irrigation and rainfed conditions in another, the other factor was maturity group: with representative cultivars of GM III (TJ 2137), GM IV (TJ2246) y GM V (TJ exp. 2255).

To carry out the various irrigation replacement criteria useful to 50% water was used. During the growing season total dry, groove coverage percentage and yield components were determined. The radiation use efficiency (RUE) was calculated from the slope (b) of the linear regression between the solar photosynthetically active radiation (PAR) intercepted accumulated (MJ m^{-2}) and air accumulated dry matter (g m^{-2}).

The RUE showed differences in the factors evaluated. The cultivars studied under supplementary irrigation treatment showed no higher than EUR watered. Greater capacity to convert solar energy into biomass intercepted in GM III and IV in the watered treatment was found, while in the dry treatment corresponded to him GM IV, being similar exposed by GM III and V.

The soybean yield was increased by the application of irrigation, mainly impacting the main yield components. Was observed in the analysis of yield components there is a close relationship between performance and the number and weight of grains, who had a direct association with solar radiation accumulated during the critical period for determination, which was strongly influenced by water condition and to a lesser extent by the GM.

Key words: Soybean, treatments, efficiency of use of radiation, performance.

1. INTRODUCCIÓN

La soja (*Glycine max* (L.) Merrill) es un cultivo de gran importancia ya que forma parte de la cadena agroalimentaria mundial por ser principal fuente de proteína vegetal para la alimentación animal en sistemas de cría intensiva así como proveedora de aceites para alimentación humana; adicionalmente en estos últimos años es también uno de los cultivos claves para la obtención de biocombustibles (ACSOJA. 2012).

La superficie sembrada a nivel nacional se mantuvo de manera creciente en los últimos años, en la campaña 2009-2010 la superficie ascendió a 19 millones de hectáreas, con un volumen recolectado de 52 millones de toneladas. Para dicha campaña, en Córdoba se implantó una superficie de 5.196.748 hectáreas con una producción de 11.172.286 toneladas; mientras que en el departamento de Río Cuarto, en la campaña 2011/2012 se sembraron 578.000 has y la producción fue de 928.800 ton (SIIA, 2012).

En Argentina, el manejo del agua es crítico, si bien en gran parte del área donde se siembra soja, la cantidad de agua de lluvia que se registra en el ciclo supera los requerimientos del cultivo, es habitual que existan limitaciones hídricas temporales debido a que su distribución no es homogénea durante el mismo (Gester y Bacigaluppo, 2009).

La disponibilidad de agua para el cultivo dependerá entonces no sólo de las precipitaciones caídas sino también de características del suelo como la velocidad de infiltración del agua, profundidad, capacidad de almacenamiento, y del cultivo como la expansión o desarrollo radical (Andriani *et al.*, 2001 citado por Gester y Bacigaluppo, 2009).

Para la región sojera núcleo, las necesidades de agua de los cultivos de soja de primera varían de 500 a 600 mm. Las variaciones en dichas cantidades dependen de la demanda atmosférica, la duración del ciclo del cultivo y del área foliar desarrollada por el mismo (Andriani, 1997). Se han descrito diferencias en la tasa transpiratoria en función de la longitud del ciclo de cultivares (Salinas *et al.*, 1996), siendo mayor la correspondiente a ciclos cortos.

El balance hídrico de la zona de Río cuarto indica un período negativo en la época estival (Seiler *et al.*, 1995), que puede ser perjudicial para la producción del cultivo en caso de coincidir con el período crítico del mismo.

En soja, este período crítico se inicia alrededor de R3-R4 y se extiende hasta R6, siendo el subperíodo comprendido entre R4,5 y R5,5 esencialmente crítico (Sadras *et al.*, 2002).

El rendimiento del cultivo es el resultado de procesos fisiológicos y cambios que ocurren en las plantas desde el momento de la siembra hasta cosecha. Los mismos incluyen la generación y aparición de los órganos encargados de capturar y transportar los recursos y de los que

conducen a la generación de granos (Kantolic *et al.*, 2003). Las variaciones anuales en los máximos rendimientos son consecuencia de disponibilidad de radiación, agua y nutrientes, así como de los diferentes regímenes térmicos. Para alcanzar la máxima productividad, es necesario que la oferta de recursos (agua, nutrientes, radiación) esté disponible en cantidad suficiente y en el momento adecuado (cuando el cultivo tiene las mayores tasas de crecimiento y se está generando los componentes directos del rendimiento, número y peso de los granos). Es por eso que las prácticas de manejo como la correcta elección del genotipo y grupo de madurez para hacer coincidir el período crítico con la oferta ambiental favorable para su crecimiento y desarrollo es de suma importancia para la obtención de altos rendimientos (Martignone *et al.*, 2002).

En soja, el componente más asociado con variaciones del rendimiento final es el número de granos por superficie, variable que a su vez es función de la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) durante el período crítico del mismo, entre plena floración (R2) y comienzo de llenado de los granos (R5) (Martignone *et al.*, 2002). Al respecto, Salvagiotti *et al.*, (2010) describen que cualquier tipo de estrés que sufra el cultivo entre comienzos de floración (R1) y de llenado de granos (R5), afectará el número potencial de granos. Estos autores señalan que la tasa de crecimiento del cultivo oscila entre 8,6 y 18,6 g m⁻² d⁻¹, y que la misma depende de la radiación solar interceptada por el canopeo del cultivo, que a su vez depende del Índice de Área foliar (IAF). La TCC aumenta a medida que aumenta el IAF, hasta alcanzar el valor crítico (95% de la radiación solar interceptada) (Giorda *et al.*, 1997). El índice de área foliar (IAF) del cultivo varía con el grupo de madurez (potencial de ramificación, porte y arquitectura de la planta); el estado de desarrollo (aumenta con la aparición de hojas y el crecimiento foliar, disminuyendo con la senescencia de las mismas); y con las condiciones ambientales a las que se expone el cultivo, radiación, temperatura, agua y nutrientes (Andrade *et al.*, 2000). Este IAF puede alcanzar valores entre 3,1 y 4,5 (Baigorri y Giorda, 1997), pudiendo ser considerado como una estimación de la disponibilidad potencial de fotoasimilados durante el período considerado. Por otra parte, para lograr un óptimo llenado de granos se necesitan condiciones de alta radiación solar durante el período R5 a R7 (inicio de llenado a madurez fisiológica), ya que si bien el máximo peso de la grano es una característica genética (Martignone *et al.*, 2010), el peso real de la misma es influenciada por la disponibilidad de asimilados durante el período de crecimiento lineal de los granos. Disminuciones del peso de los granos son citadas por Gimenez *et al.*, (2004) cuando el atraso de la fecha de siembra ubicó el período efectivo de llenado de granos de los cultivares evaluados en un ambiente de menor temperatura y radiación.

Resulta, entonces, sumamente importante asegurar que la radiación interceptada durante el ciclo de crecimiento sea la mayor posible, siendo un objetivo alcanzar el IAF crítico en el menor tiempo posible después de la siembra, para maximizar la producción de materia seca. La superficie foliar de la planta de soja está en función del número y tamaño final de las hojas, siendo sensiblemente afectada por la disponibilidad hídrica y nutricional, principalmente de fósforo (P) y azufre (S), modificando el crecimiento del cultivo, afectando la captura de la radiación incidente y la eficiencia fotosintética (Pergolini, 2003).

La radiación solar fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo es transformada en biomasa. La pendiente de la relación entre ambas variables es denominada eficiencia en el uso de la radiación (EUR) y se expresa en gramos de biomasa por mega joule (MJ) de radiación fotosintéticamente activa interceptada (Carcova *et al.*, 2003).

Durante períodos de déficit hídrico se produce menor translocación de fotoasimilados en la planta, debido a la reducción de la fotosíntesis en las hojas y a la inhibición del crecimiento de los órganos de la planta. El estrés al que se somete el cultivo en períodos determinados hace que la EUR presente variaciones, al igual que la eficiencia en el uso del agua (EUA) (Vaiman *et al.*, 2008). Reducción de la EUR fue encontrada por Confalone *et al.*, (2002) para un cultivo en secano con un valor inferior ($1,34 \text{ g MJ}^{-1}$) respecto al cultivo bajo riego ($1,38 \text{ g MJ}^{-1}$). Por su parte, Landler y Kantolic (2011), citan aumentos de la EUR en cultivares DM 3700 y DM 4600 por mayor disponibilidad de recursos ante distintos espaciamientos de siembra. Santos *et al.* (2011) señalan que el momento de llegada a los niveles máximos de IAF, difieren según la disponibilidad hídrica mientras que, a su vez, los niveles máximos a los que se llega (IAF = 9), bajo buenas condiciones de humedad del suelo, no se obtienen en las menos favorables. Además resaltan que, la duración del área foliar marca la diferencia entre ambas condiciones hídricas, con una abrupta caída en la menos favorable, y consecuente disminución de la eficiencia de captación de radiación, por una tardía llegada y menor duración de los niveles máximos de intercepción.

La habilidad de un cultivo para captar radiación solar depende de la expresión de sus mecanismos de plasticidad vegetativa para generar y ajustar el área foliar ante cambios en los niveles de recursos por planta (Vega y Salas 2012). La manifestación de dichos mecanismos de plasticidad está regulada por el genotipo y las condiciones ambientales. Es por ello que, diferencias en longitud de ciclo, arquitectura, producción de nudos, ramas y hojas de las variedades de soja pertenecientes a distintos grupos de madurez, permiten explorar distintas ventanas agroclimáticas, cuando son sembradas en la misma fecha y en un mismo lote (Salvagiotti *et al.*, 2010).

Comparando cultivares, los de ciclo corto, con baja área foliar por planta y baja plasticidad vegetativa (Egli, 1997; Ball *et al.*, 2001; Edwards and Purcell, 2005 citados por Vega y Salas, 2012) presentarían una mayor dificultad para alcanzar una completa intercepción de luz en etapas críticas, cuando se presenten condiciones ambientales desfavorables, como un estrés hídrico.

En contraste cultivares de ciclo largo, que poseen mayor potencial de ramificación, y por ende de número de nudos y hojas, presentan una ventaja comparativa respecto a estos períodos de estrés.

Si bien generalmente la producción de biomasa es mayor cuando el ciclo es más largo, esto no siempre implica mayores rendimientos, ya que el índice de cosecha puede modificarse dependiendo de la disponibilidad de recursos durante la etapa crítica de definición del rendimiento (Vega y De la Fuente, 2003).

Así, en ausencia de restricciones ambientales severas, la elección de cultivares de ciclo corto que ubiquen el período crítico para la definición del rendimiento en condiciones más adecuadas de radiación y temperatura, pueden lograr mejores índices de cosecha por una mayor partición a órganos reproductivos y rendir igual o, incluso más que cultivares de ciclo más largo que presentan una mayor acumulación de biomasa vegetativa (Vega y De la Fuente, 2003).

2. HIPÓTESIS

El estado hídrico durante el ciclo del cultivo y la arquitectura de la planta de los distintos grupos de madurez, modificará la cantidad de radiación solar interceptada y la eficiencia de conversión de la misma.

3. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento de cultivares de soja de diferentes grupo de madurez bajo condiciones hídricas de Riego y Secano, con relación a la eficiencia de uso de la radiación (EUR) y las variables que la determinan.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Cuantificar la Radiación Fotosintéticamente Activa interceptada (RFAi)
- Estimar la RFAi durante el ciclo de los diferentes cultivares.
- Cuantificar las relaciones entre RFAi y la biomasa acumulada y los componentes del cultivo, para cuantificar la Eficiencia de Uso de la Radiación.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrolló en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la UNRC, (33°06'12 Latitud Sur, 64 °17'55 Longitud Oeste y a 421 msnm), área que se caracteriza por presentar un relieve normal. A nivel predial, el suelo presenta una textura franco-arenosa fina, clasificado según la clave taxonómica del USDA como un Hapludol típico.

Los factores estudiados fueron dos: (i) la condición hídrica, con un tratamiento bajo riego complementario, sobre el que se realizó mediciones para determinar porcentaje del agua útil (AU), donde el criterio de riego fue de reposición al 50 % del AU y aplicado con un equipo de riego por aspersión de avance frontal; y otro tratamiento en condiciones de secano; (ii) el genotipo, con cultivares representativos de los GM III, IV y V.

Se empleó un diseño experimental de parcelas subdivididas dispuestas en bloques al azar con tres repeticiones. Los cultivares seleccionados fueron GM III: TJ 2137, GM IV: TJ 2246 y GM V: TJ exp. 2255 y se sembraron el 18 de noviembre de 2012 con una máquina de siembra directa de 9 surcos, a 0,525 m de distancia entre hileras y una densidad de 30 pl m⁻². La semilla se inoculó previo a la siembra y el cultivo fue conducido con prácticas de manejo orientadas a minimizar los efectos de malezas, plagas y enfermedades durante su ciclo.

Mediciones y estimaciones:

El campo experimental donde se realizó el ensayo posee una Estación Agrometeorológica de la cual se obtuvieron los registros diarios de precipitación (mm), temperatura del aire, máxima, mínima y media (°C), y radiación global (MJ m⁻² d⁻¹).

La proporción de radiación interceptada por el cultivo (RFAi) se midió con un ceptómetro, desde los 15 días posteriores a la emergencia del cultivo y, posteriormente, a intervalos regulares de ≈20 días hasta la cosecha. Con estos datos y la radiación fotosintéticamente activa (45% de la radiación global), se calculó la radiación solar fotosintéticamente activa (RFA) interceptada acumulada (MJ m⁻²).

Durante el ciclo del cultivo se efectuaron muestreos a los 24, 32, 39, 70, 94, 116, 129, 140 DDS; en los que se tomaron 9 muestras de plantas de 1m² cada una por tratamiento y repetición para el registro de las siguientes variables:

- Fenológica del cultivo según escala de Ferh y Caviness (1971).
- Biomasa aérea total, cuantificada en laboratorio mediante el secado de las muestras vegetales en estufa con circulación de aire forzado hasta peso constante (a 75°C).

- Eficiencia de uso de radiación (g MJ^{-1}): calculada a partir de la pendiente (b) de la recta de regresión lineal entre la radiación solar fotosintéticamente activa (RFA) interceptada acumulada (MJ m^{-2}) y la materia seca aérea acumulada (g m^{-2}).
- Rendimiento de cultivo: mediante la cosecha manual de 3 muestras de plantas en 1,92 m de surco (1m^2) por tratamiento y repetición, a partir de las cuales se midieron los siguientes componentes de rendimiento:
 - Número de nudos por unidad de superficie (nudos m^{-2}).
 - Número de ramas por unidad de superficie (ramas m^{-2}).
 - Número de granos promedio por fruto (granos fruto^{-1}).
 - Número de granos por unidad de superficie (granos m^{-2}).
 - Peso de 100 granos (g).

Los resultados fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) y al test de comparaciones múltiples LSD de Fisher ($\alpha= 0,05$) y se calcularon correlaciones entre variables mediante análisis de correlación de Pearson, empleando el programa estadístico INFOSTAT (versión 2011).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Condiciones meteorológicas:

En las figuras 1, 2 y 3 se presentan las temperaturas medias del aire (°C), la radiación fotosintéticamente activa incidente ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) y las precipitaciones (mm) a intervalos decádicos respectivamente para el ciclo agrícola 2012-2013 y los datos de la serie 1974-1993 (Seiler *et al.*, 1995).

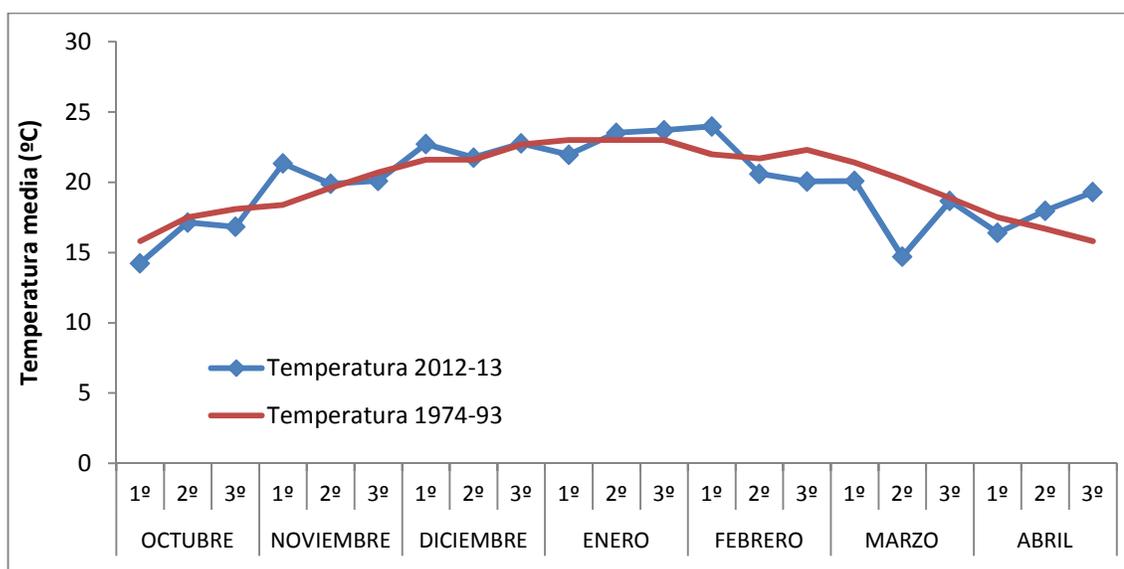


Figura 1: Temperaturas medias (C°) del aire durante el ciclo del cultivo de soja (2012-2013) y de la serie 1974-1993. Rio IV (Cba).

La evolución de la temperatura (Figura 1) durante el ciclo 2012-13 fue similar a la del período 1974-1993, excepto entre la segunda década de febrero y la tercera de marzo donde se registraron valores inferiores a la serie histórica, en particular se destaca la segunda década de marzo con un valor de 5,5 C° menor.

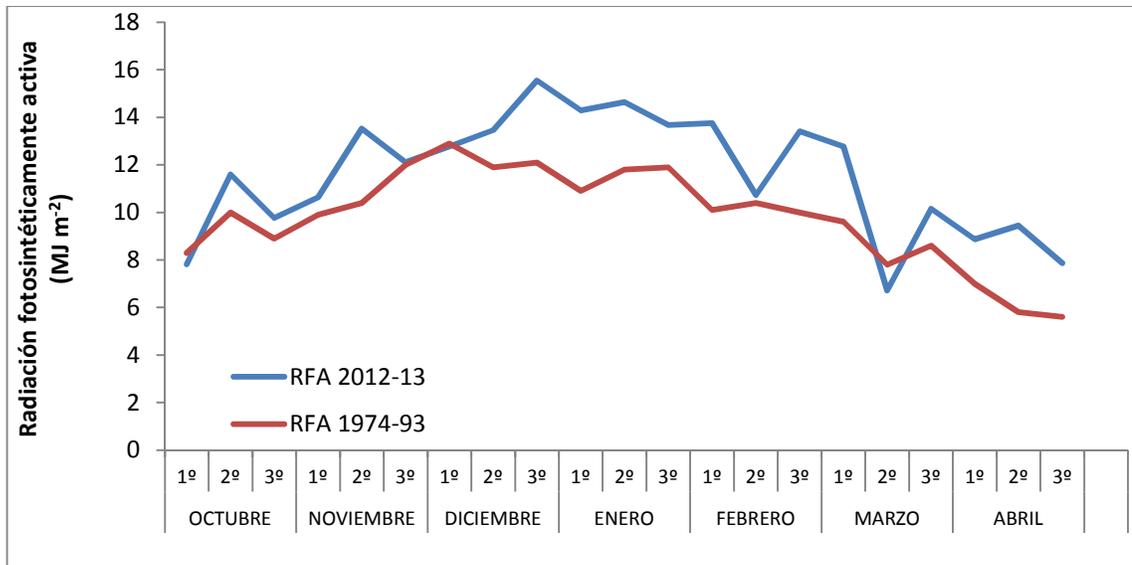


Figura 2: Radiación fotosintéticamente activa (MJ m^{-2}) durante el ciclo del cultivo de soja (2012-2013) y de la serie 1974-1993. Rio IV (Cba).

La radiación fotosintéticamente activa durante el ciclo 2012-13 (Figura 2) fue, en general, superior a la del período 1974-1993, con excepción de la segunda década de marzo donde se registró un valor $1,09 \text{ MJ m}^{-2}$ inferior en correspondencia con condiciones de nubosidad y precipitaciones durante esa misma década (ver Figura 3).

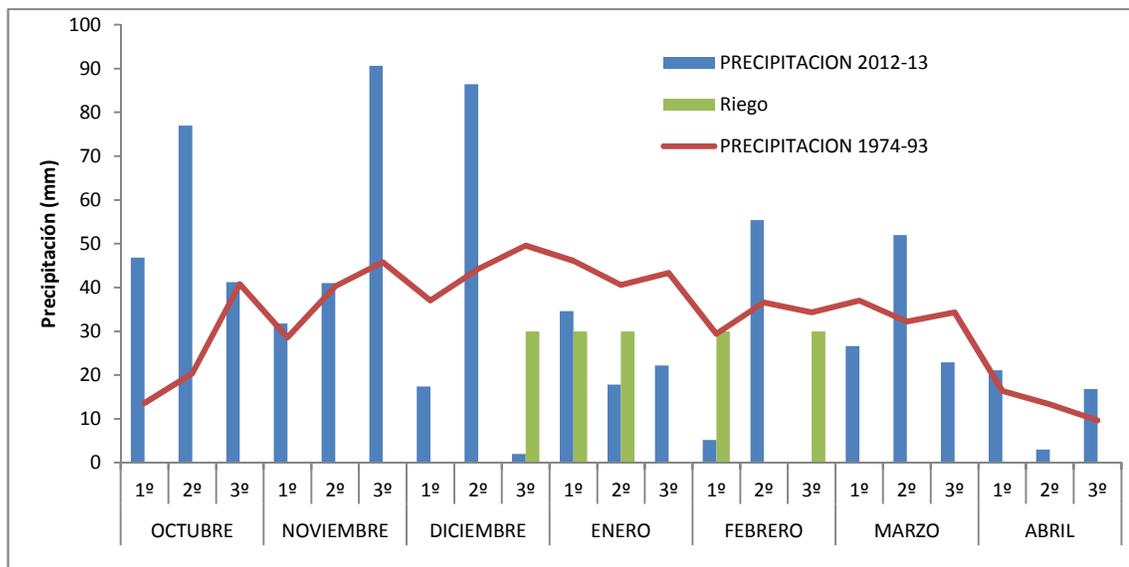


Figura 3: Precipitaciones (mm) y riego (mm) aplicado durante el ciclo del cultivo de soja (2012-2013) y la serie histórica 1974-1993. Rio IV (Cba).

Las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo (2012-2013) fueron iguales y superiores a las del período 1974-1993 durante el trimestre octubre-noviembre-diciembre, con excepción de la tercera década de diciembre que tuvo un valor inferior a la media histórica, manteniéndose este patrón hasta la segunda década de marzo, cuando las lluvias retomaron valores semejantes a los normales (Figura 3).

5.2. Crecimiento del cultivo:

Las figuras 4 y 5 presentan la biomasa aérea total (g m^{-2}) producida por los tres GM (III, IV y V) en condición de secano y bajo riego respectivamente para el ciclo agrícola 2012-2013.

Al observar la producción de biomasa aérea total bajo riego de los diferentes grupos de madurez durante el ciclo del cultivo (Figura 4), es evidente la mayor producción por parte de los correspondientes al GM III y IV, quienes además de presentar similitud en los valores máximos de producción de biomasa alcanzados, mostraron un menor tiempo, en DDS, para lograr estos valores, 116 DDS versus los 129 DDS para el GM V. Estas diferencias pueden ser atribuidas a la longitud del ciclo de los grupos de madurez evaluados, si bien se hubiese esperado que el GM III llegara a su máxima producción de biomasa total antes que el GM IV.

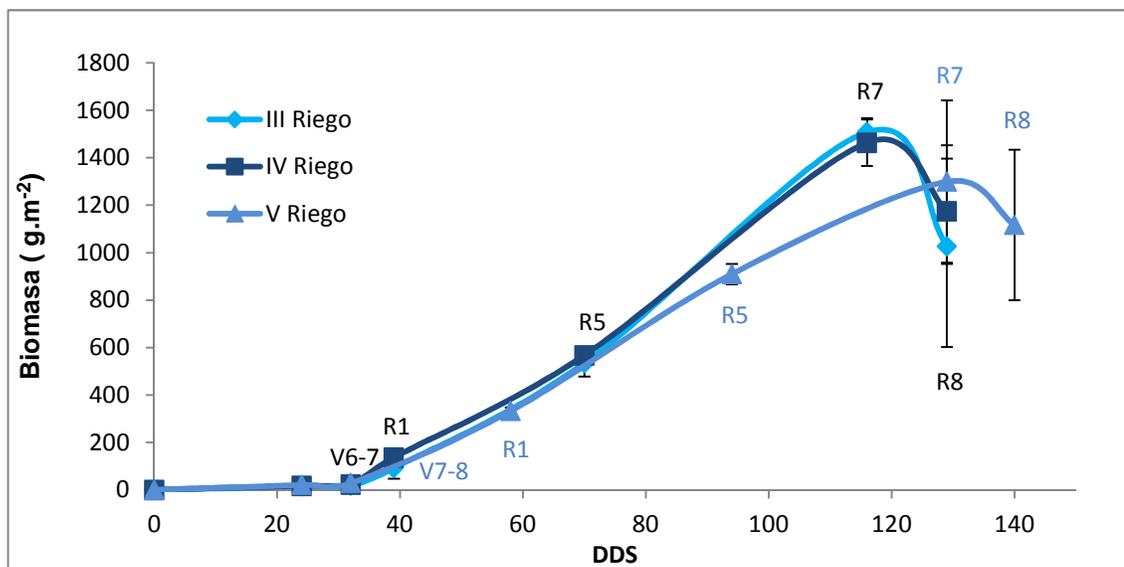


Figura 4: Biomasa total aérea producida (g m^{-2}) bajo riego de los GM III, IV y V durante el ciclo del cultivo de soja (2012-2013). Rio IV (Cba).

La condición hídrica influyó de manera muy marcada sobre la producción de biomasa aérea total alcanzada por todos los grupos de madurez evaluados (figura 5), registrándose valores

muy inferiores a los del tratamiento bajo riego (figura 4), efecto más acentuado sobre el grupo en el GM III, quien al igual que el GM IV registraron un menor tiempo (108 DDS) en alcanzar la máxima producción de biomasa aérea total, respecto de los 116 DDS que había tardado en la condición de riego (figura 4). Los valores máximos de producción de biomasa aérea a los que llegaron los GM III, IV y V bajo la condición de riego, fueron: 1507,8, 1463,4 y 1299,7 g m⁻² respectivamente, mientras que para la condición de secano les correspondió 692,13, 870,6 y 847,07 g m⁻², siendo el estado fenológico R7 el momento en que todos alcanzaron esa máxima acumulación de biomasa.

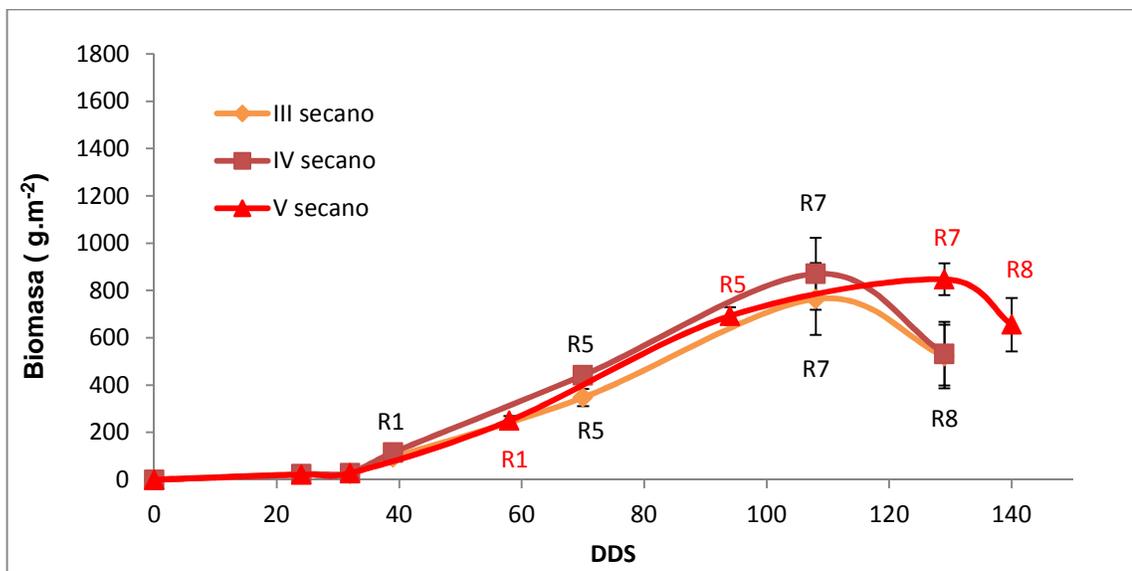


Figura 5: Biomasa total aérea producida (g m⁻²) en secano para los GM III, IV y V en condición de secano durante el ciclo del cultivo de soja (2012-2013). Rio IV (Cba).

En las figuras 6, 7 y 8 se muestra la evolución en la producción de biomasa aérea total para los GM III, IV y V respectivamente, bajo riego y secano, durante el ciclo del cultivo de soja (2012-2013).

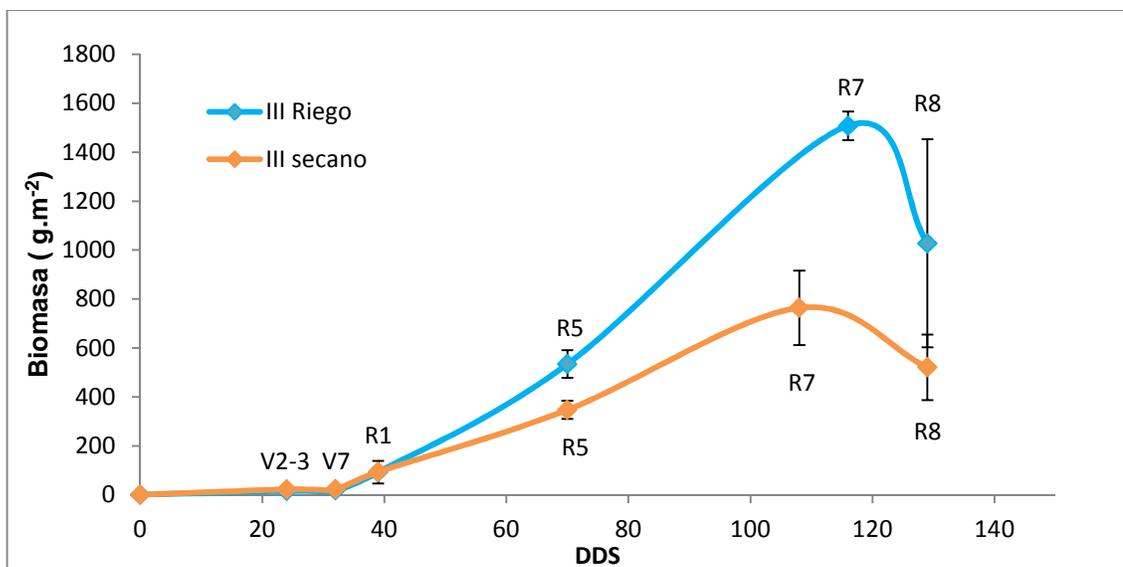


Figura 6: Biomasa total aérea producida (g m^{-2}) para el GM III en condición de riego y seco, durante el ciclo del cultivo de soja (2012-2013). Rio IV (Cba).

Observando las curvas de evolución de la biomasa producida por los tres grupos de madurez, durante el ciclo del cultivo de soja en las dos condiciones hídricas contrastantes, se evidencia una respuesta común, de mayor producción de biomasa aérea total bajo la condición de riego. El resultado es similar al hallado por Canfalone *et al.*, (2002) en su ensayo con soja cultivada con y sin riego. Además, otro aspecto que cabe destacar es que el único grupo de madurez que no difirió en el momento que alcanzó su máxima producción de biomasa en ambas condiciones fue el correspondiente al V (figura 8). Los restantes experimentaron un acortamiento del período que comprende principalmente los estadios fenológicos R5-R7 (Fehr y Caviness 1971), esto posiblemente se debió a que cultivares de ciclo más corto poseen una tasa transpiratoria más elevada que los ciclos más largos, lo que hace que disminuya el contenido de agua del suelo más rápidamente, acelerando sus procesos fisiológicos en caso de no ser repuesto el contenido hídrico del suelo (Salinas *et al.*, 1996).

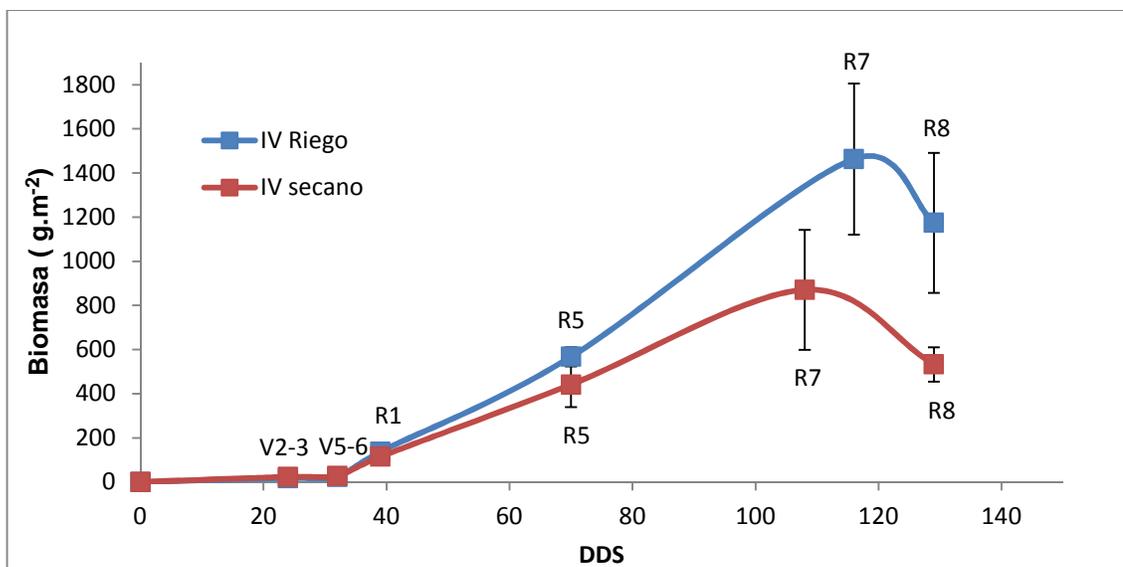


Figura 7: Biomasa total aérea producida (g m^{-2}) para el grupo de madurez IV en condición de riego y secano durante el ciclo del cultivo de soja (2012-2013). Rio IV (Cba).

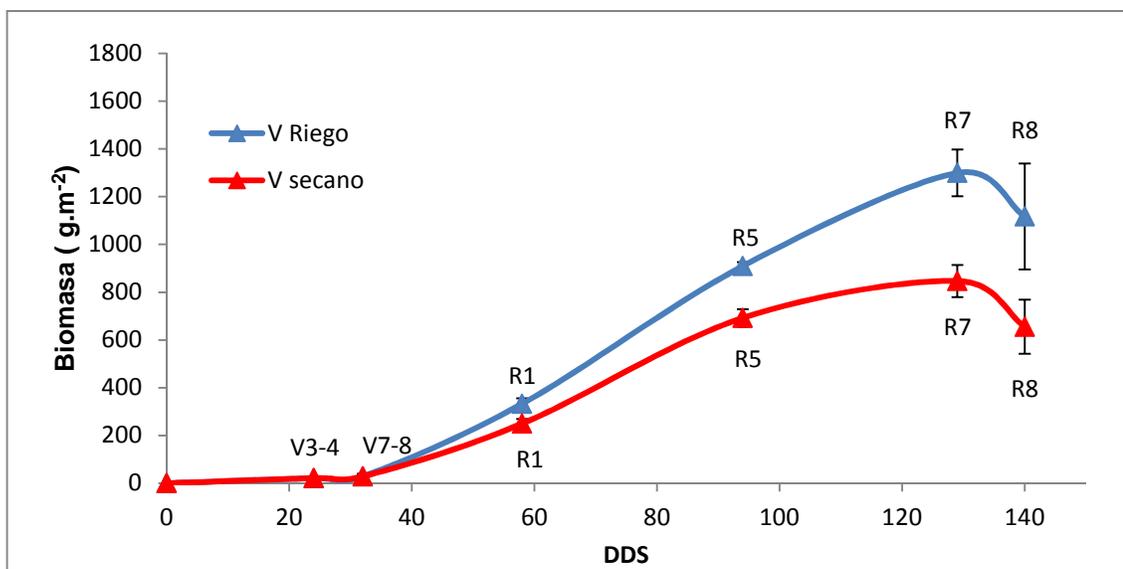


Figura 8: Biomasa total aérea producida (g m^{-2}) para el grupo de madurez V en condición de riego y secano, durante el ciclo del cultivo de soja (2012-2013). Rio IV (Cba).

5.2.1. Intercepción de la Radiación:

Las siguientes figuras (9 y 10) presentan el porcentaje de interceptación de la radiación incidente en condición de secano y riego respectivamente, para los GM III, IV y V durante el ciclo agrícola 2012-2013.

Tanto en riego como en secano se observa que en los primeros estadios del cultivo (alrededor de los 30 DDS) el porcentaje de interceptación de la radiación de todos los grupos de madurez fue relativamente bajo, no superando ninguno el 20 % en condiciones de riego. Posteriormente, y en coincidencia con el aumento de biomasa aérea del cultivo, se produjo un aumento exponencial del porcentaje de radiación interceptada en todos los grupos de madurez, hasta alcanzar y superar el 95 % de interceptación (considerado IAF crítico), (Giorda *et al.*, 1997), registrándose un 100 % de cobertura en todos los GM evaluados, valor que fue logrado con anterioridad en el GM III y IV a los 68 DDS, en el estado fenológico R5, y a los 97 DDS en el V, en R 4.5. Además, es importante señalar que el GM V presentó un período mayor con altos valores de interceptación de la radiación solar en comparación a los GM restantes, quienes comenzaron a tener una senescencia de sus hojas tempranas, en coincidencia a lo señalado por Andrade *et al.*,(2000).

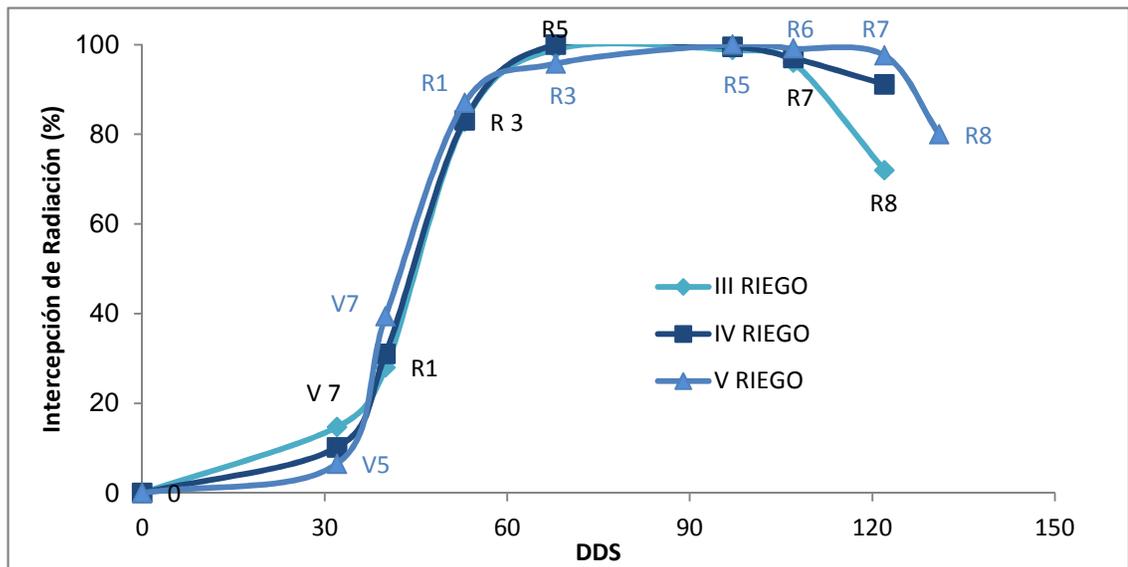


Figura 9: Porcentaje de Radiación solar incidente interceptada en condición de riego para el grupo de madurez III, IV y V durante el ciclo del cultivo de soja (2012-2013). Rio IV (Cba).

Para la condición de secano (figura 10), se observa que no se presentaron diferencias en el porcentaje de radiación interceptada por los grupos de madurez durante los primeros 32 DDS, con valores que no superaron el 10 %. Posteriormente se observa un aumento en los porcentajes interceptados en todos los grupos de madurez hasta alcanzar su máximo valor, condición lograda a los 68 DDS por los GM III y IV, y a los 97 DDS por el GM V, en coincidencia todos con el estadio fenológico R5. Los valores de intercepción registrados aquí fueron 89 % para el GM III, 85,4 % para el GM IV y un valor muy cercano a IAF crítico solamente para el GM V quien presentó un 94,71 % de intercepción de luz.

Además se observa una posterior llegada (DDS) y una menor duración de los niveles máximos de intercepción en todos los grupos de madurez en contraste a la pronta llegada y mayor duración de los máximos niveles observados en la condición de riego (figura 9), coincidiendo esto con resultados obtenidos por Santos *et al.*, (2011) en el análisis de la dinámica del IAF e intercepción de la radiación en variedades de diferente GM, con relación condiciones hídricas evaluadas en diferentes años, uno con buenas y otro con escasas precipitaciones. Canfalone *et al.*, (2002) encontraron similar resultado, señalando que la reducción de disponibilidad hídrica afectó negativamente la evolución del IAF y consecuentemente la producción de materia seca. Estos autores señalan que la caída de la intercepción de la radiación y del IAF por efectos de la sequía es debido a una reducción en el crecimiento foliar y a una aceleración de la senescencia de las hojas, coincidiendo esto con lo encontrado en este ensayo .

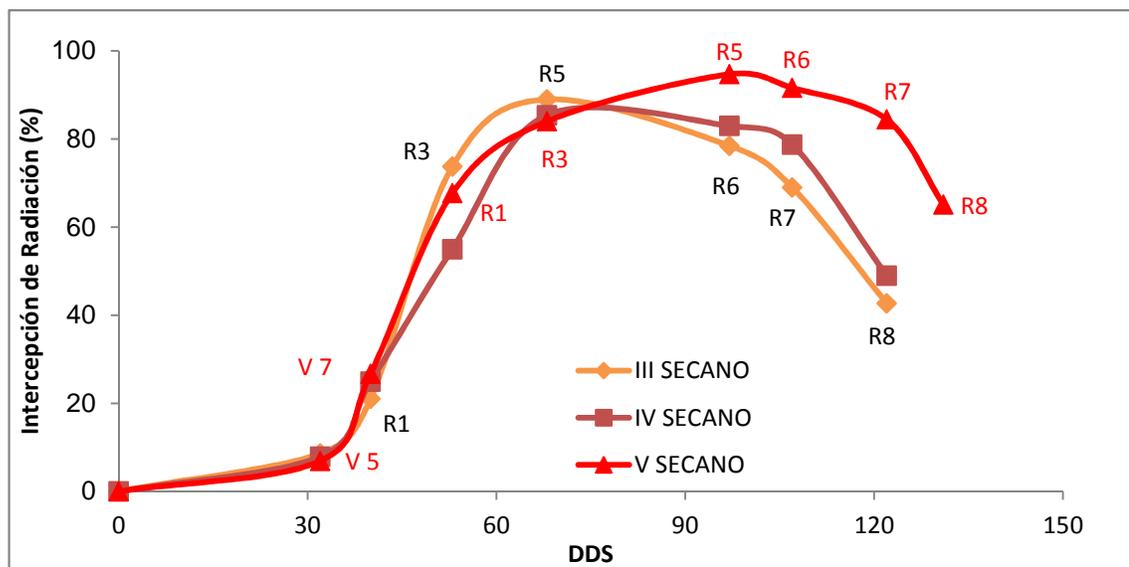


Figura 10: Porcentaje de Radiación solar incidente interceptada (%) en condiciones de secano para el grupo de madurez III, IV y V durante el ciclo del cultivo de soja (2012-2013). Rio IV (Cba).

En las figuras 11, 12 y 13 se muestra el porcentaje de interceptación de radiación solar incidente para los GM III, IV y V en la condición de riego y seco durante el ciclo del cultivo de soja (2012-2013). El porcentaje de interceptación durante todo el ciclo del cultivo de los grupos de madurez evaluados bajo la condición de riego fue superior que en la condición de seco, además, en similitud bajo riego todos los GM presentaron elevados porcentajes de interceptación durante todo su período reproductivo (R1-R8), condición necesaria para una elevada producción de número y peso de granos (Gester y Bacigaluppo, 2009), no ocurriendo lo mismo en la condición de seco, en donde solo el GM V alcanzó valor de IAF crítico en el inicio de llenado de granos (R5). Estos diferentes resultados se deberían principalmente a las diferencias en longitud de ciclo, arquitectura de la planta, potencialidad de producción de nudos, ramas y hojas de las variedades de soja pertenecientes a los distintos grupos de madurez, que permiten explorar distintas ventanas agroclimáticas, cuando son sembradas en la misma fecha y en un mismo lote (Salvagiotti *et al.*, 2010).

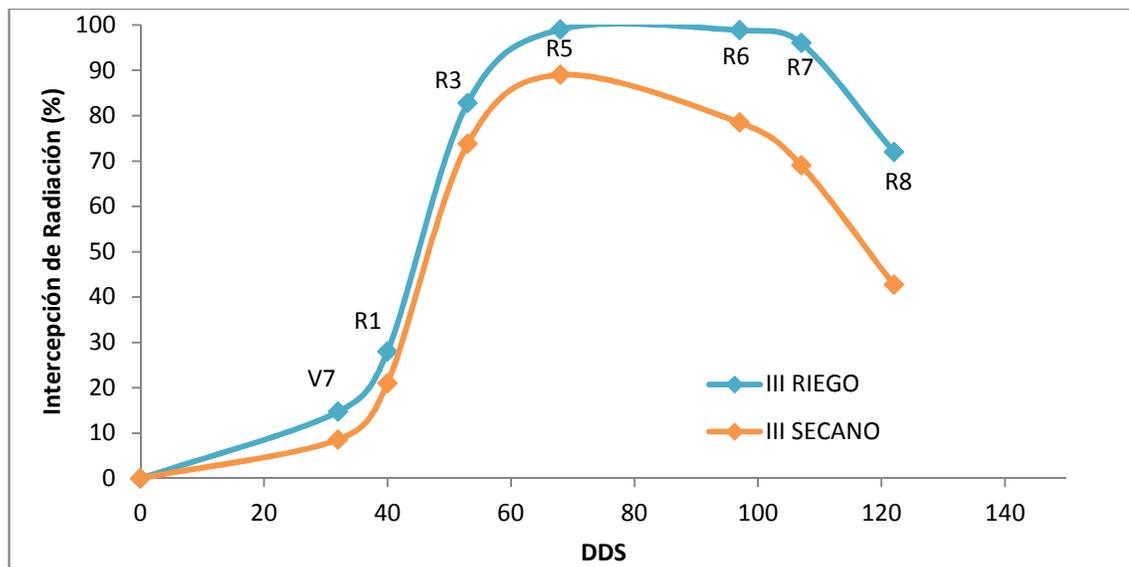


Figura 11: Porcentaje de Radiación solar incidente interceptada (%) en condición de seco y riego para el grupo de madurez III durante el ciclo del cultivo de soja (2012-2013). Rio IV (Cba).

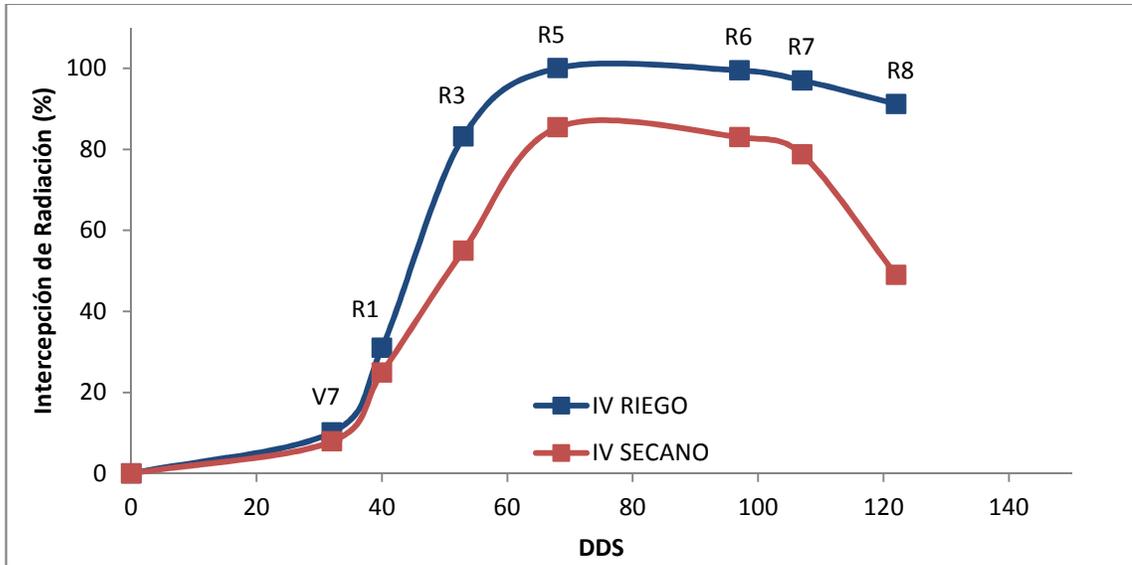


Figura 12: Porcentaje de Radiación solar incidente interceptada (%) en condición de secano y riego para el grupo de madurez IV, durante el ciclo del cultivo de soja (2012-2013). Rio IV (Cba).

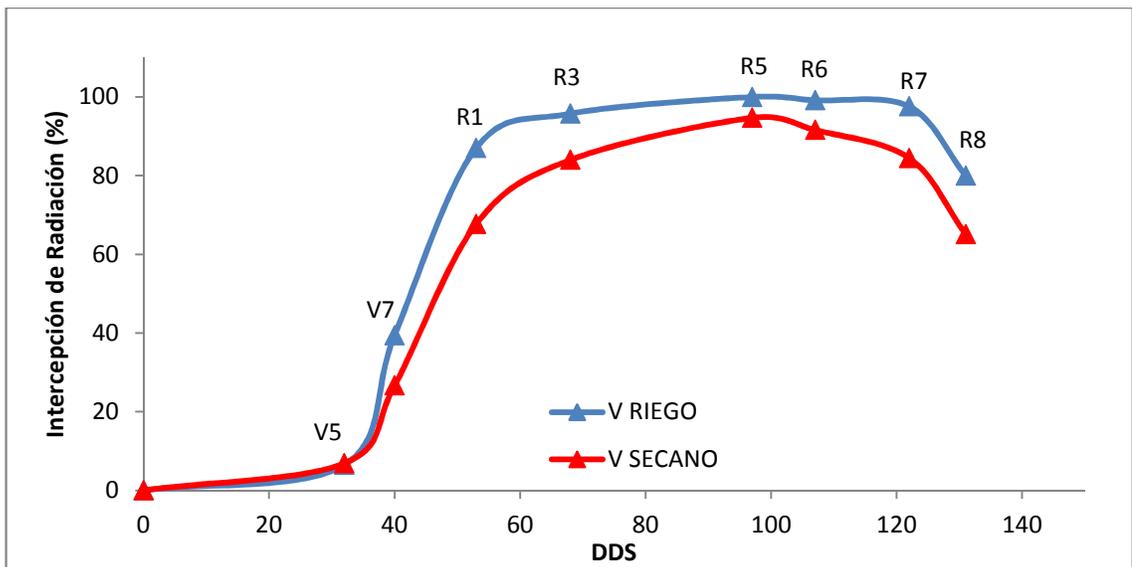


Figura 13: Porcentaje de Radiación solar incidente interceptada (%) para el grupo de madurez V en condición de secano y riego durante el ciclo del cultivo de soja (2012-2013). Rio IV (Cba).

5.2.2. Eficiencia de uso de la radiación:

Las figuras 14 A, 15 A y 16 A presentan la eficiencia de uso de la radiación (EUR) (g MJ^{-1}) para los GM III, IV, y V respectivamente, en la condición de riego, para el ciclo del cultivo de soja (2012-2013); las figuras 14 B, 15 B y 16 B muestran la EUR de mencionados GM, en la condición de secano, para el ciclo en cuestión. Los valores de EUR oscilan entre 1,55 a $1,79 \text{ g MJ}^{-1}$ para la condición bajo riego y entre 1,17 a $1,42 \text{ g MJ}^{-1}$ para la de secano. Estos resultados de EUR son mayores, a los registrados por Vaiman *et al.*, (2008) ($0,93 \text{ g MJ}^{-1}$) en condición de secano, mientras que fueron similares respecto a valores de EUR encontrados por Andriani *et al.*, (1991) que rondan entre 1,07 y $1,50 \text{ g MJ}^{-1}$ en la etapa fenológica de R4-R6 y en tratamientos con sequía inducida. Al igual que en este ensayo, disminuciones de la EUR en condiciones de estrés hídrico fueron reportadas por Canfalone *et al.*, 2002 quienes encontraron valores de $1,38 \text{ g MJ}^{-1}$ para el cultivo con riego y de $1,34 \text{ g MJ}^{-1}$ en condiciones de secano.

Con respecto a la eficiencia de uso de la radiación para los grupos de madurez III, IV y V en condición de riego durante el ciclo de cultivo de soja 2012-2013 (figura 14 A, 15 A y 16 A), se observa que los valores de EUR logrados por el GM III y IV fueron superiores a los presentados por el grupo V. Esta diferencia pudo deberse a que en los grupos de madurez más cortos, para la fecha de siembra elegida, el período reproductivo ocurrió en un momento en el que la oferta ambiental de radiación solar y temperatura fue mayor comparada a la que se produce durante el período reproductivo del grupo de madurez más largo (GM V), permitiéndole al cultivo interceptar una mayor cantidad de radiación favoreciendo a una mayor producción de biomasa y con ello aumentar su EUR. Aumentos en la EUR por mayor disponibilidad de recursos son citados por Landler y Kantolic (2011) en distintos espaciamientos de siembra.

En cuanto a la eficiencia de uso de la radiación en la condición de secano (figura 14 B, 15 B y 16 B), se observa que el valor alcanzado por el GM IV y V fue superior al del GM III. Esta mayor EUR de los GM más largos puede deberse a que para la fecha de siembra en que se realizó el ensayo hizo que el periodo crítico del grupo de madurez más corto (GM III) quede expuesto en una condición atmosférica más demandante de agua (Martignone *et al.*, 2010) y en un momento de baja disponibilidad de agua para el uso por parte del cultivo (ver Figura 3); hecho aún más agravado por la elevada tasa respiratoria que presentan los cultivares de ciclo más corto (Salinas *et al.*, 1996) en comparación con los GM de ciclos más largo, lo que produce una reducción en la producción de biomasa y por ende de eficiencia de uso de la radiación.

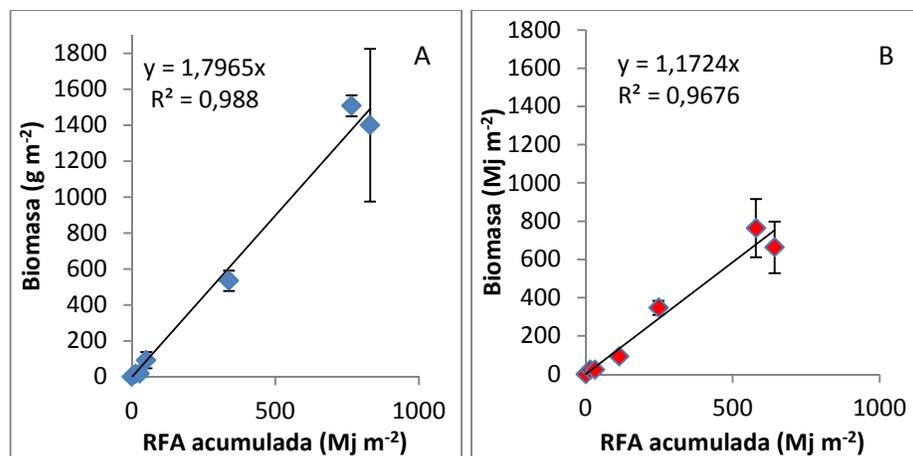


Figura 14: Eficiencia de uso de la radiación (EUR) ($g\ MJ^{-1}$) para el grupo de madurez III, para la condición de riego (A) y secano (B) durante el ciclo del cultivo de soja (2012-2013). Rio IV (Cba).

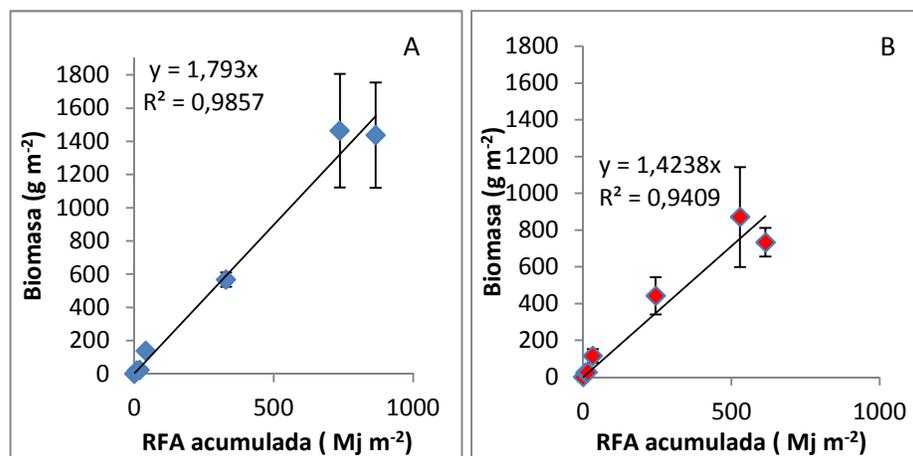


Figura 15: Eficiencia de uso de la radiación (EUR) ($g\ MJ^{-1}$) para el grupo de madurez IV, para la condición de riego (A) y secano (B) durante el ciclo del cultivo de soja (2012-2013). Rio IV (Cba).

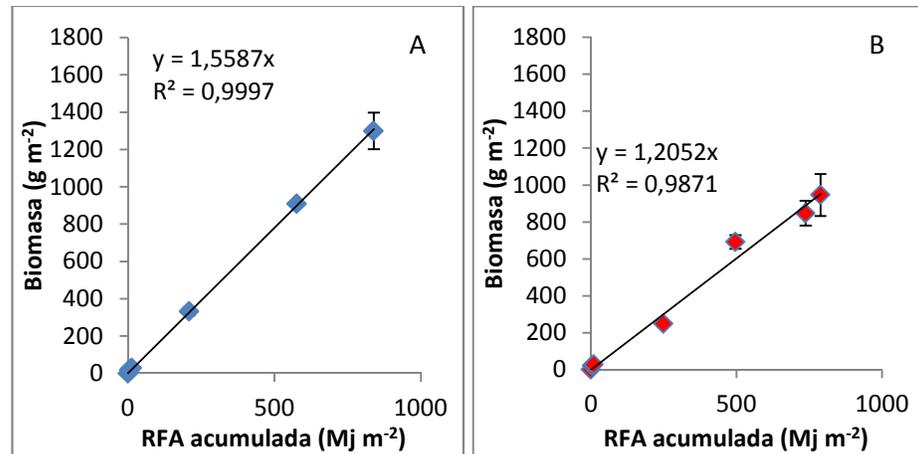


Figura 16: Eficiencia de uso de la radiación (EUR) (g Mj^{-1}) para el grupo de madurez V, para la condición de riego (A) y secano (B) durante el ciclo del cultivo de soja (2012-2013). Rio IV (Cba).

5.2.3. Rendimiento en grano y sus componentes:

En la tabla 1 se muestran los valores de los componentes del rendimiento del cultivo de soja (2012-2013) encontrados para los factores condición hídrica, grupo de madurez y la interacción entre los mismos. Debido a que no se observó interacción entre factores para las variables estudiadas, se analizan los resultados para cada factor en forma separada.

El número de nudos m^{-2} presentó diferencias significativas ($p = 0,006$) para el factor condición hídrica (tabla 1). La condición riego presentó 456,5 nudos m^{-2} , un 53,5 % más que la condición secano quien alcanzó los 297,3 nudos m^{-2} . Para este ensayo, y tal como lo señala Raper y Kramer citados por Board *et al.*, (1999), la mejor condición previa a floración en la condición de riego permitió diferenciar y producir una mayor cantidad de nudos. Esta mayor cantidad de nudos se asoció positivamente con el número de granos logrados por superficie ($R^2 = 0,83$; $p < 0,05$), coincidiendo con los resultados descriptos por Landler, y Kantolic (2011) en un estudio de generación del rendimiento de soja en planteos con diferente distribución espacial.

En el análisis del número de ramas por unidad de superficie ó capacidad de ramificación arroja diferencias estadísticas ($p = 0,0186$) para el factor GM. Al respecto se observó que los valores de número de ramas correspondientes al GM III y IV presentaron, al contrario de lo que indica la literatura, un número superior de ramas por m^2 respecto al GM V.

Para el número de frutos por unidad de superficie se observa una diferencia estadísticamente significativa para el factor condición hídrica. Se muestra en la tabla 1 que la condición de riego fue estadísticamente superior ($p = 0,0007$) a la condición secano. Esta última presentó 1072,1 frutos m^{-2} frente a los 1697,11 frutos m^{-2} lo que equivale a un 58,3% más de frutos por superficie la condición irrigada. Esto indicaría que la oferta hídrica que tuvo el cultivo durante el período entre comienzo de floración (R1) y comienzo de llenado de granos (R5) fue el factor de producción condicionante y afectó el número potencial de granos del cultivo, coincidiendo esto con lo señalado por Salvagiotti *et al.*, (2010).

El factor grupo de madurez mostró diferencias estadísticas significativas ($p = 0,0002$) en el número de granos por fruto siendo el GM III quien tuvo más granos por fruto (2,43 granos $fruto^{-1}$) seguido por el GM IV (2,31 granos $fruto^{-1}$) y por último el GM V (2,19 granos $fruto^{-1}$). A su vez, sólo los GM III y IV presentaron frutos con 4 granos. En dicho análisis también se observa que la condición riego fue estadísticamente superior ($p < 0,0001$) a la de secano: Riego 2,42 granos $fruto^{-1}$ y Secano 2,2 granos $fruto^{-1}$. Estos resultados concuerdan con lo indicado por Kantolic *et. al* (2003), quienes indican que el número de granos por fruto es un componente de alta heredabilidad por lo tanto dependiente del genotipo, sin embargo en este ensayo también se observó un efecto ambiental.

Cuadro N° 1: Componentes del rendimiento del cultivo de soja en función de la condición hídrica y el grupo de madurez.

Fuente de variación	Factores	N° nudos m-2	N° ramas m-2	N° de fruto m-2	grano vaina-1
Grupo de Madurez (GM)	III	449,89	102,8	1243,26	2,43
	IV	353,01	91,3	1426,27	2,31
	V	327,84	66,78	1484,29	2,19
Condición	Riego	456,5	93,79	1697,11	2,42
	Secano	297,34	80,13	1072,1	2,2
Interracción (GMxCon)	IIIr	413,39	124,11	1506,82	2,49
	IIIs	242,3	81,5	979,71	2,37
	Ivr	411,91	94,61	1764,1	2,45
	Ivs	294,12	87,98	1088,44	2,17
	Vs	544,2	62,64	1820,42	2,32
	Vs	355,59	70,92	1148,16	2,06
Valor de p	GM	0,1202	0,0186	0,3203	0,0002
	Con	0,006	0,1438	0,0007	<0,0001
	GMxCon	0,8093	0,0907	0,8666	0,0913

Las siguientes figuras presentan los componentes directos del rendimiento para los GM III, IV, y V, en condición de riego y secano, para el ciclo del cultivo de soja (2012-2013).

La figura 17 muestra el número de granos m^{-2} del cultivo de soja para el factor GM, el análisis estadístico de este componente no arrojó diferencias significativas ($p = 0,7428$) entre los niveles evaluados.

Por otro lado, si se observó una menor producción de granos por superficie para el grupo de madurez III, y aunque esta diferencia no fue estadísticamente significativa, esta tendencia fue mencionada por Kantolic y Slafer (2003), que describen que en las variedades de ciclo corto la duración del período crítico es generalmente menor y limita la capacidad de formar granos.

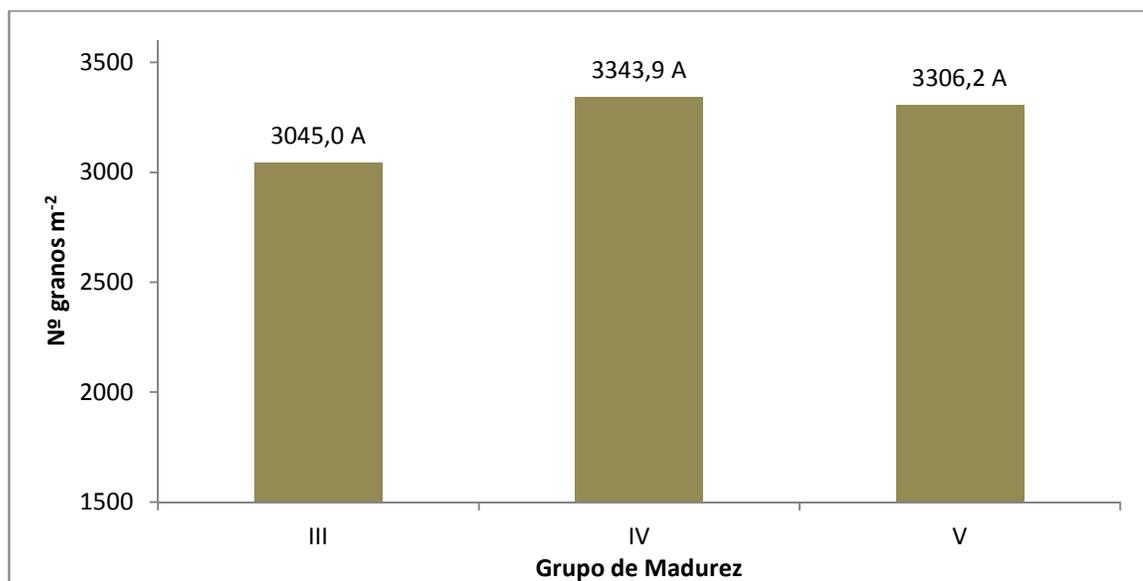


Figura 17: Número de granos m^{-2} en función de tratamientos grupo de madurez III, IV y V para el cultivo de soja (2012-2013). Letras iguales indican que no existen diferencias significativas según test LSD de Fisher (5%).

La figura 18 muestra el número de granos m^{-2} obtenidos en la condición con y sin riego para el cultivo de soja (2012-2013). En el análisis de este componente se observaron diferencias altamente significativas ($p = 0,0004$) a favor de la condición de riego, quien presentó un 75 % más de granos m^{-2} que en secano.

Esta marcada diferencia se debe principalmente a que la mejor condición hídrica permitió a los grupos de madurez evaluados hacer un uso más eficiente de los recursos presentes (CO_2 , radiación solar y nutrientes) produciendo y acumulando una mayor biomasa aérea durante todo su ciclo (ver figuras 4 y 5), en efecto, estas mejores condiciones pudieron favorecer el logro de mayores porcentajes de intercepción de luz (ver figura 9), lo que benefició la acumulación de

radiación solar incidente durante el periodo R1-R5 (figura 22), y en coincidencia con Martignone *et al.*, (2002) esta superior radiación acumulada fue la que determinó la magnitud de fotoasimilados producidos y con ello la posibilidad de fijar un mayor número de frutos m^{-2} , más granos/vaina y en consecuencia superior número de granos por superficie (principal componente del rendimiento) (Tabla 1).

Los resultados expuestos en este ensayo confirmarían una alta asociación entre el tamaño de las plantas, medido tanto como acumulación de biomasa e índice de área foliar, y el número final de granos Martignone *et al.* (2010).

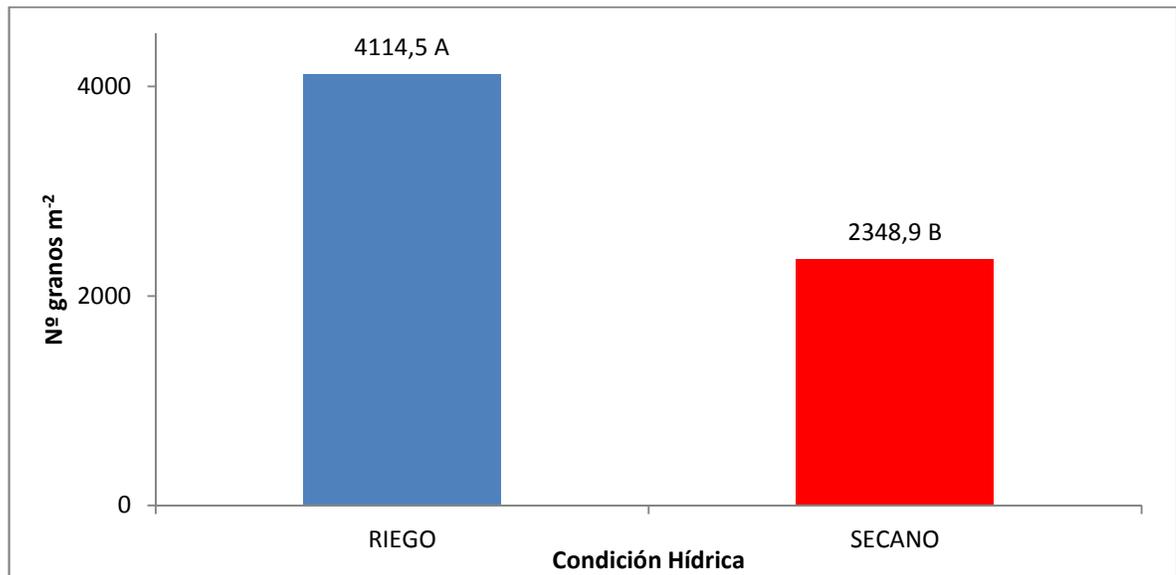


Figura 18: Número de granos m^{-2} para tratamiento Riego y Secano, para el cultivo de soja (2012-2013). Rio IV (Cba). Letras distintas indican diferencias significativas según test LSD de Fisher (5%).

El peso individual de los granos tuvo diferencias altamente significativas ($p=0,0061$) donde los tratamientos III y IV bajo riego fueron los que presentaron el mayor peso de 100 granos (figura 19). Para este ensayo, al igual que lo descrito en un trabajo previo por Martignone *et al.*, (2002), se presentó una asociación entre la radiación solar incidente acumulada durante el período de llenado de los granos, entre R5 y R7 y el peso promedio de las mismas (figura 23). Los fotoasimilados producidos en esta etapa se destinaron prioritariamente al crecimiento o llenado de los granos. Los tratamientos III riego, III secano IV riego, IV secano, V riego y V secano, recibieron durante este período 441,02; 313,81; 450,57; 313,15; 269,41 y 257,54 $MJ m^{-2}$ respectivamente. La diferencia expuesta por los tratamientos III y IV riego está asociada a la mayor duración del área foliar y permanencia de máxima intercepción de la luz solar (figura 10 y 11) en conjunto con una mejor oferta ambiental radiativa y de temperatura

durante el período de determinación del peso de los granos, en contraste, el menor valor de los tratamientos III y IV secano, se debió a que se produjo un acortamiento del período de llenado, en la fotosíntesis y nutricionales causadas por deficiencias hídricas (Kantolic 2003; Egli 1998 citados por Morla 2009).

Si bien el máximo peso de los granos es una característica genética (Matignone *et al.*, 2010), el peso real de los mismos fue influenciada por la disponibilidad de asimilados durante el período de crecimiento lineal de los granos.

En cuanto al menor peso observado en el tratamiento V riego y V secano, si bien no se asoció a un acortamiento de su período efectivo de llenado de granos (R5-R7) por deficiencias hídricas, el mismo ocurrió con temperaturas más bajas (dato que se desprende de figura 1) y días más cortos, que pueden haber limitado la acumulación de radiación solar incidente, y en consecuencia un menor flujo de fotoasimilados se destinó para el crecimiento de grano. Similares resultados son descriptos por Gimenez *et al.*, (2004) cuando el atraso de la fecha de siembra ubicó el período efectivo de llenado de granos en un ambiente de menor temperatura y radiación, provocando un menor peso de las 1000 granos en todos los cultivares evaluados.

El valor mayor de peso de 100 granos observada en el GM V de la condición de secano, puede ser explicada por una mayor relación fuente - destino, ya que el número de granos fijado en este tratamiento fue menor que en la condición bajo riego, observándose un efecto de compensación entre los dos componentes directos del rendimiento.

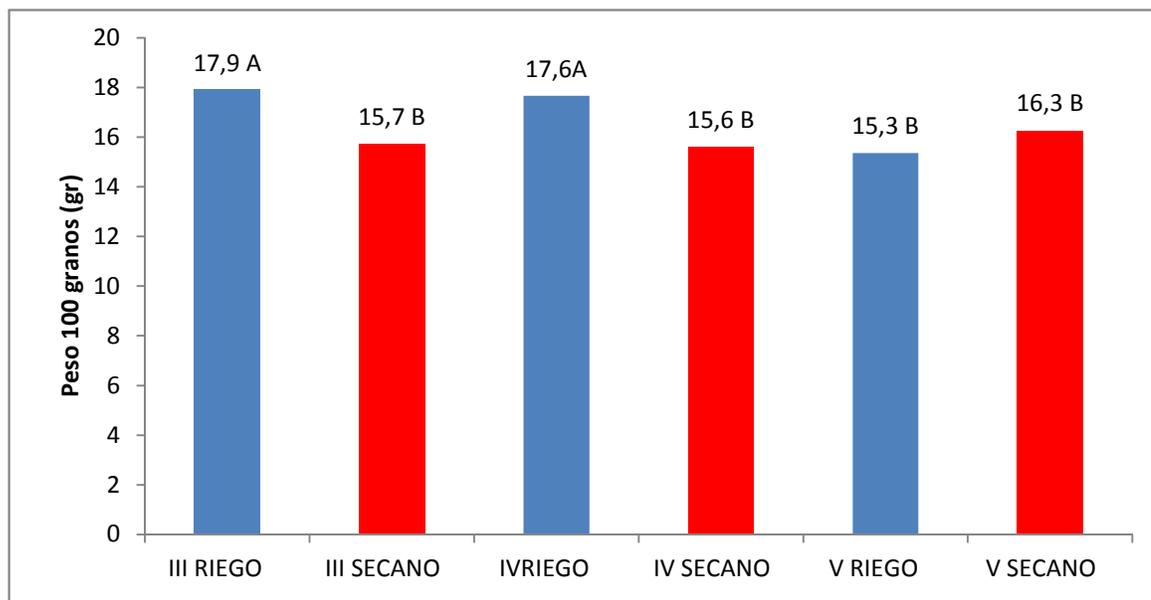


Figura 19: Peso promedio de 100 granos (g) para la interacción Grupo de madurez-Condición hídrica para el cultivo de soja (2012-2013).

La figura 20 muestra el rendimiento (Kg ha^{-1}) del cultivo de soja para los grupos de madurez evaluados. Sin bien las diferencias observadas no son estadísticamente significativas ($p=0,7404$), se observó que el grupo de madurez IV superó en un 9,4 % al rendimiento de los Grupos III y V. Esta diferencia se asoció al mayor número de granos por superficie (figura 18) logrados, junto al mayor peso (figura 19).

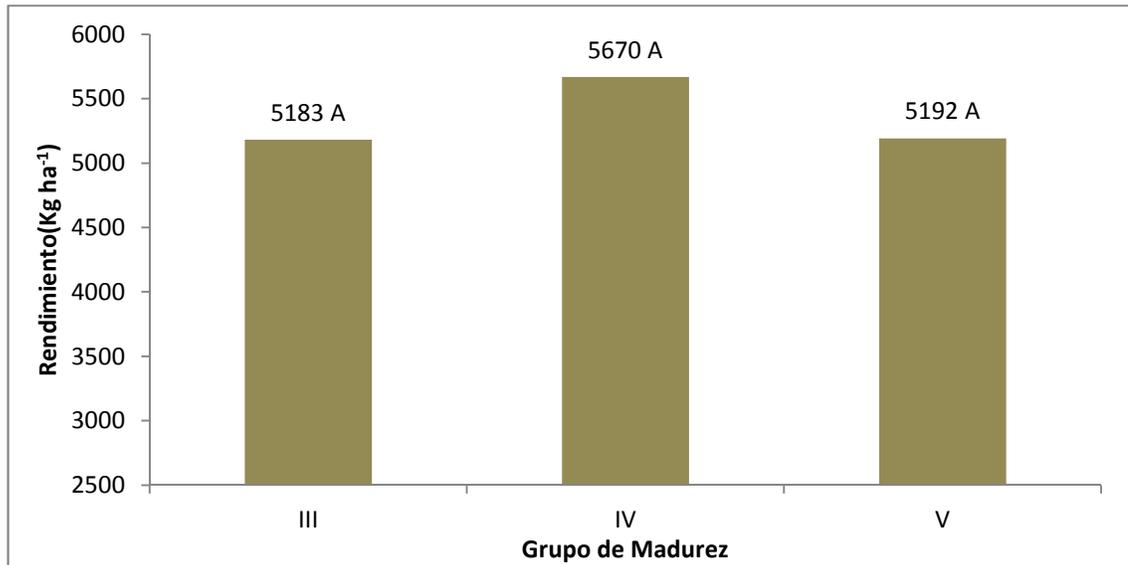


Figura 20: Rendimiento (kg ha^{-1}) para los Grupo de madurez III, IV y V, para el cultivo de soja (2012-2013). Rio IV (Cba).

La figura 21 muestra el rendimiento (Kg ha^{-1}) obtenido para el factor condición hídrica. En el análisis estadístico se observó diferencias altamente significativas ($p = 0,0002$), así, cuando se aplicó riego se obtuvo un 87,5 % (3256 Kg ha^{-1}) más de rendimiento respecto a su par no regado.

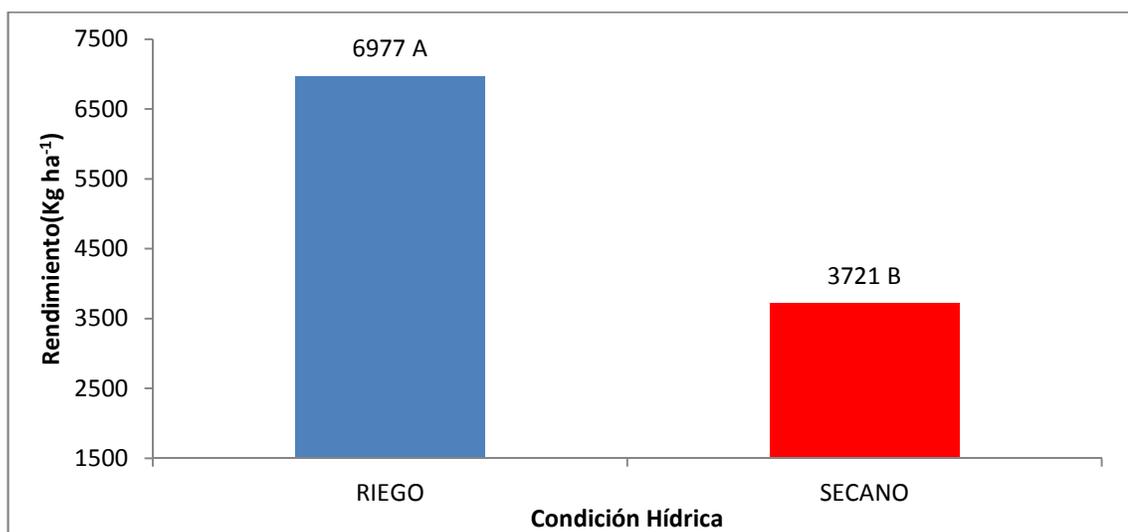


Figura 21: Rendimiento (kg ha^{-1}) en función de la condición Riego y Secano, para el cultivo de soja (2012-2013).

Los rendimientos alcanzados dependieron de las condiciones ambientales que incidieron en las etapas críticas del cultivo. El suministro de riego fue quien determinó un mejor ambiente para la producción y acumulación de biomasa, debido a que se logró una mayor intercepción y eficiencia de uso de la radiación solar. En consecuencia la producción de biomasa alcanzada por los tratamientos bajo riego, favoreció a interceptar y acumular más radiación solar incidente durante el periodo R3-R6, asociándose esto positivamente con el rendimiento (figura 26), debido a un mayor flujo de fotoasimilados disponibles al momento de definir los principales componentes del rendimiento: número y peso de grano.

El rendimiento estuvo más asociado con el número de granos por unidad de superficie ($R^2 = 0,95$) (figura 24) que con el peso de los granos ($R^2 = 0,21$) (figura 25), en coincidencia con lo señalado por numerosos autores (Lander y Kantolic 2011; Martignone *et al.*, 2002; Kantolic *et al.*, 2003).

Una posible explicación entre las diferencias en el rendimiento y sus componentes se podría atribuir a la disponibilidad hídrica durante la fructificación y formación de granos y la radiación solar acumulada durante el ciclo de los cultivos, siendo estos los factores que más influyeron sobre la determinación del número de granos por m^2 y el tamaño de las mismas, y las variaciones conjuntas de ambos componentes quienes determinaron los rendimientos finales (Martignone *et al.*, 2002).

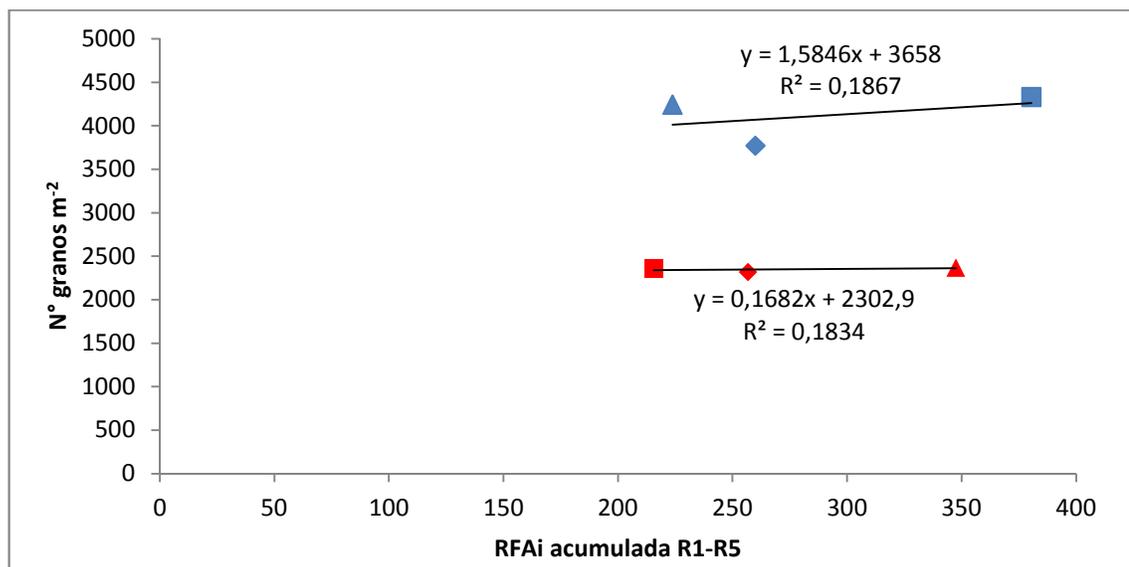


Figura 22: Número de granos m^{-2} de los tratamientos grupo de madurez (III, IV y V) riego y seco en función de la radiación fotosintéticamente activa acumulada ($MJ m^2$) en el período R1-R5, para el cultivo de soja (2012-2013). Referencias: GM III: rombo; GM IV: cuadrado; GM V: triángulo (riego: símbolos azules; seco: símbolos rojos).

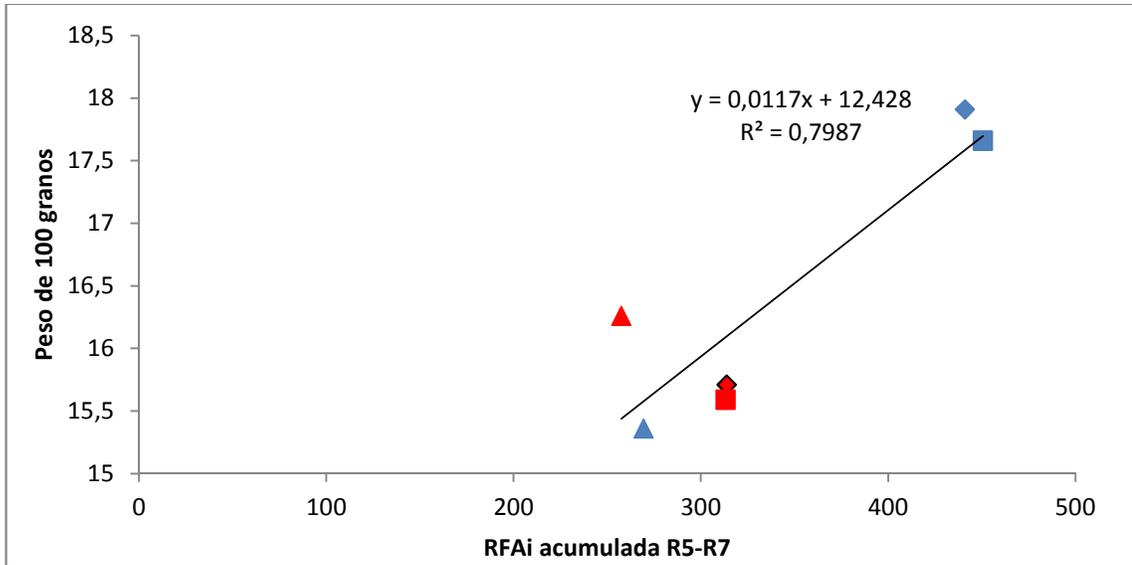


Figura 23: Peso de 100 granos de los tratamientos grupo de madurez (III, IV y V) riego y secano en función de la radiación fotosintéticamente activa acumulada ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) en el período R5-R7, para el cultivo de soja (2012-2013). Referencias: GM III: rombo; GM IV: cuadrado; GM V: triángulo (riego: símbolos azules; secano: símbolos rojos).

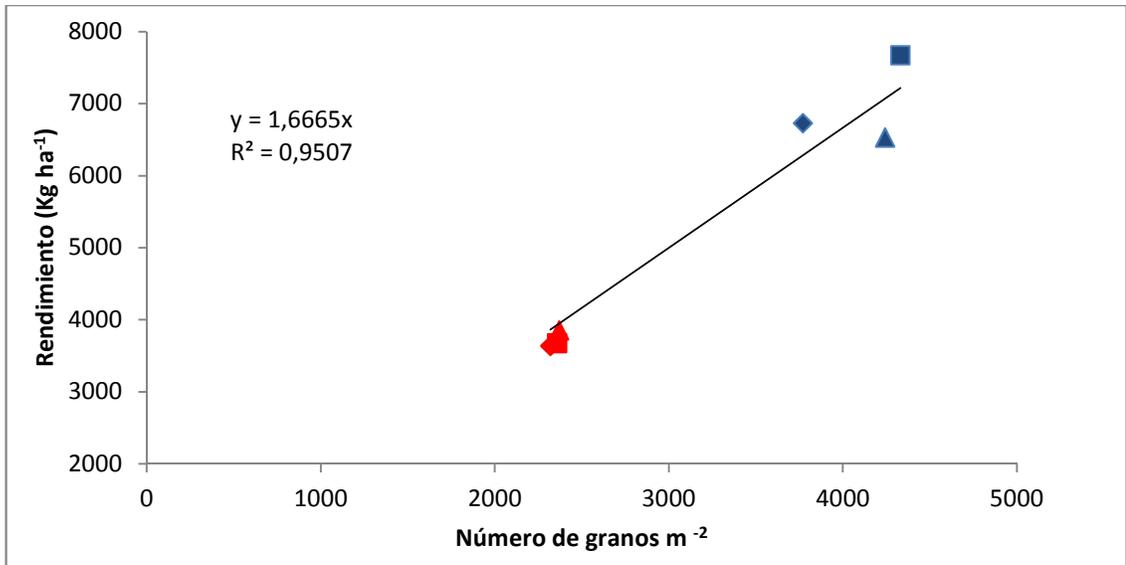


Figura 24: Rendimiento (kg ha^{-1}) de los tratamientos grupo de madurez (III, IV y V) riego y secano en función del número de granos m^{-2} , para el cultivo de soja (2012-2013). Referencias: GM III: rombo; GM IV: cuadrado; GM V: triángulo (riego: símbolos azules; secano: símbolos rojos).

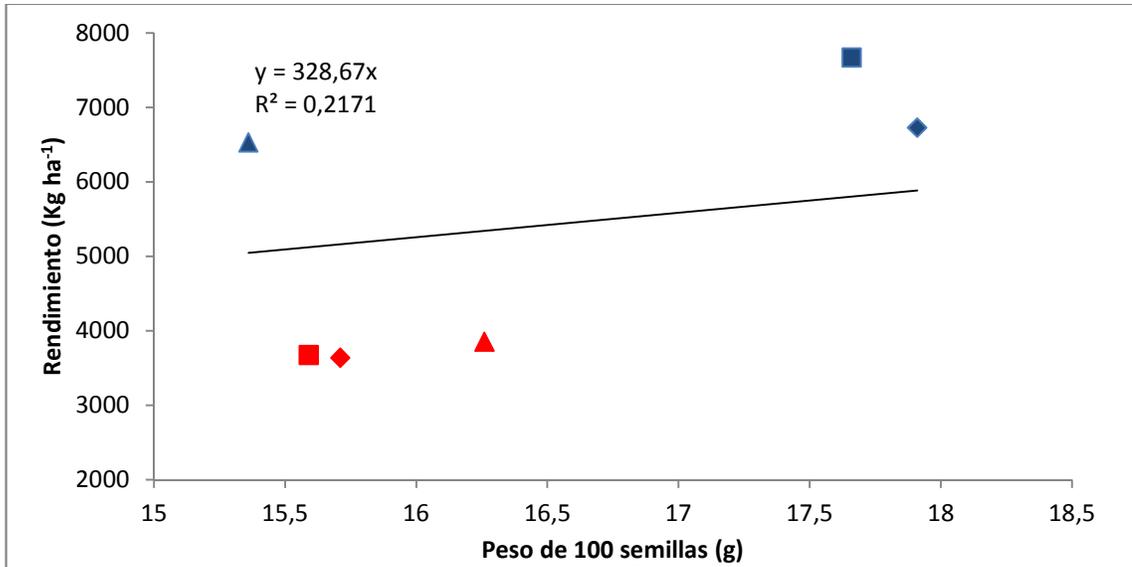


Figura 25: Rendimiento (kg ha^{-1}) de los tratamientos grupo de madurez (III, IV y V) riego y seco en función del peso de 100 granos (g), para el cultivo de soja (2012-2013). Referencias: GM III: rombo; GM IV: cuadrado; GM V: triángulo (riego: símbolos azules; seco: símbolos rojos).

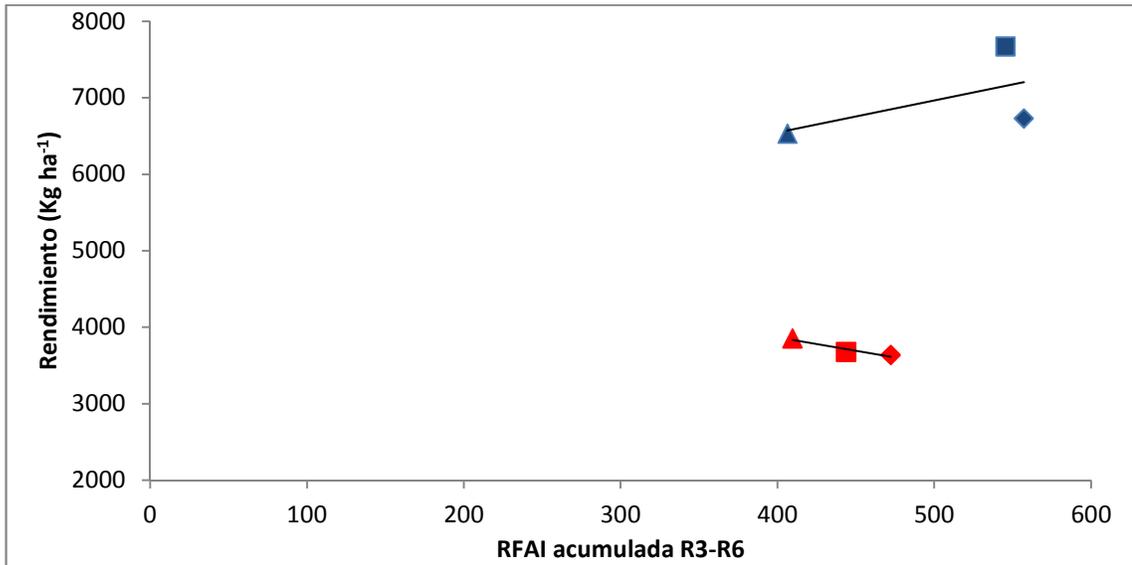


Figura 26: Rendimiento (kg ha^{-1}) de los tratamientos grupo de madurez (III, IV y V) riego y seco en función de la radiación fotosintéticamente activa acumulada (MJ m^{-2}) durante el periodo R3-R6, para el cultivo de soja (2012-2013). Referencias: GM III: rombo; GM IV: cuadrado; GM V: triángulo (riego: símbolos azules; seco: símbolos rojos).

6. CONCLUSIONES

El comportamiento de los grupos de madurez de soja evaluados en condiciones hídricas de riego y secano presentaron diferencias en relación con las variables analizadas en este trabajo.

En efecto el rendimiento alcanzado por los grupos de madurez presentó una importante respuesta al factor riego, que fue del 87 % superior. Se observó que existe una relación estrecha entre el rendimiento y el número de granos, y en menor medida con el peso de granos, quienes demostraron una asociación directa con la radiación solar acumulada durante el período crítico para su determinación.

Si bien no se observaron diferencias importantes de rendimiento entre los grupos de madurez evaluados dentro de cada condición hídrica, si se presentaron valores distintos de EUR. Los grupos de madurez III y IV presentaron mayor valor de EUR (1,79 g MJ⁻¹) que el grupo de madurez V (1,55 g MJ⁻¹), en coincidencia con la mayor producción de biomasa aérea total alcanzada durante todo el ciclo del cultivo.

En cuanto a la condición de secano, el grupo de madurez IV fue quien logró el mayor valor de EUR (1,42 g MJ⁻¹), sin presentarse diferencias importantes entre el GM III y GM V, a los que les correspondió un valor de EUR de 1,20 y 1,17 (g MJ⁻¹) respectivamente.

Estas respuestas diferenciales encontradas en este trabajo pueden ser explicadas por el hecho de que el periodo crítico de los grupos más cortos coincidió con un ambiente de mayor oferta de radiación solar permitiendo elevados porcentajes de intercepción y acumulación de radiación en condiciones de riego complementario. Mientras que fueron estos grupos los que menor rendimiento presentaron en las condiciones de secano, ya que el periodo crítico de estos quedó expuesto a condiciones estresantes dadas por una alta demanda atmosférica y la falta de capacidad de aporte de agua por parte del suelo.

Estos resultados son de importancia como base en prácticas de manejo agronómico en la región como lo es la elección de cultivares.

7. BIBLIOGRAFIA

- ACSOJA. 2012. La importancia económica de la soja. En: www.francomanopiacardi.com.ar/news/004_abril2008/04_21a25/03_agricultura_AC_SOJA_ImportanciaEconomica.htm. Consultado: 20-08-2012
- ANDRADE, F.H; L.A.N AGUIRREZABAL y R.H RIZALLI.2000. Crecimiento y rendimiento comparados. En: ANDRADE, F. H. y V.O. SADRAS. *Bases para el manejo de maíz, el girasol y la soja*. U.I. INTA Balcarce- Fac. Ciencias Agrarias UNMP. Primera Edición. Cap.3. p: 61-96.
- ANDRIANI, J. 1997. Uso del agua y riego. En: Giorda, L y H. Baigorri. **El cultivo de la soja en Argentina**. 7:143-150. EEA INTA, Marcos Juárez, Argentina.
- BAIGORRI, H. E. y L. GIORDA 1997. Elección de cultivares. En: **El cultivo de la soja en Argentina**. INTA Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. p. 106-122.
- BOARD, J. E.; M. S. KANG y B. G. HARVIELLE. 1999. Path analyses of the yield process for late-planted soybean. **Agron. J.**, 91: 128 – 135.
- CANFALONE, A.; Y. VILLACAMPA, M. CORTÉS y M. NAVARRO. 2002. Crecimiento de soja en función de la temperatura del aire y la radiación fotosintéticamente activa. **Revista Brasileira. Agrocência**, v. 8, n. 3, pp. 185-189.
- CARCOVA, J; L.G ABELEDO y M. LOPEZ PEREIRA. 2003. Análisis de la generación del rendimiento: crecimiento, partición y componentes. En: SATORRE, E. H; R.L BENECH A; G.A. SLAFER; E.B de la FUENTE; D.J. MIRALLES; M.E. OTEGUI y R.SAVIN. *Producción de granos. Bases funcionales para su manejo*. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Primera Edición. Cap.6.p: 75-95
- DE LA VEGA, A.J y E.B. DE LA FUENTE.2003. Elección de genotipos. . En: SATORRE, E. H; R.L BENECH A; G.A SLAFER; E.B de la FUENTE; D.J MIRALLES; M.E OTEGUI y R.SAVIN. *Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo*. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Primera Edición. Cap.9.p: 319-345
- FEHR, W., CAVINESS, C., BURMNOOD, D. y PENNINGTON J., 1971. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. *Crop Sci.* 11: 929-931
- GESTER, G. y S. BACIGALUPPO. 2009. Como alcanzar altos rendimientos en soja. **Para mejorar la producción N° 45**. EEA INTA Oliveros, pp 63-67
- GIORDA, L.M y H.E.J. BAIGORRI. 1997. *El cultivo de la soja en Argentina*. Ed. INTA. EEA Marcos Juárez- EEA Manfredi.448p.

- GIMENEZ, L. Efecto del largo del ciclo, fecha de siembra y localidad sobre el rendimiento de soja en Uruguay, campañas 2003/04/05. En: http://www.acsoja.org.ar/images/cms/contenidos/599_b.pdf
- KANTOLIC, A.G; P.I GIMENEZ y E.B de la FUENTE.2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y la generación del rendimiento y la calidad de la soja. En: SATORRE, E. H; R.L BENECH A; G.A SLAFER; E.B de la FUENTE; D.J MIRALLES; M.E OTEGUI y R.SAVIN. *Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo*. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Primera Edición. Cap.9.p: 167-195.
- KANTOLIC, A; SLAFER, G. 2003 Número de granos en soja y la sensibilidad al fotoperíodo en etapas reproductivas. En: Satorre, E et al. (Eds) *Producción de granos. Bases funcionales para su manejo* pp.783
- LANDLER MT, Y AG KANTOLIC. 2011. Generación del rendimiento de soja (*Glycine max*) en planteos con diferente distribución espacial. MercoSoja 2011, quinto congreso de soja de MERCOSUR. Rosario, Santa Fe.
- MARTIMOGNE R.; M. L. BODRERO, J. M. ANDRIANI, A. QUIJANO. 2002. Factores genéticos y climáticos y rendimiento de soja de primera en el sur de Santa Fe, campañas 2000/02, cuadernillo agromercado pagina 4-8.
En: http://www.agromercado.com.ar/pdfs/070_soja_02.pdf. Consultado: 20-09-2012
- MARTIGNONE R, A.; J.M. ENRICO, M.L. BODERO y J.M. ADRIANI. 2010. S. Factores asociados con la variabilidad de rendimientos entre grupos de madurez de soja. **Para mejorar la producción N° 45**. EEA INTA Oliveros, pp 25-33.
- MORLA, F. 2009. *Efecto de la pérdida de rastrojo, causado por incendio, sobre el rendimiento de soja* (*Glycine max* (L.) Merrill). Tesis de Grado. Fac. de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río cuarto, Argentina. 40 p.
- PERGOLINI S. Factores que Explican las Variaciones de Rendimiento del Cultivo de Soja entre los Sectores de Bajo y Loma Año 2003
En:<http://www.elsitioagricola.com/articulos/pergolini/Factores%20que%20Explican%20Variaciones%20de%20Rendimiento%20de%20Soja%20entre%20Sectores%20de%20Bajo%20y%20Loma.asp>. Consultado: 15-09-2012
- SADRAS, V. O., FERREIRO, M., GUTHEIM, F. Y KANTOLIC, R. H. 2002. Desarrollo frenológico y su repuesta a temperatura y fotoperíodo. En **Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja**. 2° ed. Andrade, F. y Sadras, V. (Ed.) Graficas Sirio. Argentina. pp. 25-56.

- SANTOS D. J., S. KRÄMER, S. SIBAU. 2011. Dinámica del IAF e intercepción de la radiación en variedades de diferente madurez en Paraná, ER. Quinto congreso de soja de Mercosur. Rosario, Santa Fe.
- SALINAS A., ZELENER N., CRAVIOTO R. M. y V. BISARO. 1996. Repuestas fisiológicas que caracterizan el comportamiento de diferentes cultivares de soja a la deficiencia hídrica en el suelo. **pesq. agprop. bras.** V 31. N 5 pp 331-338.
- SALVAGIOTTI, F.; J.M. ENRICO, M.L. BODERO y S. BACIGALUPPO. 2010. Producción de soja y uso eficiente de los recursos. **Para mejorar la producción N° 45.** EEA INTA Oliveros, pp 151-153.
- SEILER, R. A., FABRICUIS, R., ROTONDO, V. y VINOCUR, M. 1995. **Agroclimatología de Río Cuarto**- 1974/1993- Vol. I. 1, UNRC. 68 p.
- SIIA. 2012. Estimaciones agrícolas – Oleaginosas –Soja. En: <http://www.siaa.gov.ar/index.php/series-por-tema/agricultura> . Consultado: 20-08-2012
- VAIMAN, N., J H I ELIZALDE, V H LALLANA, A B BRIZUELA 2008. Eficiencia del uso del agua y de la radiación en un período de estrés hídrico en soja En: http://www.fca.uner.edu.ar/academicas/deptos/catedras/WEBFV_2010/FVpdf/Resumen_expandido_%20Vaiman.pdf. Consultado: 25-9-12
- VEGA, C.R.C. y DE LA FUENTE.2003. Ciclo ontogénico, Dinamica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en Soja. En: SATORRE, E. H; R.L BENECH A; G.A SLAFER; E.B de la FUENTE; D.J MIRALLES; M.E OTEGUI y R.SAVIN. *Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo.* Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Primera Edición. Cap.9.p: 167-195.
- VEGA, C.R.C. y G. SALAS.2012. Bases para el manejo del cultivo de soja. En: BAIGORRI, H.E.J y L.R.SALADO NAVARRO. *El cultivo de Soja en Argentina.* Agroeditorial Vicente López. Primera edición. Cap.7. p: 147-162.