

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO  
FACULTAD DE AGRONOMIA Y VETERINARIA

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN**

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

Autor: Emiliano Daniel Guzmán

DNI: 31.591.521

Director: Guillermo Cerioni

Co-Director: Marcelo Kearney

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

MSc. Ing.Agr.. Rosana Marzari \_\_\_\_\_

Dr. Ing.Agr. Morla Federico Daniel \_\_\_\_\_

MSc. Ing.Agr. Guillermo Angel Cerioni \_\_\_\_\_

Fecha de Presentación: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

---

Secretario Académico

## **AGRADECIMIENTO**

*Especialmente a mi familia  
y todas las personas que me acompañaron  
durante esta linda etapa.*

## INDICE GENERAL

<b>CERTIFICADO DE APROBACIÓN</b> .....	I
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	II
<b>INDICE GENERAL</b> .....	III
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	1
<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	3
<b>RESUMEN</b> .....	4
<b>SUMMARY</b> .....	4
<b>INTRODUCCION Y ANTECEDENTES</b> .....	6
<b>HIPOTESIS</b> .....	9
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	9
<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b> .....	9
<b>MATERIALES Y METODOS</b> .....	10
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	14
<b>Condiciones Meteorológicas</b> .....	14
<b>Agua en el perfil</b> .....	16
<b>Biomasa total, rendimiento en granos y sus componentes</b> . ....	26
<b>CONCLUSIONES</b> .....	34
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	35

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Temperatura Media, máxima y mínima (°C) a intervalos decádicos en el ciclo agrícola 2012/13 y valores medios 1891-2010 en Río Cuarto (Cba).....	14
<b>Figura 2.</b> Precipitaciones (mm) para la campaña 2012/13 y para el período 1981-2010 en intervalos decádicos. Conjuntamente con los riegos aplicados en el ciclo de estudio, en Río Cuarto (Cba).....	15
<b>Figura 3.</b> Lámina de agua total en tratamientos con riego (mm) hasta la profundidad de 1 metro para los grupos de madurez III, IV y V, durante el ciclo de soja (2012-2013). Río Cuarto (Cba). ....	17
<b>Figura 4.</b> Lámina de agua total en los tratamientos de secano (mm) hasta 1 metro de profundidad para los grupo de madurez III, IV y V, durante el ciclo de soja (2012-2013). Río Cuarto (Cba).....	18
<b>Figura 5.</b> Consumo de agua acumulado (mm) con Riego expresado como Evapotranspiración Real (ETR) para los grupos de madurez III, IV y V, durante el ciclo de soja (2012-2013). Río Cuarto (Cba).....	20
<b>Figura 6.</b> Consumo de agua acumulado (mm) en Secano expresado como Evapotranspiración Real (ETR) para los grupos de madurez III, IV y V, durante el ciclo de soja (2012-2013). Río Cuarto (Cba).....	21
<b>Figura 7.</b> EUA (kg-1ha-1mm) en base a la biomasa aérea total y al rendimiento en granos, para los diferentes grupos de madurez (A) y para cada condición hídrica (B), durante el ciclo de soja (2012-2013). Río Cuarto (Cba). Para cada variable y factor letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas, test de Duncan (5%).....	23
<b>Figura 8.</b> Eficiencia de uso de agua: EUA BT y EUA Rend (kg ha-1) para cada condición hídrica y cultivares, durante el ciclo de soja (2012-2013). Río Cuarto (Cba).....	25
<b>Figura 9.</b> Numero de granos. m <sup>-2</sup> para el promedio de los grupos de madurez III, IV y V, durante el ciclo de soja (2012-2013). Río Cuarto (Cba). ....	27
<b>Figura 10.</b> Numero de granos/ m <sup>2</sup> para el promedio de cada condición hídrica, riego y secano, durante el ciclo de soja (2012-2013). Río Cuarto (Cba). ....	28
<b>Figura 11.</b> Peso de 100 granos (gr) para cada cultivar y condición hídrica, durante el ciclo de soja (2012-2013). Río Cuarto (Cba).....	29

**Figura 12.** Biomasa total y rendimiento en granos (kg/ha) en los distintos cultivares (A) y en las dos condiciones hídricas (B), durante el ciclo de soja (2012-2013). Rio Cuarto (Cba). 30

**Figura 13.** Producción de Biomasa total (B Total) y Rendimiento en granos (Rend) (kg/ha) para cada condición hídrica y cultivar, durante el ciclo de soja (2012-2013). Rio Cuarto (Cba). ..... 32

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Lámina de agua total (mm) hasta la profundidad de 1 metro en cada fecha de muestreo durante el ciclo de soja (2012-2013), para los GM III, IV y V, en las condiciones de riego y secano en Rio Cuarto (Cba). .....	16
<b>Cuadro 2.</b> Consumo de agua acumulado, en cada fecha de muestreo durante el ciclo del cultivo (2012-2013), expresado como Evapotranspiración Real-ETR (mm) para los GM III, IV y V y condición con riego y secano. Rio Cuarto (Cba). .....	19
<b>Cuadro 3.</b> Consumo de agua acumulado, expresado como Evapotranspiración Real-ETR (mm), para la condición de riego y secano y los cultivares III, IV y V, durante el ciclo agrícola 2012-2013. Rio Cuarto (Cba).....	22
<b>Cuadro 4.</b> Biomasa Total y Rendimiento Kg/ha para cada GM y Condición Hídrica. Para cada variable y factor las letras diferentes indican diferencias estadísticas según test Duncan ( $p=0,05$ ).....	30

## RESUMEN

El agua es la principal limitante de producción de los cultivos en la región centro sur de Córdoba. Los déficits hídricos son la principal causa fundamental que explica la variabilidad en los rendimientos. La soja es un cultivo posee cierta plasticidad debido a su capacidad de compensación, sin embargo durante el período crítico (de alta sensibilidad), la falta de agua afecta el rendimiento. El objetivo de este estudio fue evaluar el agua utilizada por el cultivo y la eficiencia de uso en tres grupos de madurez (GM III, IV y V) y en dos condiciones hídricas (riego y secano). El ensayo se realizó en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía y Veterinaria- Camdoxex-UNRC. El experimento fue realizado en la campaña 2012-13, con tres GM (III: TJ 2137, IV: TJ 2246 y V: TJ exp. 2255), en dos condiciones hídricas. Se utilizó un diseño experimental en bloques dispuestos al azar con tres repeticiones. La fecha de siembra fue el 10/11/2012. El consumo de agua aumentó significativamente cuando se utilizó riego suplementario. Respecto a los cultivares, los consumos de agua fueron similares entre los distintos GM. Para ambas condiciones hídricas el GM V fue el que mayor consumo de agua acumuló. La EUA (relativo a biomasa y rendimiento), tuvo una tendencia similar al consumo de agua, encontrando marcadas diferencias entre los tratamientos de condición hídrica y resultados similares entre sí para el caso de los cultivares. En las parcelas que recibieron riego, el cultivar de mayor eficiencia fue el GM IV y en secano fue el GM III. En comparación, los resultados son más variables para la EUA respecto al rendimiento en granos que para la EUA en base a la biomasa total, sin discriminar tratamientos. La producción de materia seca se incrementó el 100% cuando las parcelas tuvieron riego suplementario. En esta última condición el cultivar IV fue el que más alto rendimiento en grano obtuvo. En secano el cultivar de mayor rendimiento fue el GM V. Esto es debido a las condiciones ambientales en el período crítico. Los grupos cortos (III y IV) tuvieron buena oferta de radiación y temperatura durante el periodo crítico, condiciones que pudieron ser aprovechadas con buena disponibilidad de agua. En secano estos grupos estuvieron bajo las mismas condiciones ambientales pero con déficit hídrico, lo cual perjudicó la definición de granos. En secano, el periodo crítico para el GM V, se ubicó a posterior, con menor oferta ambiental pero con déficit hídrico menor.

Palabras claves: soja, riego, secano, cultivares, eficiencia del uso del agua, consumo de agua.

## SUMMARY

Water is the main limitation of crop production in the central south region of Córdoba. Water deficits are the main root cause that explains the variability in yields. Soy is a crop that has certain plasticity due to its ability to compensate, however during the critical period (high sensitivity), the lack of water affects the yield. The objective of this study was to evaluate the water used by the crop and the efficiency of use in three maturity groups (GM III, IV and V) and in two different water conditions (irrigation and dry land). The trial was conducted in the Experimental Field of the Faculty of Agronomy and Veterinary Medicine -Camdocex- UNRC. The experiment was carried out in the 2012-13 campaign, with three GM (III: TJ 2137, IV: TJ 2246 and V: TJ exp. 2255), under two different water conditions. It was used an experimental design in randomly arranged blocks with three repetitions. The sowing date was 10/11/2012. Water consumption increased significantly when supplementary irrigation was used. Regarding the cultivars, water consumption was similar between the different GM. For both water conditions, GM V was the one with the highest water consumption. The EUA (related to biomass and yield), had a similar trend to water consumption, finding marked differences between water condition treatments and similar results among them in the case of cultivars. In the plots that received irrigation, the most efficient cultivar was GM IV and in dry land was GM III. In comparison, the results are more variable for the EUA regarding grain yield than for the EUA based on total biomass, without discriminating treatments. Dry matter production was increased in 100% when the plots had supplementary irrigation. In this last condition, the cultivar IV was the one with the highest grain yield. In dry land the cultivar of greater yield was the GM V. This is due to the environmental conditions in the critical period. The short groups (III and IV) had a good supply of radiation and temperature during the critical period, conditions that could be used with good water availability. In dry land these groups were under the same environmental conditions but with water deficit, which impaired the definition of grains. In dry land, the critical period for GM V was later, with lower environmental supply but with lower water deficit.

Keywords: soy, irrigation, dry land, cultivars, efficiency of water use, water consumption.

## INTRODUCCION Y ANTECEDENTES

En la Argentina, desde la década del 70 hasta los últimos años, el cultivo de soja pasó de ser una práctica casi experimental a un cultivo de gran desarrollo, en cuanto a la superficie sembrada y su producción (Aizen *et al.* 2009). Los factores que determinaron este cambio fueron los altos precios internacionales, el bajo costo de producción y la aparición de genotipos modificados genéticamente otorgándole resistencia a ciertos herbicidas (Escande, 2009).

La gran parte de la producción de soja se destina a exportación, principalmente en forma de harina (subproducto), le sigue la exportación de grano y aceite, y una pequeña participación como biodiesel. Dentro del mercado interno, la principal demanda está en la industria aceitera, seguido por la de la alimentación animal (Ciani *et al.* 2018).

En la campaña agrícola 2017/18 la superficie total sembrada fue de 17,3 millones de ha, alcanzando una producción total de 37,8 millones de toneladas, con un rinde promedio de 2316 kg/ha. La provincia de Córdoba representa alrededor de un 26% de la superficie total sembrada y producción total, con un rinde promedio de 2567 kg/ha. Esto indica la importancia del cultivo para nuestra región. (Agroindustria, 2019)

El agua es considerada el factor con mayor incidencia en la producción de alimentos en el mundo, porque delimita áreas productivas y define el resultado de las mismas. En Argentina, gran parte de la agricultura se concentra en la región pampeana, involucrando las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe, con características climáticas y suelos favorables para el crecimiento de los cultivos, muchas veces con cantidades de agua de lluvia que superan a los requerimientos, pero pudiendo experimentar limitaciones hídricas temporales debido a que su distribución no es homogénea durante el ciclo del cultivo. En los últimos años, la frontera agrícola se expande hacia las regiones semiáridas del país, con regímenes pluviométricos inferiores y suelos más pobres (Andrade *et al.* 2017).

Las limitaciones en el consumo de agua por parte del cultivo son unas de las principales causas de la caída de rendimientos desarrollados en secano (Boyer 1982). La disponibilidad de agua para consumo depende no solo del aporte de precipitaciones, sino también de las características del suelo como la capacidad de almacenaje, profundidad, velocidad de infiltración de agua, y características del cultivo como la exploración de raíces.

El desafío constante es conocer cómo el clima, el suelo, la genética vegetal y el manejo cultural pueden ser combinados para hacer un uso racional y eficiente de los recursos e insumos y así aumentar los rendimientos, mediante técnicas que eviten la degradación y contaminación del ambiente.

El rendimiento del cultivo en condiciones limitantes de agua se define como el producto entre la cantidad máxima de agua evapotranspirada, la eficiencia en el uso del agua y el índice de cosecha (Passioura, 1977). El uso de riego suplementario durante periodos sensibles del cultivo, puede ser una herramienta útil para mitigar eventuales déficits hídricos y lograr una mayor producción de granos.

La etapa del cultivo que se inicia alrededor de R3-R4 y se extiende hasta R6, se denomina “periodo crítico” para la determinación del rendimiento siendo el subperíodo comprendido entre R 4,5 y R 5,5 esencialmente crítico (Dardanelli *et al.*, 2003), durante el cual se produce un rápido crecimiento de vainas y el inicio de crecimiento de granos, siendo la etapa más sensible a la disponibilidad de recursos.

El número de granos es el componente más estrechamente asociado al rendimiento y más sensible a la influencia del ambiente, por lo que el estado fisiológico durante este periodo, reflejado en la tasa de crecimiento del cultivo, es decisivo en la determinación de la cantidad de vainas y granos que van a sobrevivir para su posterior llenado (Egli y Zhen-Wen, 1991). Con la ocurrencia de un estrés en esta etapa afectará el número de granos totales, pero puede existir compensación entre componentes de rendimiento (menor número de vainas compensa con un aumento en el número de granos por vaina y/o peso de granos). A medida que la soja progresa hacia nuevas etapas reproductivas, la capacidad de compensación ante situaciones de estrés disminuye y las pérdidas potenciales de rendimientos se incrementan (Satorre *et al.*, 2008).

El segundo componente del rendimiento, peso de los granos, depende del genotipo y de las condiciones ambientales que determinan la capacidad de fotosíntesis del canopeo y la duración de la etapa de llenado (Satorre *et al.*, 2008).

El ciclo de la variedad y la fecha de siembra son los dos elementos claves para ajustar el momento de ocurrencia del período crítico (Andrade y Cirilo, 2000), de modo que en los periodos de determinación del número de granos y del peso coincidan con períodos en que haya mayor radiación incidente y temperaturas óptimas para estos procesos.

En los sistemas de producción de soja de secano, la diferencia de producción entre los rendimientos máximo alcanzables y rendimientos factibles con limitantes de agua sería la principal brecha a disminuir, lo que se verá reflejado en una mayor eficiencia en el uso del agua. Las prácticas para reducir esta brecha comienzan con el manejo y planificación del sistema con el objetivo de favorecer la captación del agua y aumentar el almacenamiento de la misma. Posteriormente, será necesario ajustar el manejo del cultivo para que la máxima oferta de agua del lote coincida con los momentos de mayor crecimiento del cultivo (INTA Oliveros, 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, 2003). Rillo *et al.* (2006), en el partido 25 de Mayo, provincia de Buenos Aires, determinó un consumo 656 mm para un cultivar de grupo de madurez III en secano. Salvagiotti y Manlla (2011) en la estación experimental INTA Oliveros, utilizando parcelas irrigadas, obtuvieron un consumo de agua de 469 mm, 496 mm y 525 mm para cultivares de grupo III, IV y V.

La eficiencia de uso del agua (EUA) es la relación entre la biomasa producida (kg/ha) y el consumo de agua en milímetros (mm) necesarios para dicha producción (Dardanelli *et al.*, 2003), es decir, la EUA es modificada por todas aquellas variables que afectan el rendimiento del cultivo y/o el consumo de la misma (DellaMagiora *et al.*, 2002). La EUA varía entre especies, tipo de metabolismo (C3 vs C4), composición de la biomasa, características de uso de agua y entre climas que condicionan la demanda atmosférica. La biomasa puede expresarse en asimilación de dióxido de carbono, biomasa total del cultivo o la producción de granos, mientras que el agua consumida se expresa como transpiración evapotranspiración o agua ingresa al sistema (lluvia y riego). Debido a fines prácticos, se utiliza la biomasa total o rendimiento y la evapotranspiración del cultivo.

Faraldo *et al.*, (2011) determinó la EUA para tres grupos de madurez de soja (III, IV, y V) en secano, obteniendo eficiencias promedio de 5,02 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, 5,44 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> y 4,4 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> para grupos 3, 4 y 5 respectivamente.

En la estación experimental INTA Manfredi, se realizan desde hace 20 años ensayos de producción de soja bajo riego suplementario, registrando incremento de producción de hasta el 30% respecto a un cultivo en secano, además otorgan, a través de los años, estabilidad en los rendimientos (Salinas, 2018). Respecto a la EUA con aportes de agua por riego Valenzuela *et al.*, (2010), en la localidad de Balcarce determinaron un valor de 7,4 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> para una soja de grupo IV. En la provincia de Entre Ríos, (Rodríguez *et al.*, 2011) encontraron un valor 6,4 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>.

En este trabajo se evaluó la utilización del agua comparando tres grupos de madurez y en dos condiciones hídricas, en secano y con riego suplementario.

## **HIPOTESIS**

Cultivares de soja de GM III, IV y V en dos situaciones hídricas contrastantes, presentan diferente utilización del agua y esto tiene un impacto significativo en el rendimiento.

## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el agua utilizada por el cultivo de soja y la eficiencia de uso en tres grupos de madurez (GM III, IV y V) y en dos condiciones hídricas diferentes (riego y seco).

## **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar el agua utilizada para cada grupo de madurez y en las dos condiciones hídricas diferentes.
- Evaluar la eficiencia del uso del agua para cada grupo de madurez y en dos condiciones hídricas contrastantes.
- Determinar el rendimiento en granos para los distintos grupos de madurez de soja en dos situaciones hídricas diferentes.

## **MATERIALES Y METODOS**

El ensayo se realizó en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía y Veterinaria- Camdoxex-UNRC (33° 06' S, 64° 17' O). El tipo de suelo es un Haplustol típico, de textura franca arenosa fina.

El experimento fue realizado en la campaña 2012-13, con tres cultivares de diferentes grupos de madurez (GM), GM III (TJ 2137), GM IV (TJ 2246) y GM V (TJ exp. 2255), en dos condiciones hídricas (riego y secano). Se utilizó un arreglo factorial en bloques dispuestos al azar con tres repeticiones, Los factores fueron: los GM y la condición hídrica. La fecha de siembra fue el 10 de noviembre de 2012 utilizando el sistema de siembra directa, con una maquina neumática de 9 surcos separados a 0,52m entre hileras. La densidad fue de 30 semillas por m<sup>2</sup>.

Para el tratamiento bajo riego se utilizó un sistema presurizado por aspersión de avance frontal. Las parcelas fueron pulverizadas para el control de malezas durante el barbecho y en los estadios iniciales del cultivo, principalmente para el control de sorgo de alepo. No fue necesario realizar aplicaciones para el control de plagas y enfermedades.

## **DETERMINACIONES REALIZADAS**

### **Condiciones Meteorológicas**

Los datos de precipitación, temperaturas de aire media, máxima y mínima fueron recopilados de la estación meteorológica ubicada a cercanías del lote en donde se realizó el ensayo.

### **Agua en el perfil, consumo de cultivo y EUA**

Se determinó la cantidad de agua del suelo entre emergencia del cultivo y hasta madurez fisiológica usando el método gravimétrico. Para ello se tomaron muestras de suelo desde la superficie, cada 20 cm de espesor, hasta el metro de profundidad, con una frecuencia de 10 a 15 días.

La determinación de la cantidad de agua del suelo resultó de la diferencia entre la masa total de suelo húmedo y la masa de suelo seco. La deshidratación fue llevada a cabo en estufa a 105°C durante 24 hs.

- **Calculo del contenido de humedad:**

$$CGA(g\ 100g^{-1}) = \left( \frac{PH - T}{PS - T} \right) * 100$$

Dónde:

CGA= contenido gravimétrico de agua ( $g\ 100g^{-1}$ )

PH= peso de la muestra de suelo húmedo (g)

PS= peso de la muestra de suelo seco (g)

T= tara del recipiente de aluminio (g)

- **Calculo de la humedad volumétrica:** A partir de los datos de humedad gravimétrica y la densidad aparente, determinada por Cerioni (2003) para cada espesor considerado, se estimó la humedad volumétrica expresándola en unidades V/V ( $cm^3$  agua/ $100\ cm^3$  suelo). Luego la humedad volumétrica se expresa en unidades de lámina (mm), obtenida del producto entre el espesor (mm) de cada muestra y la humedad volumétrica. En la fórmula para calcular lamina, el numero 10 representa un factor de conversión, de la HV, de cm a mm.

$$HV (cm^3\ 100cm^{-3}) = CGA \times DAP$$

Dónde:

HV: Humedad volumétrica ( $cm^3\ 100cm^{-3}$ )

HG: Humedad gravimétrica ( $g\ 100g^{-1}$ )

DAP: Densidad aparente del suelo ( $g\ cm^{-3}$ )

$$LA (mm) = (HV/10) \times P$$

Dónde:

LA= lámina de agua (mm)

HV= humedad volumétrica ( $cm^3\ 100cm^{-3}$ )

P= espesor del estrato (cm)

- **Consumo de agua por el cultivo:** El consumo de agua por parte del cultivo se expresó como Evapotranspiracion Real (ETR), y se calculó como la diferencia de cantidad de

agua en el suelo entre dos muestreos sucesivos más los aportes de agua de precipitaciones y riego.

$$ETR (mm) = +/- VA + Pr + R$$

Dónde:

ETR= evapotranspiración real (mm)

VA= variación del contenido hídrico del suelo (mm)

Pr= precipitación (mm)

R= riego (mm)

Los datos de precipitación fueron registrados en la estación meteorológica de la unidad experimental. La percolación profunda no se consideró debido a que los valores medidos estuvieron dentro rango de agua útil (ente CC y PMP) por tal motivo se desestimó. El escurrimiento no se tuvo en cuenta ya que el terreno posee pendiente casi nula y los valores calculados (curva número) fueron nulos (datos no mostrados).

- **Eficiencia de uso de agua:** La misma se calculó en relación a la biomasa producida y el rendimiento en granos del cultivo y la evapotranspiración acumulada (Della Maggiora *et al.*, 2000).

$$EUA = BIOMASA / ETR$$

Donde:

EUA= eficiencia de uso de agua de biomasa y grano ( $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ )

Biomasa= biomasa total y grano del cultivo ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

ETR= evapotranspiración acumulada del cultivo (mm)

### **Biomasa Total y rendimiento en granos**

- **Biomasa:** Para cada material y condición hídrica se tomaron muestras de biomasa en el estado fenológico R8, según la clave fenológica de Fehr y Caviness (1977), recogiendo 3 muestras de  $1 \text{ m}^2$  (1,92 m lineales) por repetición. Se separaron los diferentes órganos aéreos de las plantas y se colocaron en estufa a  $80^\circ$  hasta llegar a peso constante y determinar peso de la materia seca (MS).

- **Rendimiento:** Se contabilizó en el estadio R8 el número de granos por  $m^{-2}$  y el peso de mil semillas. En base a estos datos se calculó el rendimiento en granos por metro cuadrado y por hectárea.

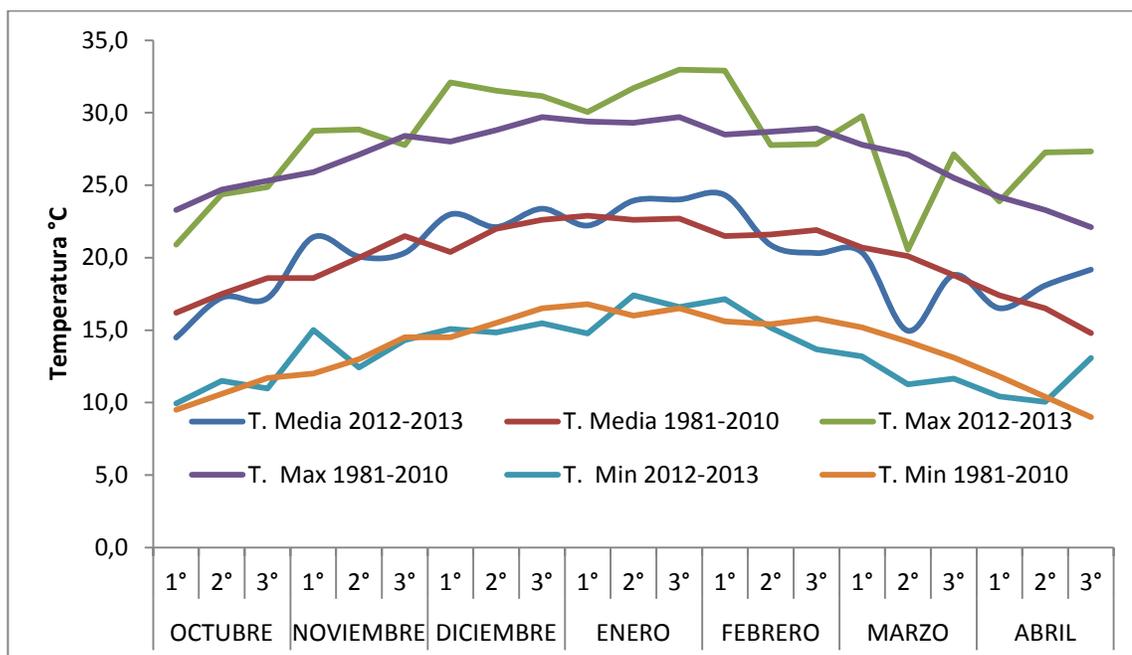
### **Análisis e interpretación de los resultados**

Las variables evaluadas fueron analizadas mediante ANAVA y los promedios se compararon mediante test de Duncan ( $\alpha=0,05$ ). Se calcularon regresiones lineales entre el agua, biomasa y el rendimiento con el programa estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2014).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Condiciones Meteorológicas

En las figuras 1 y 2 se presentan los valores de temperatura (°C) media, máxima, mínima y precipitaciones (mm) a intervalos decádicos respectivamente para la ciclo agrícola 2012/13 y los valores normales registrados desde 1981 a 2010 para la localidad de Río Cuarto (Cátedra agrometeorología, 2017).



**Figura 1.** Temperatura Media, máxima y mínima (°C) a intervalos decádicos en el ciclo agrícola 2012/13 y valores medios 1981-2010 en Río Cuarto (Cba).

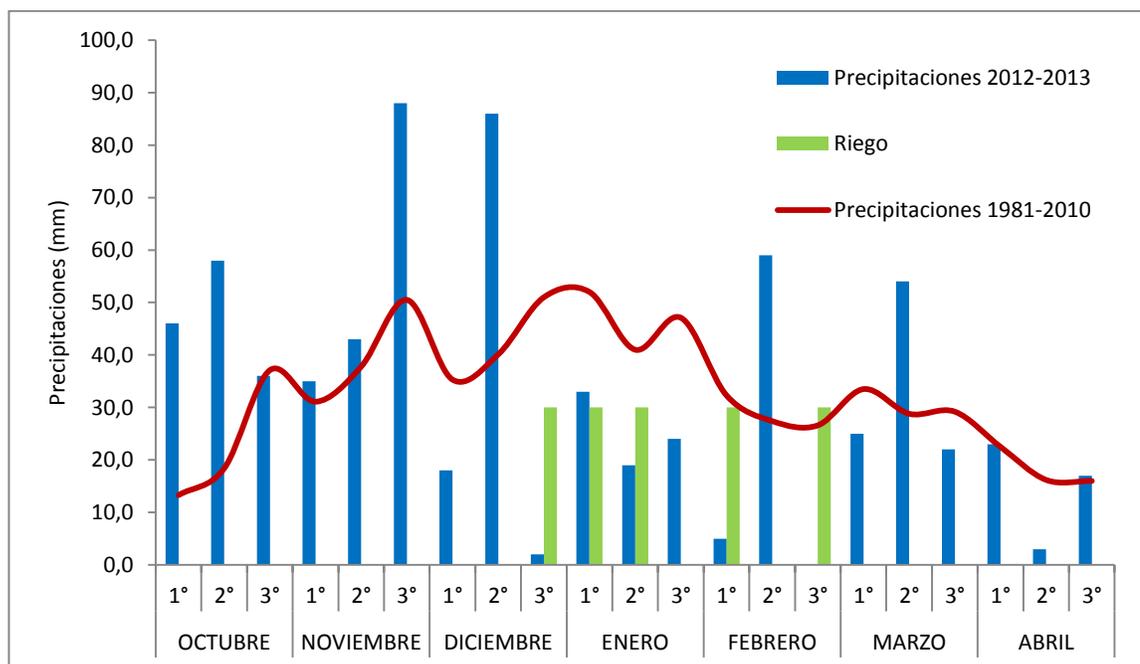
La evolución de la temperatura media para la campaña 2012/13 fue similar a los valores normales registrados en el periodo 1981-2010, salvo para la segunda década de marzo donde se registró una temperatura inferior a la normal histórica (aproximadamente 5°C menos).

Las temperaturas mínimas, registradas durante el ciclo del cultivo en la campaña estudiada, acompañan con mucha aproximación a los valores históricos locales, salvo en el último período entre marzo y abril donde son menores a los valores normales. Para el caso de las temperaturas máximas se puede ver que en la mayoría del período analizado, los valores registrados son siempre mayores al promedio históricos, teniendo picos máximos a principio de diciembre y hacia finales de enero, luego muestra el mismo comportamiento que en las

temperaturas mínimas y medias, registrando valores inferiores a los normales entre marzo y abril.

En la figura 2 puede observarse que la mayoría de los registros de precipitaciones hasta la segunda década de diciembre son similares o mayores a los registrados en el período 1981-2010, destacándose los valores obtenidos en la tercera y segunda década de noviembre y diciembre respectivamente, arrojando una diferencia mayor de 37 y 45 mm para cada ocasión. Posterior a este período, las precipitaciones van por debajo de los registros normales, salvo para la segunda década de febrero y marzo, donde son superiores en 31 y 25 mm respectivamente.

Se realizaron riegos en cinco oportunidades, en la 3° década de diciembre, 1° y 2° de enero y 1° y 3° de febrero, donde las diferencias de precipitaciones entre la campaña evaluada y los valores normales son mayores, coincidiendo también con los estados reproductivos del cultivo. Para cada ocasión de riego se aplicó una cantidad de agua de 30 mm.



**Figura 2.** Precipitaciones (mm) para la campaña 2012/13 y para el período 1981-2010 en intervalos decádicos. Conjuntamente con los riegos aplicados en el ciclo de estudio, en Rio Cuarto (Cba).

## Agua en el perfil

En el cuadro 1 y las figuras 3 y 4 están representados los valores de agua total en el perfil de suelo (0-100 cm), expresado en unidades de lámina (mm), para los tres GM y las dos condiciones hídricas, en cada fecha de muestreo. En cada figura se muestran las líneas de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP), correspondientes a 205 mm y 94 mm respectivamente (Cerioni, 2003).

**Cuadro 1.** Lámina de agua total (mm) hasta la profundidad de 1 metro en cada fecha de muestreo durante el ciclo de soja (2012-2013), para los GM III, IV y V, en las condiciones de riego y secano en Rio Cuarto (Cba).

Fecha	DDS	Lámina agua (0-100 cm), mm					
		Con Riego			Secano		
		III	IV	V	III	IV	V
13/11/2012	0	221,32	259,83	252,77	229,53	242,94	230,23
28/11/2012	15	248,07	242,1	234,62	245,53	229,92	210,42
12/12/2012	29	233,24	207,48	208,72	228,23	192,33	184,24
26/12/2012	43	231,9	238,17	241,44	241,41	206,21	238,84
07/01/2013	55	213,31	197,76	222	193,61	189,59	158,02
24/01/2013	72	170,37	126	139,39	116,11	97,54	88,36
05/02/2013	84	131,32	111,97	130,07	97,79	100,17	104,5
27/02/2013	106	163,98	163,79	163,98	125,67	115,67	103,06
20/03/2013	127	145,06	205,2	128,17		145,59	89,7
15/04/2013	153			149,35			123,06

El contenido de agua en el suelo parte de una situación similar para cada condición hídrica. La evolución posterior muestra una disminución del contenido hídrico en el perfil, registrando alrededor de los 80 DDS los menores valores de lámina de agua, fenómeno que se ve más acentuado en la condición de secano, registrando contenidos de agua inferiores a las parcelas irrigadas, tanto como para los 80 DDS y en la lámina final. Esta situación coincide con los mayores registros de temperatura y demanda atmosférica.

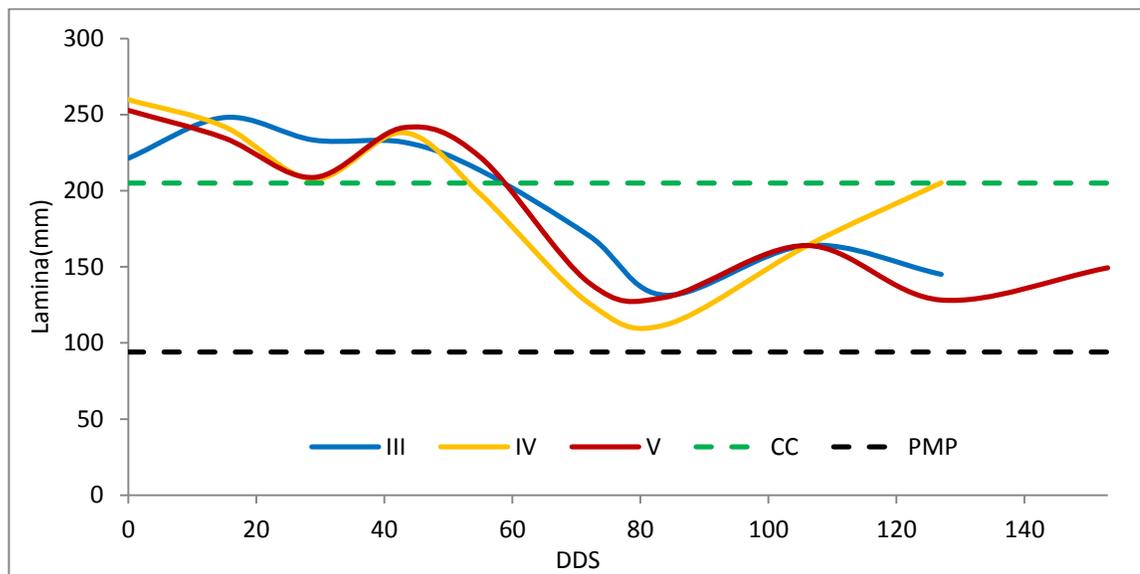
En las figuras 3 y 4 están indicadas las constantes hídricas del suelo (capacidad de campo y punto de marchitez permanente). Capacidad de campo (CC) se define como el agua que queda retenida en el suelo después de que cesó el flujo de agua afectado por la gravedad y punto de marchitez permanente (PMP) es el contenido de agua en donde la planta ya no puede absorber y se marchita. Se denomina agua útil al volumen contenido entre las dos constantes y es el agua disponible para el cultivo.

Se puede observar que en las etapas iniciales del cultivo el contenido de agua en el suelo es mayor a la capacidad de campo, pero sin alcanzar niveles de saturación total en los poros del suelo. Se considera que cuando la capacidad del aire en el suelo es menor al 10%, el cultivo es perjudicado por déficit de  $O_2$ . En las dos condiciones hídricas evaluadas en este trabajo, durante esta etapa inicial, aproximadamente durante los primeros 60 DDS, las capacidad para el aire se mantuvo en niveles promedio del 28% (datos no mostrados).

En estas etapas el cultivo no desarrolló toda su capacidad de explorar el perfil con sus raíces, ni toda su área foliar para expresar la máxima transpiración, por tanto el consumo de agua del cultivo en estas etapas aun es menor y el contenido de agua en el suelo se mantiene elevado. Este hecho coincide también con dos importantes registros de precipitaciones en los meses de noviembre y diciembre, acumulando mayor cantidad de agua en el perfil.

En la situación de riego el contenido de agua por encima de CC es más evidente que en seco, observando mayores contenidos de agua en el perfil.

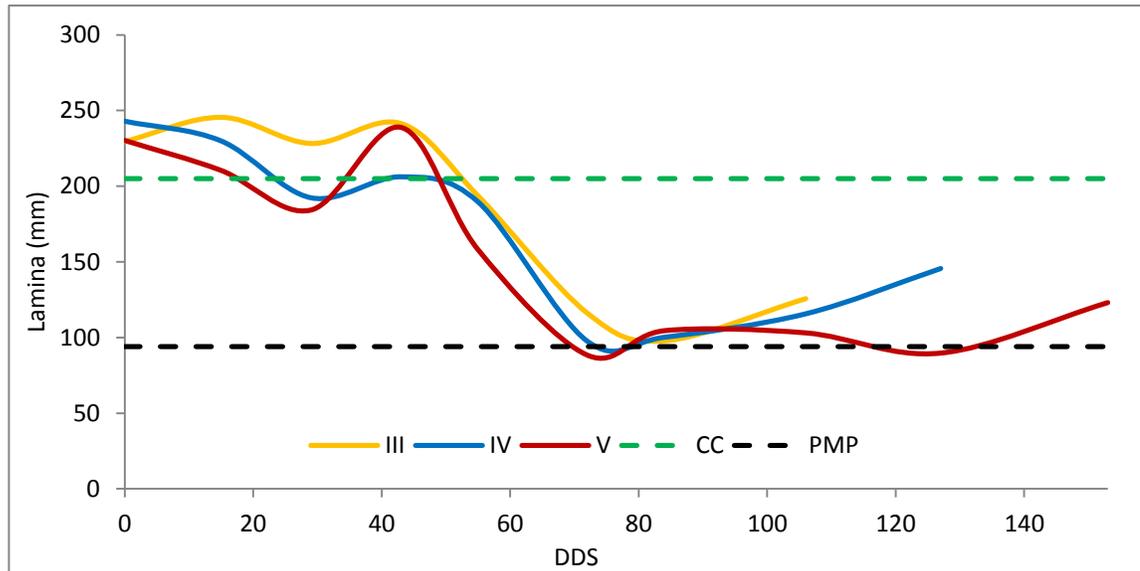
Los valores de agua en el suelo comienzan a descender a partir de los 50 días en seco y alrededor de los 60 días con riego (figura 3 y 4).



**Figura 3.** Lámina de agua total en tratamientos con riego (mm) hasta la profundidad de 1 metro para los grupos de madurez III, IV y V, durante el ciclo de soja (2012-2013). Rio Cuarto (Cba).

En la situación de riego, a partir de los 60 DDS, los contenidos de agua se mantienen entre los márgenes de agua útil y nunca son inferiores a PMP. Esta condición se mantiene por el aporte de agua mediante riego suplementario.

En secano, a partir de 50 DDS, el contenido de agua descende hacia el punto mas bajo, con mayor pendiente que en la situación de riego, indicando una tasa de desecamiento mayor. Después del menor contenido de agua en el suelo, aproximadamente a los 72 DDS, esta condición se mantiene casi constante y muy cercana a los valores de PMP, poniendo en evidencia la necesidad de aportes complementarios de agua para el cultivo.



**Figura 4.** Lámina de agua total en los tratamientos de secano (mm) hasta 1 metro de profundidad para los grupo de madurez III, IV y V, durante el ciclo de soja (2012-2013). Rio Cuarto (Cba).

Para la situación de secano el mínimo valor de lámina se registró en el GM V a los 72 DDS con 88 mm y en la condición de riego el mínimo valor registrado de lámina de agua en el suelo corresponde al grupo de madurez IV a los 84 DDS con 112 mm, existiendo una diferencia de 24 mm entre ambos valores. Aquí se pone de manifiesto el momento de mayor consumo o necesidad hídrica por parte del cultivo, viendo claramente que, en este caso, esas necesidades son cubiertas con riego suplementario, teniendo como indicador que la cantidad de agua total en el suelo es mayor en las parcelas regadas que en la de secano. Los máximos valores de lámina de agua total fueron registrados al principio del ciclo del cultivo para cada condición hídrica, correspondiendo con los momentos de menor demanda atmosférica.

La lámina de agua registrada al final del ciclo del cultivo, siempre fue mayor para los GM que recibieron riego que los que estuvieron en secano.

Para cada condición hídrica, el cultivar IV terminó su ciclo con los mayores valores de lámina y los cultivares III y IV registraron similares valores entre sí para cada condición hídrica.

## Consumo de agua.

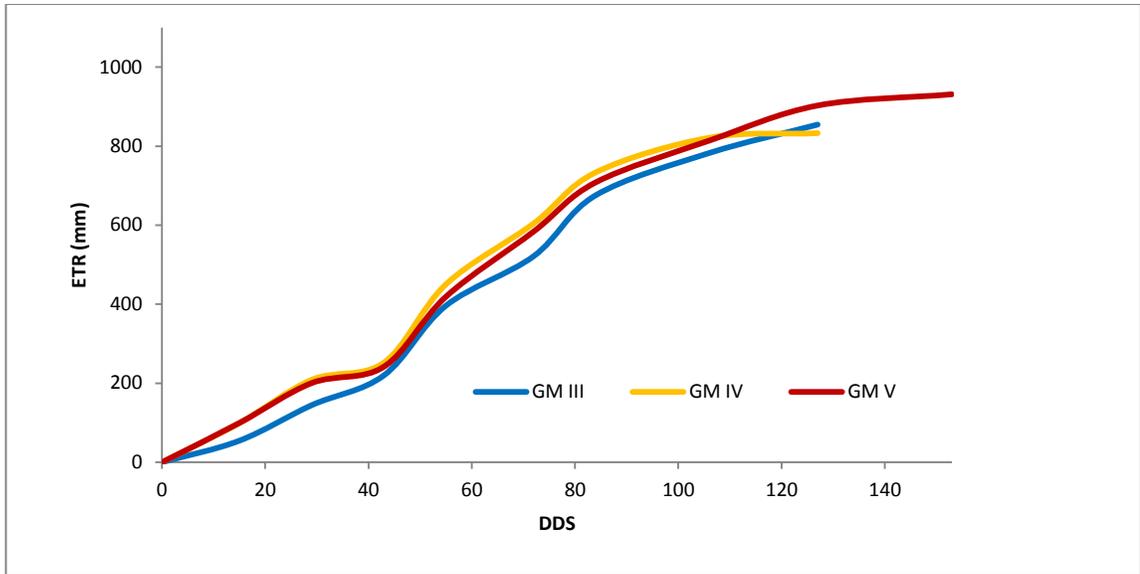
En el cuadro 2 se muestra el consumo de agua, como evapotranspiración real (mm), para los GM III, IV y V y ambas condiciones hídricas durante el ciclo agrícola 2012-2013.

El consumo de agua del cultivo se calculó mediante el balance de agua en el suelo teniendo en cuenta las variaciones de almacenaje entre cada fecha de muestreo sucesiva y los aportes de agua por precipitaciones y riego.

**Cuadro 2.** Consumo de agua acumulado, en cada fecha de muestreo durante el ciclo del cultivo (2012-2013), expresado como Evapotranspiración Real-ETR (mm) para los GM III, IV y V y condición con riego y secano. Rio Cuarto (Cba).

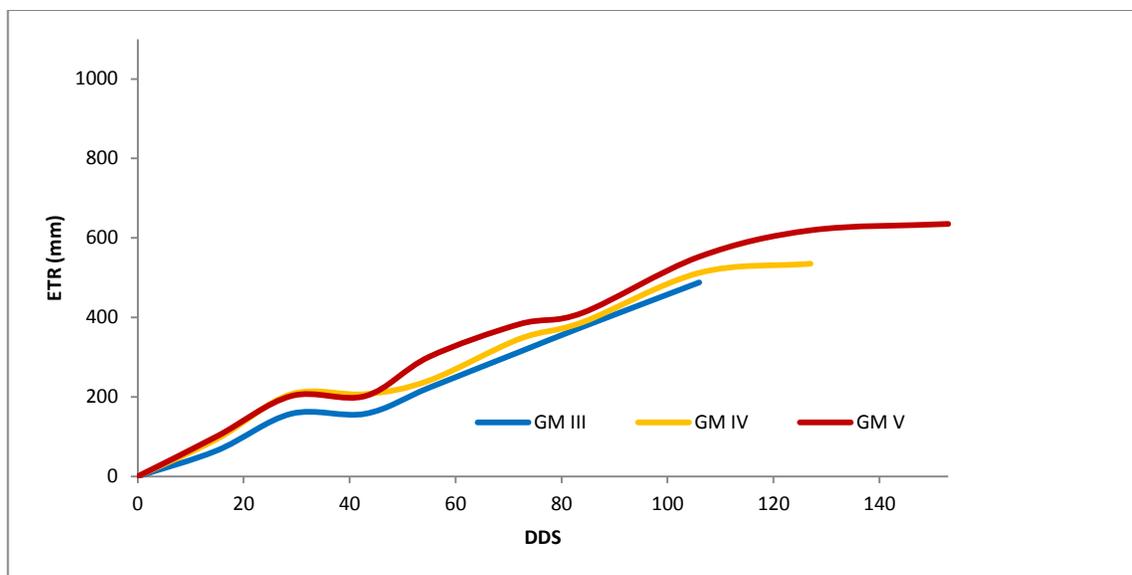
DDS	ETR con Riego			ETR Secano		
	III	IV	V	III	IV	V
0	0	0	0	0	0	0
15	54,7	99,1	99,6	65,4	94,4	101,2
29	144,5	208,7	200,4	157,7	207	202,4
43	220	252,3	241,9	157,7	207	202,4
55	396,2	450,3	419	223,1	241,2	300,8
72	521,6	604,4	584	313	345,7	382,9
84	675,6	733,5	708,3	376,3	388,1	411,7
106	782,5	821,2	814	<b>488</b>	512,1	552,8
127	<b>854,5</b>	<b>832,8</b>	902,8		<b>535,2</b>	619,1
153			<b>931,1</b>			<b>635,3</b>

En las parcelas con riego el cultivar que mayor consumo de agua alcanzó fue el GM V con 931 mm y el de menor fue el GM IV con 832 mm. En cuanto a la forma de la curva, se observa (Figura 5) que los tres cultivares evaluados muestran el mismo comportamiento, diferenciándose el grupo V del resto, terminando su ciclo a posterior, debido a que es un grupo de madurez más largo, los demás GM concluyeron su ciclo en igual cantidad de días. Los resultados obtenidos en esta experiencia son mayores a los que se registraron por otros autores en diferentes localidades, en similar épocas de siembra y con riego suplementario. En el caso de Salvagiotti y Manlla (2011) en la estación experimental INTA Oliveros se obtuvo un consumo de agua de 469 mm, 496 mm y 525 mm para cultivares de grupo III, IV y V para una época de siembra similar.



**Figura 5.** Consumo de agua acumulado (mm) con Riego expresado como Evapotranspiración Real (ETR) para los grupos de madurez III, IV y V, durante el ciclo de soja (2012-2013). Rio Cuarto (Cba).

En cuanto a la condición secano, el cultivar que mayor evapotranspiración acumulada obtuvo fue el grupo V con 635 mm y el de menor fue el grupo III con 488 mm. Por otro lado, a diferencia de los tratamientos irrigados, el cultivar III fue el primero en terminar su ciclo, a los 106 DDS, lo siguió el GM IV y por último el GM V con 153 DDS. Para este caso, los valores de lámina total coincidieron con los registrados por otros autores, como el de Rillo *et al.* (2006), en el partido 25 de Mayo, provincia de Buenos Aires, con 656 mm para un cultivar de grupo de madurez III, para la misma época de siembra.



**Figura 6.** Consumo de agua acumulado (mm) en Secano expresado como Evapotranspiración Real (ETR) para los grupos de madurez III, IV y V, durante el ciclo de soja (2012-2013). Rio Cuarto (Cba).

Respecto al consumo final acumulado (Cuadro 2), dentro de la condición irrigada la mayor diferencia entre los cultivares fue de 100 mm, siendo esta un tanto menor que la encontrada en secano con 147 mm. Esta mayor diferencia sucede cuando las condiciones de disponibilidad de agua son restringidas, limitando la producción de biomasa y acortando la extensión del ciclo. Como es el caso del GM III de secano, donde el consumo de agua acumulado fue menor, el que más acortó su ciclo y el que menos biomasa produjo, teniendo como resultado menos tiempo y superficie foliar para transpirar. Caso contrario sucede con el grupo de madurez V, que fue el de ciclo más largo y el de mayor biomasa producida.

Para las dos condiciones hídricas la forma de la curva de ETR fue similar. La diferencia entre ellas radica en las pendientes, siendo mayor para la condición de riego suplementario y menor en secano. Esto nos demuestra que la tasa de evapotranspiración diaria fue mayor con mejores ofertas hídricas, ofreciéndole condiciones favorables para el crecimiento del cultivo.

La diferencia relativa entre la dos condiciones hídricas para cada cultivar fue mayor en el grupo III, luego el IV y V. Para el primer caso la ETR en riego fue un 75% mayor que la respectiva en secano, 55% para el grupo IV y 46% para el grupo V. En promedio la ETR en riego fue 56% mayor que en secano.

**Cuadro 3.** Consumo de agua acumulado, expresado como Evapotranspiración Real-ETR (mm), para la condición de riego y seco y los cultivos III, IV y V, durante el ciclo agrícola 2012-2013. Rio Cuarto (Cba).

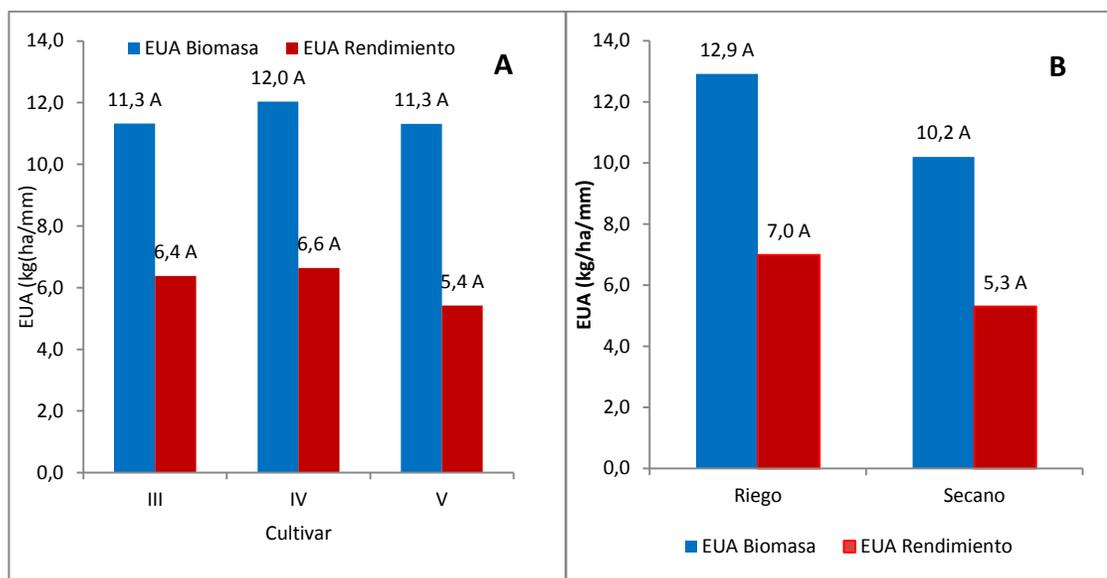
<b>Fuente de Variación</b>	<b>Factores</b>	<b>ETR (mm)</b>
C. Hídrica	Riego	873
	Secano	553
Cultivar	III	671
	IV	684
	V	783

Claramente en el cuadro 3 se observa el mayor consumo de agua promedio en la condición de riego respecto a seco, con una diferencia aproximada de más de 300 mm. Respecto a los cultivos, el GM V fue el de mayor consumo, evapotranspirando más de 100 mm respecto a los GM III y IV. Esto se debe a la mayor duración del ciclo de este GM y una mayor área foliar, otorgándole mayores consumos de agua. Los valores registrados para los cultivos III y IV son muy similares entre sí, siendo menor en el caso de GM III.

## Eficiencia del uso de agua

La biomasa producida por unidad de agua consumida expresa la eficiencia con la cual un órgano o un cultivo fija carbono en relación con el agua que transpira, y se define como eficiencia en el uso del agua (EUA) (Dardanelli *et al*, 2003).

En la figura 7 se muestran los valores obtenidos de la eficiencia de uso del agua, en base a la biomasa total y rendimiento en granos, para cada factor estudiado.



**Figura 7.** EUA (kg-1ha-1mm) en base a la biomasa aérea total y al rendimiento en granos, para los diferentes grupos de madurez (A) y para cada condición hídrica (B), durante el ciclo de soja (2012-2013). Rio Cuarto (Cba). Para cada variable y factor letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas, test de Duncan (5%).

En la comparación de los cultivares (Figura 7A) los valores son muy semejantes entre ellos, de hecho no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, situación que es más evidente en la EUA en relación a la biomasa aérea total que para EUA rendimiento. En este caso, el genotipo que mayor eficiencia tuvo fue el correspondiente al GM IV, con valores de  $12 \text{ kg}^{-1}\text{ha}^{-1}\text{mm}$  y  $6,6 \text{ kg}^{-1}\text{ha}^{-1}\text{mm}$  de EUA para biomasa y rendimiento respectivamente. Particularmente se puede ver que el cultivar V fue el que logro la menor EUA en base al rendimiento de granos, la razón de esto puede ser que la fecha de siembra no fuera la adecuada para este grupo de madurez, llegando a su período crítico para la definición del rendimiento en fechas donde la oferta de radiación fotosintéticamente activa es menor (Pastore, 2014), teniendo

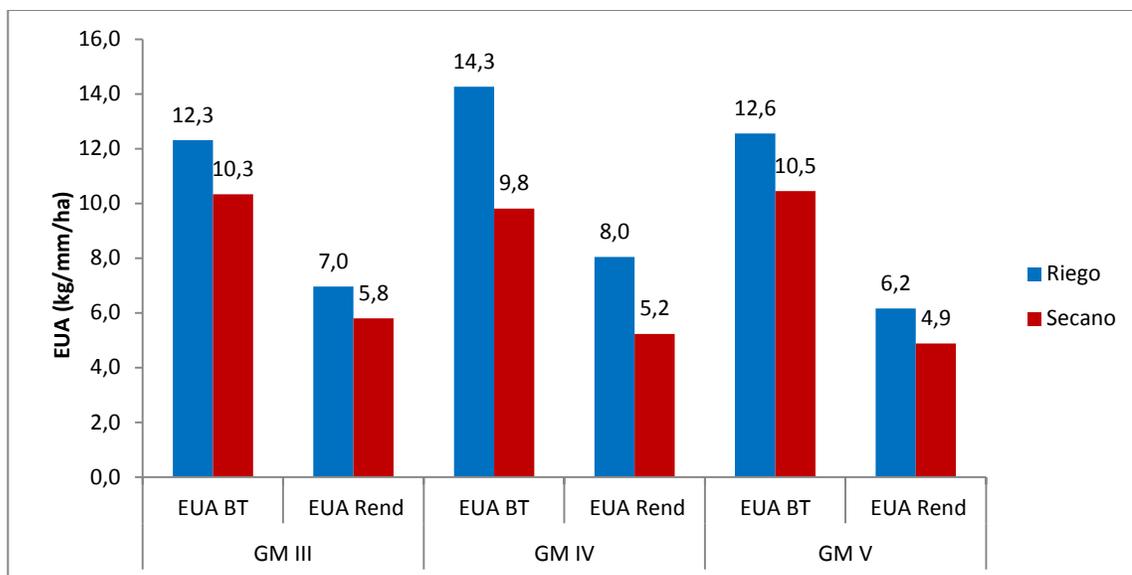
como consecuencia menores tasas de crecimiento de cultivo y diferenciando menor cantidad de granos, como así también, al ser un cultivar que tiene ciclo más largo respecto a los demás, su consumo de agua también fue mayor que los restantes, provocando menores EUA. Una tendencia similar se comprobó en la red de ensayos de rendimientos de soja para la localidad de Pergamino, durante la campaña 2014-2015, donde el promedio de rendimiento de los cultivares V eran inferiores a los demás GM más cortos (Introna *et al.*, 2015).

Cuando se evaluó la EUA para cada condición hídrica (Figura 7B) se encontraron mayores diferencias entre los niveles de este tratamiento comparado con las diferencias entre los GM, a pesar de ello las diferencias no fueron estadísticamente significativas.

En este caso, se logró una mayor eficiencia en las parcelas irrigadas, llegando a valores de  $12,9 \text{ kg}^{-1}\text{ha}^{-1}\text{mm}$  y  $7 \text{ kg}^{-1}\text{ha}^{-1}\text{mm}$  de EUA biomasa y rendimiento en grano respectivamente (grafico 7B). Este resultado se puede explicar claramente desde los diferentes valores de rendimiento en grano y biomasa aérea y el consumo de agua por parte del cultivo para cada condición hídrica, obteniendo mayores producciones de materia seca vegetal por cada milímetro de agua evapotranspirada cuando el cultivo tuvo satisfechas sus necesidades de agua mediante riego suplementario.

Los resultados obtenidos concuerdan con los hallados en un estudio similar en la campaña 2011-2012 para la misma localidad, condiciones y tratamientos, llevada a cabo por Scheurer (2016.)

En la figura 8 se muestran los resultados obtenidos de EUA para biomasa total y para rendimiento en grano para cada interacción de los dos factores.



**Figura 8.** Eficiencia de uso de agua: EUA BT y EUA Rend (kg ha<sup>-1</sup>) para cada condición hídrica y cultivares, durante el ciclo de soja (2012-2013). Rio Cuarto (Cba).

Dentro de las parcelas que se les suministró riego suplementario, se encontró que el GM IV fue el de mayor eficiencia, ya sea cuando se calculó en base a la biomasa total y para la producción en granos. Los valores obtenidos fueron 14,3kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> y 8,0 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> respectivamente, aproximadamente un 16 % superior a los otros cultivares, presentando además este GM la mayor producción de biomasa y el menor consumo de agua acumulada.

Los valores de EUA biomasa total del GM III y V son muy similares entre sí, 12,3 y 12,6 kg.ha<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup> para cada caso.

Respecto a la EUA rendimiento, la de GM III fue mayor que la de GM V, con valores de 7 kg.ha<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup> y 6,2 kg.ha<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup> respectivamente. En este último caso coincide que el cultivar V fue el que mayor consumo de agua acumuló y el que menor rendimiento en granos alcanzó, resultando en una menor EUA.

En la primera repetición de este ensayo realizado por Scheurer (2016), en la campaña 2011-2012, los resultados de EUA base biomasa total fueron iguales en términos relativos a los que se obtuvieron en el actual y para el caso de EUA en base a rendimiento los cultivares III y IV tuvieron igual resultado y el GM V obtuvo el menor valor de EUA.

Los valores obtenidos de EUA en base al rendimiento de granos son similares a los encontrados en bibliografía. Valenzuela *et al.* (2010), en la localidad de Balcarce determinaron un valor de 7,4 kg.ha<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup> para una soja de grupo IV, bajo riego suplementario y época de

siembra similar. Para la provincia de Entre Ríos, Rodríguez *et al.* (2011) encontraron un valor  $6,4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$  también con riego suplementario y época de siembra similar.

En la parcelas de secano se puede ver que la EUA en base a la biomasa total es muy homogénea entre los tres cultivares, siendo el grupo de madurez V el que mayor valor ( $10,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ), aproximadamente 4,5% mayor que los demás.

Por otro lado, cuando la EUA se estimó en base al rendimiento en granos las diferencias entre los distintos cultivares fueron mayores, siendo el GM III el que alcanzó el mayor valor ( $5,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ), respecto 5,2 y  $4,9 \text{ kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$  de los cultivares IV y V; alcanzando en este caso, una diferencia aproximada del 15% a favor del cultivar III. Este resultado coincide también, con el hecho de que fue el cultivar de menor consumo de agua en secano.

Por su parte, Scheurer (2016), para la condición de secano en la campaña 2011-2012, observó que el GM V fue el que mayor EUA en base a biomasa total y los cultivares III y IV fueron muy similares entre sí. Los mismos resultados se obtuvieron para EUA rendimiento.

En la bibliografía consultada se encontraron valores de EUA similares a los determinados en este ensayo. En este sentido, en la localidad de Catrilo, provincia de La Pampa, se calcularon valores de eficiencia de uso de agua en base a rendimiento de grano para tres grupos de madurez de soja (III, IV, y V) en secano, desde la campaña 2005-2006 hasta 2009-2010, obteniendo eficiencias promedio de  $5,02 \text{ kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ,  $5,44 \text{ kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$  y  $4,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$  para grupo 3, 4 y 5 respectivamente (Faraldo *et al.*, 2011). Rillo *et al.*, (2006), encontró para una variedad de GM III, en secano, un valor de EUA base rendimiento de grano de  $6,9 \text{ kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ , y Della Maggiora *et al.* (2000), citado por Rillo *et al.* (2006), determinó un valor de  $9,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ , para condiciones de secano. En este caso, los dos últimos valores citados se asemejan más a los obtenidos en las condiciones de riego de este ensayo.

### **Biomasa total, rendimiento en granos y sus componentes.**

El rendimiento final en granos se compone por la cantidad de semillas producidas por unidad de superficie y el peso de las mismas. En las figuras 9, 10 y 11, se muestran los componentes de rendimiento determinados para cada GM y condición hídrica.

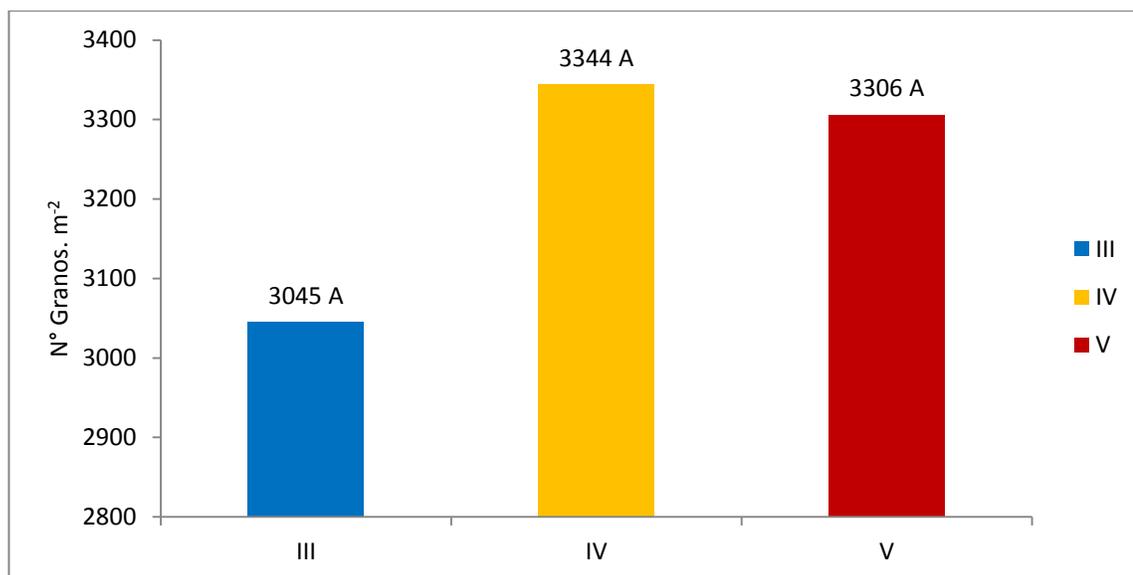
Para el número de granos/ $\text{m}^2$  no se encontraron diferencias significativas en el factor GM ( $p=0,7428$ ), a pesar de ello el cultivar que logró mayor número de granos fue el GM IV, favorecido por las condiciones ambientales con buena oferta de radiación solar y temperatura durante los momentos donde fueron fijados la cantidad de granos/ $\text{m}^2$ . Este componente es el más importante en la determinación del rendimiento, definido en la etapa que va desde R3 a R5,

denominada periodo crítico. Durante esta etapa, el cultivo es más sensible a la influencia del ambiente, por lo que el estado fisiológico durante este periodo, reflejado en la tasa de crecimiento del cultivo, es decisivo en la determinación de la cantidad de vainas y granos que van a sobrevivir para su posterior llenado (Egli y Zhen-Wen, 1991).

El cultivar III fue el que menos granos por unidad de superficie produjo (Figura 9). Esta tendencia fue mencionada por Kantolic y Slafer (2003) donde argumentan que las variedades de ciclo corto tienen un período crítico menor y limita la capacidad de formar granos.

Para el caso del GM IV, el número de granos obtenidos fue muy similar al cultivar V.

Por su parte, Scheurer (2016) para las mismas parcelas de este estudio pero en la campaña anterior, encontró, con diferencias estadísticamente significativas, que el GM V fue el de mayores granos producidos por unidad de superficie.



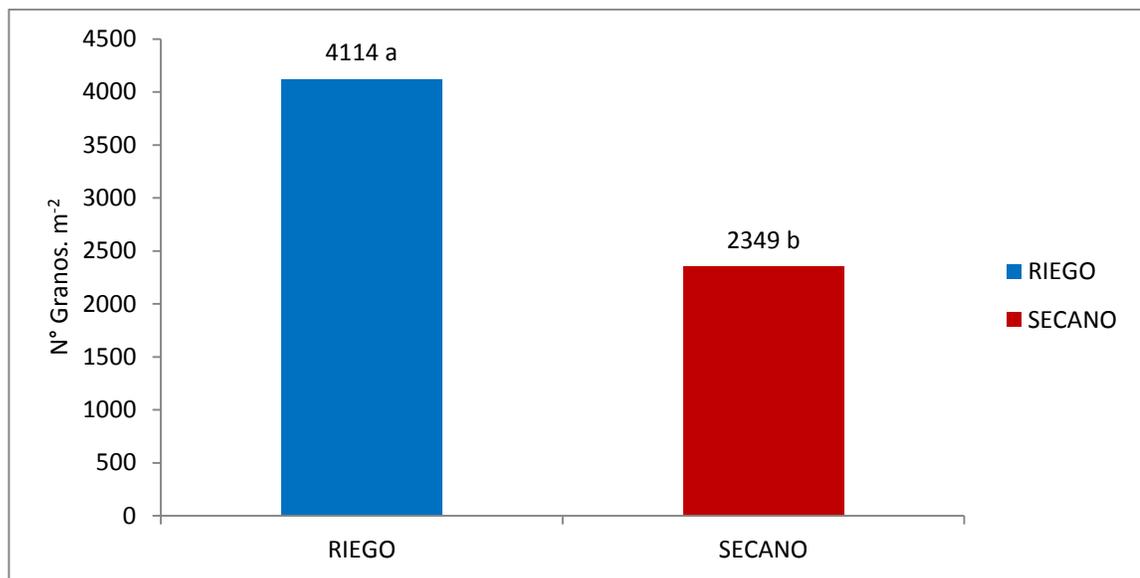
**Figura 9.** Numero de granos. m<sup>-2</sup> para el promedio de los grupos de madurez III, IV y V, durante el ciclo de soja (2012-2013). Rio Cuarto (Cba).

Para las condiciones con y sin riego se encontraron diferencias altamente significativas ( $p = 0,0004$ ) a favor de las parcelas regadas, las cuales presentaron un 75% más de granos que la condición de secano (Figura 10). Los mismos resultados obtuvo Scheurer (2016), con una producción de casi el doble en el número de granos en favor de las parcelas regadas.

La mejor condición hídrica permitió que los recursos disponibles ( $CO_2$ , radiación solar y nutriente) fueran aprovechados de una manera más eficiente. Pastore (2014) reportó que estas condiciones favorecen a un mayor porcentaje de intercepción de radiación solar y aumentando

los niveles de acumulación de radiación fotosintéticamente activa durante la etapa reproductiva R1-R5. Esta mayor acumulación determina la magnitud de fotoasimilados producidos, aumentando las posibilidades de fijar más cantidad de granos por unidad de superficie.

La determinación del número de granos esta mayormente limitado por la fuente de fotoasimilados, por lo tanto, todas las practicas que favorezcan la fotosíntesis durante el periodo crítico, como en este caso el uso de riego, contribuyen a fijar una mayor cantidad de granos (Kantolic y Slafer, 2003).

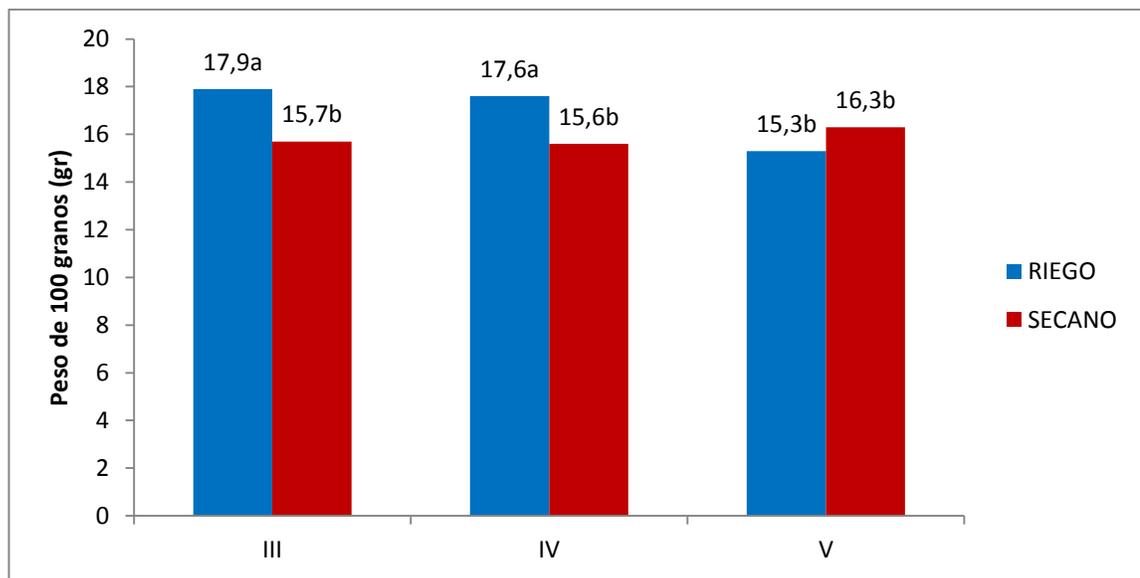


**Figura 10.** Numero de granos/ m<sup>2</sup> para el promedio de cada condición hídrica, riego y secano, durante el ciclo de soja (2012-2013). Rio Cuarto (Cba).

El peso individual de los granos también presentó diferencias altamente significativas ( $p=0,0061$ ) entre los diferentes tratamientos (Pastore, 2014). Para los tratamientos III y IV con riego los pesos registrados fueron los más altos (Figura 11). El periodo de llenado de granos de estos cultivares ocurre durante una etapa del año con buena oferta ambiental de radiación solar y temperatura. Como se mencionó anteriormente, este escenario ambiental es aprovechado por parte del cultivo debido a la mejor disponibilidad hídrica aportada por el riego, produciendo mayor cantidad de fotoasimilados que son prioritariamente destinados al crecimiento de granos. En el caso de los GM III y IV pero en secano, el periodo de llenado, se da bajo las mismas condiciones climáticas, pero la menor disponibilidad hídrica dificulta la producción de fotoasimilados, obteniendo menores pesos finales de granos al compararlos con el GM V. Para el caso del GM V, se observa una diferencia a favor de la condición de secano, esto se debe a

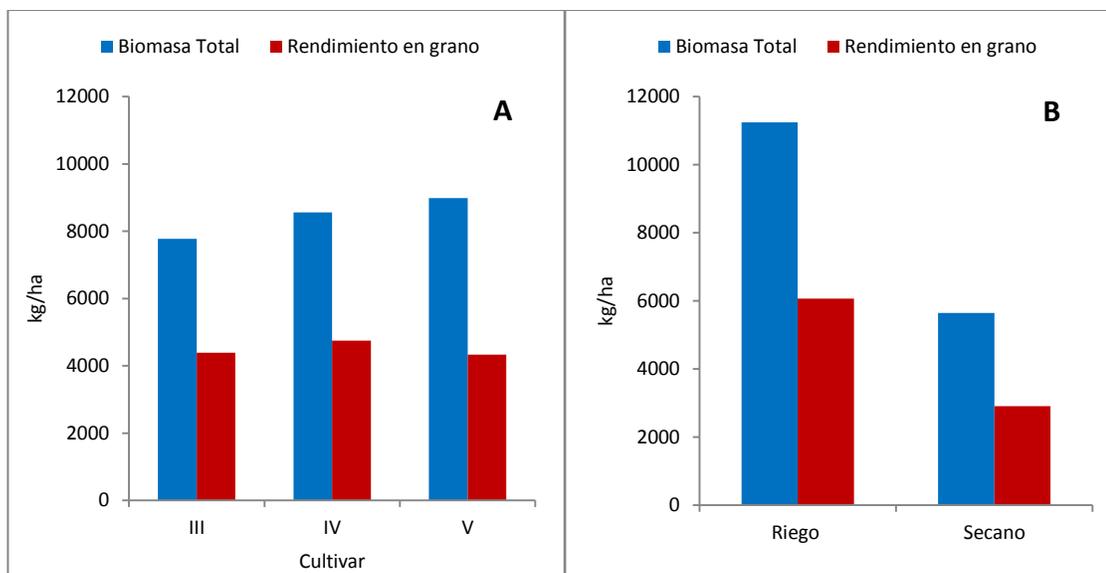
que en esta condición, en el momento del periodo crítico, el cultivo sufrió un déficit hídrico temporario fijando menor cantidad de granos pero poniendo de manifiesto posteriormente la capacidad de compensación de este cultivar en la etapa de llenado, logrando mayores pesos individuales de granos.

Scheurer (2016) comprueba la misma tendencia entre los cultivares para la condición con riego, pero con pesos de 100 semillas superiores a Pastore (2014). Para el caso de secano, Scheurer (2016), registró que el GM IV produjo mayores pesos de grano.



**Figura 11.** Peso de 100 granos (gr) para cada cultivar y condición hídrica, durante el ciclo de soja (2012-2013). Rio Cuarto (Cba).

En figura 12 se muestra una síntesis de los resultados obtenidos de biomasa total y rendimiento en granos determinados en el estadio fenológico R8 (Ferr y Cavines, 1977), para cada cultivar y condición hídrica.



**Figura 12.** Biomasa total y rendimiento en granos (kg/ha) en los distintos cultivares (A) y en las dos condiciones hídricas (B), durante el ciclo de soja (2012-2013). Río Cuarto (Cba).

Primero se analizó el comportamiento de los distintos cultivares, donde se observa que los valores obtenidos no difieren significativamente entre sí ( $p=0,3848$ ), ya sea para los valores de biomasa total y para el rendimiento en grano (Figura 12A y Cuadro 4). De acuerdo a la biomasa total, el GM que mayor valor alcanzó fue el cultivar V, luego el IV y por último el III. Esto se debe por la mayor duración de su ciclo de cultivo con respecto a los demás, permitiéndole acumular una mayor cantidad de materia seca hacia el final de su ciclo. En promedio este GM produjo una biomasa total, aproximadamente un 10% más que los restantes cultivares.

**Cuadro 4.** Biomasa Total y Rendimiento Kg/ha para cada GM y Condición Hídrica. Para cada variable y factor las letras diferentes indican diferencias estadísticas según test Duncan ( $p=0,05$ ).

Fuente de Variación	Factores	Biomasa Total	Rendimiento Kg/ha
GM	III	7778,2 a	4390,3 a
	IV	8562,7 a	4747 a
	V	8988,7 a	3961,5 a
Condición Hídrica (CH)	Riego	11242,2 a	5822,5 a
	Secano	5644,3 b	2910,1 b
Valor de $p$	GM	0,3848	0,6621
	CH	0,0099	0,0445

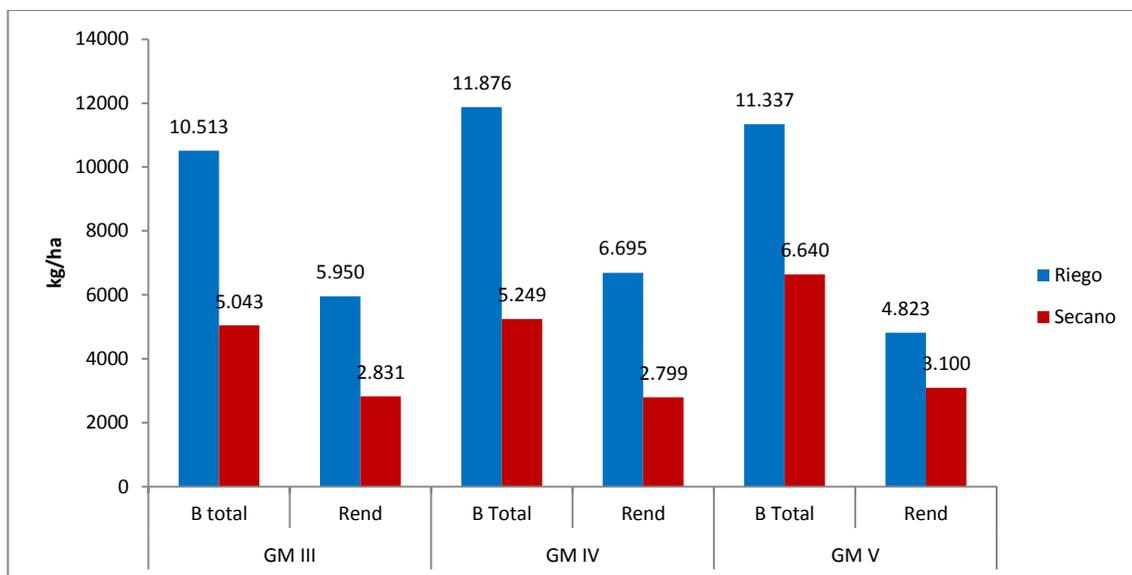
En el caso del rendimiento en granos, los resultados aquí obtenidos presentan mayor homogeneidad que los valores de biomasa total. Para esta variable, el GM IV fue el que alcanzó el valor más alto, esto deriva de que la fecha de siembra elegida en este ensayo benefició en mayor magnitud a expresar su potencial de rendimiento de acuerdo a la oferta ambiental de recursos (temperatura y radiación solar) en su período crítico. Este resultado está correlacionado a la mayor producción de granos  $m^{-2}$  de este GM (Figuras 9 y 10).

El rendimiento promedio de los demás cultivares es muy similar entre sí y aproximadamente un 8% menor, de modo que no se registra una gran variación de rendimiento entre cultivares, lo que permite demostrar que para las condiciones locales del ensayo los materiales evaluados se comportan con cierta estabilidad. Al igual que la biomasa total tampoco se encontraron diferencias estadísticas significativas, con un valor de  $p=0,6621$  (Cuadro 4). Scheurer (2016) obtuvo que el cultivar V fue el de mayor rendimiento.

Por otro lado, se observa una mayor diferencia cuando comparamos las dos situaciones hídricas del ensayo, teniendo una producción el doble mayor cuando se regó, ya sea para la producción de biomasa total como para el rendimiento en granos, llegando a los mismos resultados publicados por Scheurer (2016) en la campaña anterior de este mismo ensayo. Aquí se pone de manifiesto la importancia del recurso hídrico como esencial en la producción de materia seca del cultivo. Para este factor estudiado las diferencias entre medias si fueron estadísticas significativas para la biomasa total y el rendimiento en granos (Cuadro 4).

En las experiencias realizadas por Salvagiotti y Manlla (2011) en la campaña 2009-2010, solo encontró un incremento en el rendimiento de granos del 8,4 % cuando se aplicó riego suplementario al cultivo de soja. Mientras que en la provincia de Entre Ríos, Rodríguez *et al.* (2011) obtuvieron un aumento de rendimientos en granos del 34% en parcelas irrigadas con respecto al testigo en secano.

En la figura 13 se muestran los valores de la biomasa total y el rendimiento en granos para los distintos cultivares en cada condición hídrica.



**Figura 13.** Producción de Biomasa total (B Total) y Rendimiento en granos (Rend) (kg/ha) para cada condición hídrica y cultivar, durante el ciclo de soja (2012-2013). Rio Cuarto (Cba).

Dentro de las parcelas irrigadas, se puede observar que los resultados obtenidos de biomasa total fueron similares entre los cultivares, siendo el cultivar IV el de mayor producción, pero con una diferencia estrecha respecto a los demás GM.

En cuanto al rendimiento en granos, con riego, también el cultivar IV alcanzó el mayor valor, consiguiendo mayores diferencias relativas a los otros cultivares, aproximadamente un 15%. En el trabajo de Scheurer (2016), los mayores rendimientos fueron compartidos entre el GM III y GM IV. Por su parte Salvagiotti y Manlla (2011) durante la campaña 2009-2010 en la estación experimental de INTA Oliveros, comparó tres cultivares de GM III, IV y V en diferentes fechas de siembra desde fines de octubre a principios de enero, también usando riego, obteniendo mayores rendimientos promedios con el GM IV.

Para la condición de secano, el cultivar V fue el que tuvo mayor producción de biomasa total, alcanzando una diferencia sobre los demás de alrededor del 30%, también fue el que mayor rendimiento en granos logró, pero esta vez con una menor diferencia relativa, aproximadamente un 10%, los GM III y IV alcanzaron un rendimiento en grano muy parecidos entre sí. Los mismos resultados relativos se obtuvieron en la campaña anterior publicado por Scheurer (2016).

La condición hídrica fue el factor que más influyó en el rendimiento final, observando que los grupos cortos (III y IV) tuvieron mayores rendimientos bajo riego; mientras que en secano la tendencia fue inversa. Esto puede ser explicado por el momento de ocurrencia del periodo crítico. En los GM cortos ese periodo coincidió con un ambiente de mayor oferta de

radiación y temperatura cuando el agua no era una limitante, o sea en condiciones ambientales que propiciaban los procesos fisiológicos internos de la planta favoreciendo la definición de los componentes del rendimiento. Al contrario, en condiciones de secano estos GM son los que menor rendimiento lograron, ya que su periodo crítico quedo expuesto en condiciones hídricas estresantes (alta demanda atmosférica, temperaturas elevadas y escasez de lluvia) perjudicando la fijación de granos. El periodo crítico del GM V en secano, ocurrió en condiciones hídricas menos estresantes que en los grupos cortos, permitiéndole alcanzar un mayor número de granos (Giayetto *et al.*, 2015).

La disponibilidad de agua favorece la transpiración y apertura estomática, facilitando el intercambio gaseoso, lo que lleva a obtener una mayor fotosíntesis y asimilación de carbono (Passioura, 1996).

Por su parte, Pastore (2014) determinó la relación entre los componentes directos de rendimiento (número de granos y peso de granos) y el rendimiento final. Este concluye que el rendimiento es explicado en un 95% por el número de granos y que solamente el peso de granos el 21%. Esta comparación coincide con la de numerosos autores (Landler y Kantolic 2011; Martignone *et al.*, 2002; Kantolic *et al.*, 2003).

## CONCLUSIONES

En este estudio se pudo determinar y analizar los diferentes consumos de agua para cada tratamiento, destacando la diferencia que existió entre las dos condiciones hídricas evaluadas. Se puede observar que el consumo de agua aumentó significativamente cuando se utilizó riego suplementario. Cuando se evalúan los cultivares, los consumos de agua fueron similares entre los distintos GM. Para ambas condiciones hídricas el GM V fue el que mayor consumo de agua acumuló.

En el caso de la EUA (biomasa y rendimiento), la tendencia es similar al consumo de agua, encontrando marcadas diferencias entre los tratamientos de condición hídrica y resultados similares entre sí para el caso de los cultivares. En las parcelas que recibieron riego, el cultivar de mayor eficiencia fue el GM IV y en secano fue el GM III.

En comparación, los resultados son más variables para la EUA respecto al rendimiento en granos que para la EUA en base a la biomasa total, sin discriminar tratamientos.

La producción de materia seca se incrementó el 100% cuando las parcelas tuvieron riego suplementario. En esta última condición el cultivar IV fue el que más alto rendimiento en grano obtuvo. En secano el cultivar de mayor rendimiento fue el GM V. Este resultado se puede explicar por la ubicación temporal de los periodos críticos. En los GM III y IV, con riego, este periodo se ubica con buenas condiciones ambientales (temperatura y radiación) y disponibilidad hídrica. En secano ocurre bajo el mismo ambiente, pero en condiciones de estrés hídrico. Para este caso, el GM V, el periodo crítico ocurre con menor estrés hídrico.

Fuera de los objetivos de este trabajo se pueden sacar unas conclusiones extras, como la importancia del manejo agronómico en la determinación de altos rendimientos. Por ejemplo el ajuste de la fecha de siembra de acuerdo a la longitud de ciclo de cada GM. Momentos oportunos de riego según la ubicación temporal del período crítico para la definición de rendimiento. Determinación del estado hídrico del perfil de suelo para ajustar la dosis y momento de riego. Comportamiento de los distintos cultivares a condiciones de restricción de agua respecto a la EUA obtenida, lo que da una idea de la adaptabilidad al ambiente expuesto y tolerancia a sequía.

## BIBLIOGRAFIA

- AIZEN, M. GARIBALDI, L. DONDO, M. 2009. Expansión de la soja y diversidad de la agricultura Argentina. En: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1667-782X2009000100004](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667-782X2009000100004). Consultado: 05/09/2017.
- AGROINDUSTRIA. 2019. Estimaciones agrícolas- Soja. En: <https://datos.agroindustria.gob.ar/dataset/estimaciones-agricolas>. Consultado: 30/07/2019.
- ANDRADE, F Y CIRILO, A. 2000. Fecha de siembra y rendimiento de los cultivos. En: Bases para el manejo del Maíz, Girasol y Soja. Eds: Andrade, F y Sadras. V, Buenos Aires. p: 135-150.
- ANDRADE F, TABOADA M, LEMA D, MACEIRA N, ECHEVERRIA H, POSSE G, PRIETO D, SANCHEZ E, DUCASSE D, BOGLIANI M, GAMUNDI J. C, TRUMPER E, FRANA J, PEROTTI E, FAVA F, MASTRANGELO M. 2017. Los desafíos de la agricultura Argentina. 1ra ed. Ed INTA, BS AS, Argentina. p: 32-36.
- ANDRIANI, J. 2003. Dinámica del agua en el cultivo de soja. SOJA actualización 2003. INTA Oliveros. p: 24-30.
- CATEDRA AGROMETEOROLOGIA. 2017. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Rio Cuarto.
- CERIONI, G. 2003. Déficit hídrico en la etapa reproductiva del maní (*Arachis hypogaea* L.) su influencia sobre el crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad. Tesis MSc. Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Rio Cuarto. p: 95.
- CIANI, R; REUS, A; ARAMAYO, M. 2018. Destino de la producción Argentina de soja. En: [www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/ss\\_mercados\\_agropecuarios/areas/granos/\\_archivos/000061\\_Informes/900001\\_Destino%20de%20la%20Producci%C3%B3n%20Argentina%20de%20Soja.pdf](http://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/ss_mercados_agropecuarios/areas/granos/_archivos/000061_Informes/900001_Destino%20de%20la%20Producci%C3%B3n%20Argentina%20de%20Soja.pdf). Consultado: 07/08/2019.
- DARDANELLI J.; D. COLLINO; M. E. OTEGUI y V. O. SADRAS. 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. En: SATORRE E.; R. BENECH ARNOLD; G. SLAFER; E. DE LA FUENTE; D. MIRALLES; M. OTEGUI y R. SAVIN. *Producción de granos*. Editorial facultad de agronomía. UBA. Cap. 16. pp 377 - 406.
- DELLA MAGGIORA, A.I., GARDIOL J.M. e IRIGOYEN A.I., 2000. Requerimientos hídricos. En bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Editores: F.H. Andrade y V.O. Sadras. EEA INTA Balcarce Fac. De Ciencias Agrarias UNMP. Pp 155-171.

- DELLA MAGIORA, A. GARDIOL, J. IRIGOYEN, E. 2002. Requerimientos hídricos. En: Bases para el manejo del maíz, girasol y soja. Cap 6 pp. 155-171.
- DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C.W. 2014. InfoStat versión 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- EGLI D.B y ZHEN-WEN Y. 1991. Crop growth rate and seeds per unit area in soybeans. En: SATORRE E.; R. BENECH ARNOLD; G. SLAFER; E. DE LA FUENTE; D. MIRALLES; M. OTEGUI y R. SAVIN. *Producción de granos*. Editorial facultad de agronomía. UBA. Cap. 9. pp 191.
- ESCANDE, A. 2009. Documento base del programa nacional: OLEAGINOSAS. En: <http://inta.gov.ar/documentos/documento-base-del-programa-nacional-oleaginosas>. Consultado: 05/09/2017.
- FARALDO, M A; VERGARA, G; CASAGRANDE, G; ARNAIZ, J; MIRASSON, H y FERRERO, C. 2011. Eficiencia en el uso del agua y radiación en maíz, girasol y soja, en la región oriental de la pampa, argentina. En: [http://www.scielo.org/ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0002-192X2011000100005](http://www.scielo.org/ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2011000100005). Consultado el 05/09/2017.
- FEHR, W Y CAVINESS, C. 1977. Stages of soybean development. Iowa St. Special report 80. p: 11.
- GIAYETTO, O; CERIONI, G.A; FERNANDEZ, E.M; MORLA, F.D; ROSSO, M.B; VIOLANTE, M.G; KEARNEY, M.I.T; PASTORE, M.E. 2015. Comportamiento de genotipos de soja cultivados en seco y bajo riego en río cuarto (córdoba, argentina). 1. Captura y eficiencia de uso de la radiación. VII Congreso Brasileiro de Soja. Mercosoja 2015.
- INTA EEA OLIVEROS. 2009. Manejo de soja de alta producción. En: <http://inta.gov.ar/documentos/manejo-de-soja-de-alta-produccion>. Consultado: 05/09/2017.
- INTRONA, J; PRECE, N y LLANES, M. 2015. Red Nacional de Evaluación de Cultivares de Soja en la EEA INTA Pergamino. Campaña 2014-2015. En: <https://inta.gov.ar/documentos/red-nacional-de-evaluacion-de-cultivares-de-soja-en-la-eea-inta-pergamino>. Consultado el 05/09/2017.
- 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 BENECHA; 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](http://www.agromercado.com.ar/pdfs/070_soja_02.pdf). Consultado: 20/09/2016.
- PASSIURA, J.B. 1977. Grain yield, harvest index and water use of wheat. J. of Aust. Inst. Agric. Sci 43, p: 117-120.
- PASSIOURA, J.B. 1996. Drought and drought tolerance. Plant Growth Reg. 20:79-83. Libro producción de granos. Cap 16 pag 379.
- PASTORE, M. 2014. Efecto de las condiciones hídricas sobre la eficiencia de uso de la radiación en diferentes grupos de madurez de soja. Trabajo final de grado. Fac. de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Rio Cuarto, Argentina. 33p.
- RILLO, S; RICHMOND, P y MAZZEI, M. 2006. Intensificación de cultivos de granos: evaluación del sistema de interseembra de trigo-soja sobre el rendimiento físico y económico, eficiencia del uso del agua y los componentes determinantes del rendimiento. En: <http://www.ipni.net/ppiweb>. Consultado el 6/12/2016.
- RODRIGUEZ, H; DE BATTISTA, J; DARDANELLI, J; CASTELLA, M; PESSOLANI, B y CHAIX, X. 2011. Efecto del riego en soja y maíz en un vertisol de Entre Ríos. 1. Eficiencia en el uso del agua. En: <https://inta.gob.ar/documentos/efecto-del-riego-en-soja-y-maiz-en-un-vertisol-de-entre-rios.-1.-eficiencia-en-el-uso-del-agua>. Consultado el 05/09/2017.
- SALINAS, A. 2018. Resultados productivos en aspersión. 6° Reunión Internacional de Riego. INTA Manfredi.
- SALVAGIOTTI, F Y MANLLA, A. 2011. Explorando brechas de producción y rendimiento potencial en soja: oferta de recursos y máximos rendimientos alcanzables en condiciones de campo. En: <https://inta.gob.ar/documentos/explorando-brechas-de-produccion-y-rendimiento-potencial-en-soja-oferta-de-recursos-y-maximos-rendimientos-alcanzables-en-condiciones-de-campo>. Consultado el 05/09/2017.

- SATORRE E.; R. BENECH ARNOLD; G. SLAFER; E. DE LA FUENTE; D. MIRALLES; M. OTEGUI y R. SAVIN. 2008. Producción de granos. Editorial facultad de agronomía. UBA. Cap. 9. pp 188-193.
- SCHEURER, M, S. 2016. Riego en soja de diferentes grupos de madurez sobre la eficiencia en el uso del agua. Trabajo final de grado. Fac. de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Rio Cuarto, Argentina. 31 p.
- VALENZUELA, C; DELLA MAGGIORA, A, I; ECHARTE, L; CAMBARERI, M y POLIZZI, M. 2010. Evapotranspiración y eficiencia en el uso de agua en intercultivos maíz-soja vs cultivos puros. En: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-468X2009000200001](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-468X2009000200001). Consultado el 05/09/2017.