

## EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA Y RADIACIÓN EN MAÍZ, GIRASOL Y SOJA, EN LA REGIÓN ORIENTAL DE LA PAMPA, ARGENTINA

### EFFICIENCY OF WATER AND RADIATION USE IN MAIZE, SUNFLOWER AND SOYBEAN, IN THE ORIENTAL REGION OF LA PAMPA, ARGENTINA

María L. Faraldo\*, Graciela T. Vergara\*, Guillermo A. Casagrande\*\*,  
Juan P. Arnaiz\*, Hugo Mirasson\* y Carlos Ferrero\*.

\*Profesores(as). Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam). Facultad de Agronomía. La Pampa, Argentina.

\*\*Investigador. Estación Experimental Agropecuaria Anguil INTA "Ing. Agr. Guillermo Covas". La Pampa, Argentina  
Correo electrónico: mfaraldo@agro.unlpam.edu.ar

#### RESUMEN

La eficiencia en el uso del agua (EUA) o de la radiación (EUR) se puede representar por la cantidad de materia seca por unidad del recurso captado. La mayor productividad de un cultivo puede lograrse por aumento en la captura de recursos, y/o en la eficiencia de su uso. El trabajo consistió en estudiar la EUA y la EUR en tres cultivos de verano (maíz, girasol y soja). Los ensayos se realizaron en Catrilo, La Pampa, Argentina, en el período 2005/2010. Analizadas cinco campañas, el maíz, *Zea mays*, se presentó como el cultivo más eficiente en el uso del agua y la radiación solar (RS). Sin embargo, cuando se presentan condiciones de sequía el girasol, *Helianthus annuus*, resulta ser el cultivo más eficiente en el uso de ambos recursos. La soja, *Glycine max*, en todos los grupos de madurez (GM) analizados no resultó ser eficiente en el uso del agua en comparación a los otros cultivos. Desde el punto de vista energético, el maíz fue el que mayor cantidad de fotoasimilados produjo para lograr los rendimientos de cada campaña, seguido del girasol. Se concluye que para el período estudiado, ambos cultivos se diferencian positivamente de la soja, pudiéndose aseverar que son los de mejor comportamiento en la región semiárida pampeana.

**Palabras Clave:** *Zea mays*; *Helianthus annuus*; *Glycine max*; eficiencia; agua; radiación.

#### SUMMARY

Efficiency in the water (WUE) or radiation (RUE) can be represented by the amount of dry matter per unit of resource captured. Higher productivity of a crop can be achieved by increasing resource capture and/or bigger efficiency in its use. The work consisted on the study the WUE and the RUE in three summer crops (maize, sunflower and soybeans). Assays were performed in Catrilo, La Pampa, Argentina, in 2005/2010 period. Five campaigns were analyzed resulting maize, *Zea mays*, as the most efficient crop in water and radiation solar use. However, when drought conditions occur, sunflower, *Helianthus annuus*, became the more efficient crop for the use of both resources. The soybean, *Glycine max*, in all analyzed maturity groups (MG) did not reach the WUE achieved by corn and sunflower. From the energy perspective, corn was the crop that produced the greatest amount of photoassimilates to achieve the performance of each campaign, followed by sunflower. It was concluded that for studied period, both crops differ positively from soybeans, thus we can to assert that they are the best performing in the semi-arid pampas.

**Key Words:** *Zea may*; *Helianthus annu*; *Glicine max*; efficiency; water; radiation.

RECIBIDO: junio 9, 2011

APROBADO: mayo 17, 2012

## INTRODUCCIÓN

El maíz, *Zea mays*, la soja o soya, *Glicine max* y el girasol, *Helianthus annuus*, son las especies de ciclos estivales más cultivadas en la zona semiárida de la región central de la República Argentina, resultando ser las alternativas más versátiles a la hora de definir superficies agro-ganaderas en esta zona de gran variabilidad agroecológica, tanto desde el punto de vista climático como edáfico. A la empresa agropecuaria le resulta imprescindible ser eficiente en la utilización de los insumos, buscando el mayor retorno económico de su inversión.

Las restricciones que impone el ambiente afectan el crecimiento, el desarrollo y el rendimiento de las plantas (Muchow y Davies, 1988; Uhart y Andrade, 1995). Buenas condiciones climáticas y edáficas, tanto estructurales como nutricionales, aseguran un buen crecimiento foliar, permiten al cultivo alcanzar y mantener una buena captación de radiación solar (RS) y una alta eficiencia de conversión de la radiación interceptada en biomasa. Estas condiciones posibilitan lograr un óptimo estado fisiológico de los cultivos durante el período crítico de determinación de los rendimientos (Novoa y Loomis, 1981; Andrade *et al.*, 1996). Si no se cumple esta condición óptima durante este período, se reduce el número de granos fijados por el cultivo, y por ende el rendimiento (Aluko y Fischer, 1987; Cirilo y Andrade, 1994; Uhart y Andrade, 1995).

En los sistemas productivos es prioritario maximizar la respuesta de los rendimientos, para obtener el máximo beneficio por el uso eficiente de los recursos. El ambiente en el cual se desarrollan los cultivos desde la siembra a la cosecha no es uniforme, sino que presenta una enorme variación espacial y temporal (Castellarín *et al.*, 2005); haciendo variar su capacidad para capturar y utilizar recursos dependiendo de los procesos fenológicos que ocurran en los cultivos a cada momento (Slafer y Andrade, 2003).

Earl y Davis (2003) concluyeron que el déficit de agua reduce el rendimiento mediante la disminución de la interceptación de la RS, debido a una menor área foliar ocasionada por la senescencia temprana. Las mayores disminuciones en el rendimiento se producen cuando el déficit hídrico ocurre alrededor de la floración del maíz o del girasol. En contraposición, la soja es más afectada en etapas reproductivas más avanzadas, debido a su hábito de crecimiento indeterminado que provoca un alargamiento del período de producción de flores (Board *et al.*, 1995; Jiang y Egli, 1995).

La eficiencia en el uso del agua (EUA) varía entre especies (tipo de metabolismo y composición de biomasa) y entre climas, dado que estos condicionan la demanda atmosférica. Por su metabolismo C4 y bajo contenido energético de su biomasa reproductiva, el maíz es más eficiente que el girasol y la soja. En cambio, el girasol tiene un producto con alta concentración de aceite en el grano, por lo que tiene menor tasa de crecimiento por unidad de agua (Andrade y Gardiol, 1994). La soja presenta baja eficiencia fotosintética y alto contenido energético del grano.

La EUA calculada como cociente entre el rendimiento en grano y la evapotranspiración de referencia es casi el doble para el maíz que para la soja y el girasol (Andrade, 1995). Según Hattendorf *et al.* (1988) existe un amplio rango de EUA que varía entre 10 y 24 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> para maíz, de 5 a 9 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> para girasol y de 5 a 11 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> para la soja.

En las primeras etapas del ciclo del cultivo, el girasol supera al maíz y la soja en la interceptación de la RS, debido a la disposición de las hojas en el canopeo y a la tasa de expansión de las mismas. Sin embargo, el maíz mantiene una máxima cobertura hasta la madurez fisiológica, mientras que el girasol decae marcadamente durante el período de llenado de los granos, por la pérdida de la capacidad fotosintética ocasionada por la senescencia foliar. En la soja ocurre una situación intermedia porque presenta senescencia foliar inducida por los frutos (Sinclair y de Wit, 1975). Numerosos estudios han demostrado una relación lineal entre la biomasa producida y la RS absorbida durante el ciclo de cultivo en estas especies; en el maíz Tollenar y Bruulsema (1988) y Andrade *et al.* (1993), en girasol Trapani *et al.* (1992) y en soja Vega *et al.* (2000).

Para obtener altos rendimientos y altas tasas de crecimiento, un cultivo debe mantener una interceptación del 95% de la RS incidente durante este período. La eficiencia con que se convierte la RS interceptada en biomasa varía según el cultivo. Para el maíz, la eficiencia en el uso de la radiación (EUR) sería cercana a 4 g de materia seca por cada Megajoule (MJ) de RS fotosintéticamente activa interceptada (Otegui *et al.*, 1995). Esta eficiencia es alta en maíz, baja en soja e intermedia en girasol, debido a la composición de los granos (Sinclair y Muchow, 1999; Vega *et al.*, 2000).

Para poder efectuar una comparación de EUA y EUR entre cultivos, que resulte equitativa desde el punto de vista de los requerimientos energéticos que presenta cada

especie, resulta importante transformar el producto de cada uno de ellos en sus equivalentes de glucosa y en los valores de energía generada, y su expresión en las kilocalorías correspondientes. Así se determinó que producir 1 g de girasol es más costoso energéticamente que igual cantidad de maíz y soja, y que, a su vez, este produce un grano de mayor contenido energético (Sinclair y de Wit, 1975),

El objetivo de este trabajo fue realizar un análisis comparativo, desde el punto de vista energético, de la EUA y EUR en los cultivos: maíz, girasol y soja, en la región agropecuaria oriental de la Provincia de La Pampa, Argentina.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se sembraron en Catrilo, La Pampa, con latitud: 36° 26' S y Longitud: 63° 24' W; bajo siembra directa sobre un suelo Haplustol éntico desarrollado sobre materiales loessicos, con una secuencia de horizontes A-AC-C<sub>1</sub>-C<sub>2k</sub>, durante las campañas 2005/06, 2006/07, 2007/08, 2008/09 y 2009/10 en densidades de siembra recomendadas para cada cultivo y en fechas de siembra normales, condicionadas a la disponibilidad de agua en el suelo.

El área en estudio posee un clima templado. La temperatura del aire registró fluctuaciones que definen distintas estaciones. Existen dos épocas bien diferenciadas: el verano, caracterizado por el valor medio del mes más cálido (enero), y el invierno por el valor medio del mes más frío (julio). Para el análisis de los elementos del clima se usó la serie de registro 1977/2004, determinándose que la temperatura media del mes de enero fue de 23,1 °C y la del mes de julio de 7,7 °C. Se registraron temperaturas máximas absolutas de 40,7 °C y mínimas absolutas de -11,0 °C. La humedad relativa del aire de la zona en estudio posee un valor medio anual de 71%, con una humedad máxima absoluta de 100% y una mínima absoluta de 5%.

La precipitación media anual fue de 863,4 mm, con una distribución estacional de: 35,9% en verano (diciembre-enero-febrero), 27,5% en otoño (marzo-abril-mayo), 8,8% en invierno (junio-julio-agosto) y 27,8% en primavera (septiembre-octubre-noviembre) (Casagrande *et al.*, 2011). El período medio libre de heladas es de 182 d, extendiéndose desde el 20 de abril hasta el 10 de octubre, con una variabilidad de +/- 21 d (Vergara y Casagrande, 2002). Los vientos predominantes son del NNE y SSO, siendo

su velocidad media anual de 11 km h<sup>-1</sup>, con la época de mayor intensidad a la salida del invierno y comienzo de primavera (Mirasson *et al.*, 2010). Los datos meteorológicos referidos a las precipitaciones y la RS global se obtuvieron de una estación DAVIS modelo Vantage PRO instalada en el lote de los ensayos.

Se realizaron estudios comparativos de rendimiento con tres repeticiones, analizando tres híbridos de maíz, girasol y variedades de soja, de cada uno de los grupos de madurez (GM) III, IV y V, que registraron cada año el mayor rendimiento de grano. Los tratamientos se sembraron en parcelas de siete surcos por 100 m de longitud, con cuatro repeticiones dispuestas al azar. Se aplicó una fertilización de base en el momento de la siembra, con 40 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato diamónico, grado técnico 18-46-0, además, se efectuó un control de malezas (específico para cada cultivo) y de plagas, según los métodos usuales en la zona.

El agua útil a la siembra (AUS) y el agua remanente a la cosecha de los cultivos se determinaron tomando por cada cultivo, 4 muestras con barreno hasta los 2 m de profundidad por método gravimétrico, utilizando la fórmula:

$$\% H = PH - PS / PS * 100$$

Donde: %H: porcentaje de humedad; PH: peso húmedo; PS: peso seco.

En la madurez fisiológica se realizaron cuatro muestreos (de 10 m<sup>2</sup> cada uno) por cada híbrido o variedad, con la finalidad de determinar los rendimientos. La EUA fue calculada como la relación entre el rendimiento y los milímetros de agua disponible para el cultivo, computados como el AUS más las precipitaciones ocurridas en el ciclo, y restando el agua remanente a cosecha. La EUR se calculó como el cociente entre el rendimiento y la RS incidente, medida durante el ciclo de los cultivos.

Para el cálculo de los requerimientos de fotoasimilados para cada grano (Cuadro 1), así como, la capacidad para generar energía de cada uno, se tuvo en cuenta que con 1 g de glucosa se sintetizan 0,83 g de carbohidratos, 0,33 g de aceite y 0,41 g de proteína, y que a su vez cada gramo de carbohidratos, proteína y aceite genera 4, 5 y 9 kcal, respectivamente (Penning de Vries *et al.*, 1974; Eckhoff y Paulsen, 1996; Pasarella y Savin, 2003).

**CUADRO 1.** Composición química media y valor energético medio de los granos, y requerimiento de fotoasimilados para producirlos.

| Cultivo | Proteína (%) | Hidratos de carbono (%) | Materia grasa (%) | Requerimiento fotoasimilados (g g <sup>-1</sup> ) | Calorías (kcal g <sup>-1</sup> ) |
|---------|--------------|-------------------------|-------------------|---|----------------------------------|
| Soja    | 40           | 30                      | 20                | 1,96  | 4,8                              |
| Girasol | 18           | 18                      | 48                | 2,11  | 5,85                             |
| Maíz    | 10           | 70                      | 4,8               | 1,23  | 3,68                             |

Fuente: Pasarella y Savin, 2003

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El clima es uno de los factores importantes para la producción agrícola, dado que la mayoría de la superficie sembrada se hace bajo condiciones de secano. Por consiguiente, la producción está relacionada significativamente con la distribución y cantidad de precipitación ocurrida. Las fluctuaciones, tanto en cantidad como en distribución, originan periodos con deficiencias hídricas, los cuales pueden ser atenuados parcial o totalmente por la reserva hídrica del suelo.

En todas las campañas, las precipitaciones durante el ciclo de los cultivos fueron inferiores al promedio, y su distribución mostró alta variabilidad, excepto la última campaña, donde los registros pluviométricos fueron superiores (ver Figura y Cuadro 2).

Con los valores de rendimiento físico, agua consumida en el ciclo de los cultivos y cantidad de radiación recibida, se calcularon las EUA y EUR para las tres especies (Cuadro 3). Así mismo, se observa que el maíz presentó mayor EUA (Cuadros 6 y 7) y EUR (Cuadros 8 y 9) que el girasol y la soja, lo cual resulta pertinente por su condición de planta C4 y su bajo contenido energético, en concordancia con lo postulado por Andrade y Gardiol (1994).

Sin embargo, en la campaña más seca (2008/09), el girasol fue más eficiente en el uso de ambos recursos. Este comportamiento diferencial del girasol frente a la sequía, le permite generar un buen rendimiento con el almacenaje de agua en los estados fenológicos tempranos (octubre) sumados a las lluvias de importante magnitud en el período crítico (diciembre) debido a su ciclo más corto (Cuadros 4 y 5).

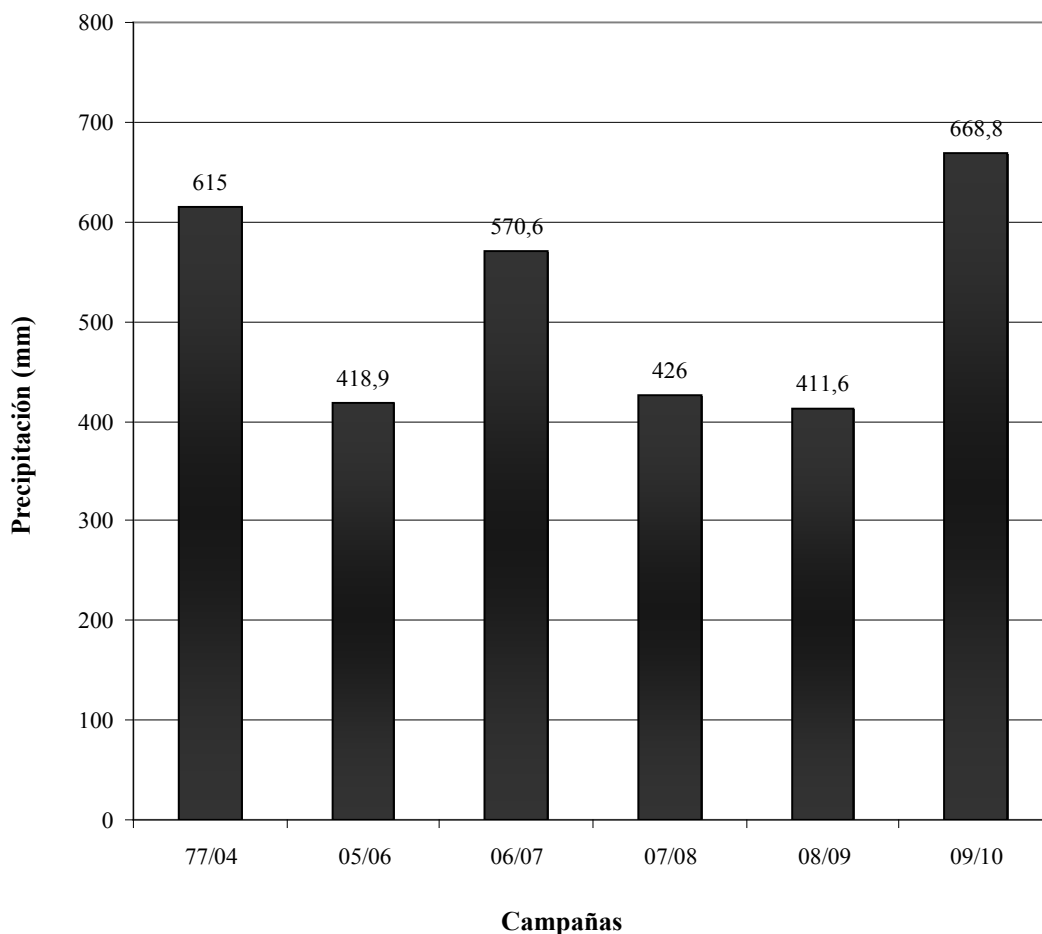
En los tres cultivos coincidieron temporalmente las menores EUA con las menores EUR, concordando con lo expresado por Earl y Davies (2003). Considerando los cinco GM de la soja, los que presentaron mayor EUA son los GM III L y IV C. Analizando los valores promedios de la EUR, los de girasol fueron 33% y los de soja 60% menores con respecto al valor medio del maíz.

El efecto de la distribución de las lluvias durante el ciclo de los cultivos resultó más importante que el agua total precipitada. Se observó que en las campañas 2005/06, 2007/08 y 2008/09 las precipitaciones no solo fueron menores a la media histórica, sino que además su distribución decádica no se ajustó al período crítico de definición de los rendimientos de cada cultivo (Cuadro 2).

Con los valores de los requerimientos medios de fotoasimilados (Cuadro 1) y los correspondientes al rendimiento físico (Cuadro 3), se calcularon los requerimientos de fotoasimilados para cada especie.

El maíz fue el cultivo que mayor cantidad de fotoasimilados sintetizó por unidad de superficie, para generar los rendimientos en cada campaña (Cuadro 4). Esta misma tendencia se observó cuando se transforma el rendimiento de grano en su capacidad de generar calorías (Cuadro 5).

En ambos casos, las variaciones observadas entre campañas responden a la variabilidad registrada en las lluvias. El girasol, en los resultados de la campaña 2008/09, mostró su capacidad de respuesta frente a situaciones de estrés hídrico, donde la cantidad de fotoasimilados fijados y su rendimiento calórico, superaron al maíz y a la soja en todos sus GM.



**FIGURA.** Precipitaciones (mm) de cada campaña durante el ciclo de los cultivos respecto de la serie histórica 1977/2004.

**CUADRO 2.** Distribución decádica de las precipitaciones (mm) por campaña y de la serie 1977/2004.

| Campañas  | Octubre |      |      | Noviembre |      |      | Diciembre |       |      | Enero |      |      | Febrero |       |      | Marzo |      |      |
|-----------|---------|------|------|-----------|------|------|-----------|-------|------|-------|------|------|---------|-------|------|-------|------|------|
|           | 1°      | 2°   | 3°   | 1°        | 2°   | 3°   | 1°        | 2°    | 3°   | 1°    | 2°   | 3°   | 1°      | 2°    | 3°   | 1°    | 2°   | 3°   |
| 1977/2004 | 30,0    | 24,7 | 35,0 | 42,2      | 32,3 | 21,8 | 44,1      | 31,1  | 41,7 | 32,1  | 42,1 | 30,1 | 32,8    | 28,7  | 27,0 | 40,9  | 44,0 | 9,2  |
| 2005/06   | 47,0    | 0,0  | 16,0 | 0,0       | 35,0 | 9,5  | 2,0       | 0,0   | 13,0 | 30,5  | 16,0 | 27,0 | 34,0    | 0,0   | 52,0 | 62,0  | 64,0 | 0,0  |
| 2006/07   | 36,0    | 53,0 | 55,0 | 47,0      | 0,0  | 15,0 | 35,0      | 28,0  | 33,0 | 19,0  | 0,0  | 19,0 | 3,0     | 46,0  | 29,0 | 49,0  | 23,0 | 86,0 |
| 2007/08   | 55,0    | 0,0  | 24,0 | 28,0      | 0,0  | 41,0 | 11,0      | 33,0  | 0,0  | 20,0  | 0,0  | 06,0 | 30,0    | 28,0  | 5,0  | 0,0   | 0,0  | 44,0 |
| 2008/09   | 16,0    | 51,0 | 32,0 | 7,0       | 0,0  | 31,0 | 18,0      | 100,0 | 5,0  | 0,0   | 0,0  | 0,0  | 17,0    | 14,0  | 9,0  | 74,5  | 0,0  | 6,0  |
| 2009/2010 | 3,0     | 19,0 | 0,0  | 20,0      | 25,0 | 48,0 | 6,0       | 25,4  | 46,2 | 4,8   | 56,2 | 7,4  | 48,6    | 134,6 | 25,4 | 113,2 | 68,3 | 12,7 |

**CUADRO 3.** Rendimiento de grano, agua consumida y radiación absorbida en el ciclo de los cultivos.

| Campaña agrícola | Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )* | Agua consumida (mm) | Radiación (MJ m <sup>-2</sup> ) |
|------------------|-------------------------------------|---------------------|---------------------------------|
| 2005/06          | 3 298                               | 301                 | 3 103                           |
| 2006/07          | 4 577                               | 414                 | 3 090                           |
| 2007/08          | 2 790                               | 424                 | 3 033                           |
| 2008/09          | 3 999                               | 223                 | 2 800                           |
| 2009/10          | 2 580                               | 256                 | 2 257                           |
| <b>Promedio</b>  | <b>3 449</b>                        | <b>324</b>          | <b>2 857</b>                    |
| 2005/06          | 8 895                               | 456                 | 3 670                           |
| 2006/07          | 9 633                               | 547                 | 3 606                           |
| 2007/08          | 6 271                               | 458                 | 3 572                           |
| 2008/09          | 3 302                               | 458                 | 3 572                           |
| 2009/10          | 1 0279                              | 555                 | 3 165                           |
| <b>Promedio</b>  | <b>7 676</b>                        | <b>495</b>          | <b>3 517</b>                    |
| 2005/06          | 903                                 | 381                 | 2 997                           |
| 2006/07          | 1 476                               | 374                 | 2 925                           |
| 2007/08          | 2 641                               | 378                 | 3 143                           |
| 2008/09          | 1 573                               | 385                 | 3 524                           |
| 2009/10          | 3 369                               | 522                 | 2 477                           |
| <b>Promedio</b>  | <b>1 992</b>                        | <b>408</b>          | <b>3 013</b>                    |
| 2005/06          | 1 428                               | 411                 | 2 830                           |
| 2006/07          | 1 532                               | 506                 | 3 504                           |
| 2007/08          | 2 951                               | 378                 | 2 647                           |
| 2008/09          | 1 918                               | 368                 | 2 769                           |
| 2009/10          | 3 565                               | 522                 | 2 477                           |
| <b>Promedio</b>  | <b>2 279</b>                        | <b>437</b>          | <b>2 845</b>                    |
| 2005/06          | 1 439                               | 411                 | 2 958                           |
| 2006/07          | 1 400                               | 428                 | 3 191                           |
| 2007/08          | 2 801                               | 378                 | 2 720                           |

... continúa

.../... continuación CUADRO 3

| Campaña agrícola | Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )* | Agua consumida (mm) | Radiación (MJ m <sup>-2</sup> ) |
|------------------|-------------------------------------|---------------------|---------------------------------|
| 2008/09          | 1 735                               | 384                 | 3 348                           |
| 2009/10          | 3 938                               | 522                 | 2 477                           |
| <b>Promedio</b>  | <b>2 263</b>                        | <b>425</b>          | <b>2 939</b>                    |
| 2005/06          | 1 632                               | 411                 | 2 976                           |
| 2006/07          | 1 374                               | 455                 | 3 230                           |
| 2007/08          | 2 913                               | 378                 | 2 809                           |
| 2008/09          | 1 859                               | 368                 | 2 870                           |
| 2009/10          | 4 404                               | 522                 | 2 477                           |
| <b>Promedio</b>  | <b>2 436</b>                        | <b>427</b>          | <b>2 872</b>                    |
| 2006/07          | 1 700                               | 506                 | 3 491                           |
| 2007/08          | 1 433                               | 378                 | 3 070                           |
| 2008/09          | 1 079                               | 382                 | 3 141                           |
| 2009/10          | 3 972                               | 522                 | 2 477                           |
| <b>Promedio</b>  | <b>2 046</b>                        | <b>443</b>          | <b>3 010</b>                    |

\*Datos promedios referenciales de los tres mejores cultivares de cada campaña de los ECR con tres réplicas.

En los Cuadros 6 y 7 se muestra la EUA, en función de los fotoasimilados fijados por milímetro de agua consumida por cada uno de los cultivos y sus equivalentes energéticos. En ellos se observa un comportamiento similar entre el maíz y el girasol, destacándose este último en la campaña 2008/09, donde los valores alcanzados superan ampliamente a los correspondientes al maíz y la soja.

El análisis de los años estudiados coloca al maíz como el cultivo de mayor EUR, tanto en la acumulación de fotoasimilados en los granos, como en sus equivalentes energéticos por cada MJ recibido (Cuadros 8 y 9).

El girasol se comportó de manera intermedia y los valores menores, en general, corresponden a la soja en sus distintos GM; concordando con Otegui *et al.* (1995). No obstante, al igual que para las otras variables, el girasol se destacó en la campaña más seca (2008/2009). Se debe prestar especial atención a la campaña 2009/10, la cual presentó buena disponibilidad hídrica en general, permitiendo al maíz y la soja (GM IV L y VC) expresar una mayor EUR.

**CUADRO 4.** Rendimiento de los cultivos expresado en cantidad de fotoasimilados en cada campaña.

| Cultivo    | Campaña Agrícola                    |         |         |         |         |
|------------|-------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
|            | 2005/06                             | 2006/07 | 2007/08 | 2008/09 | 2009/10 |
|            | Fotoasimilados (g m <sup>-2</sup> ) |         |         |         |         |
| Girasol    | 695 b                               | 965 b   | 588 b   | 843 a   | 544 e   |
| Maíz       | 1094a                               | 1 184 a | 771 a   | 406 b   | 1264 a  |
| Soja IIIC  | 171d                                | 280 c   | 501 d   | 298 c   | 640 d   |
| Soja IIIL  | 271 c                               | 291 c   | 560 bc  | 364 bc  | 677 cd  |
| Soja IVC   | 273 c                               | 266 c   | 532 cd  | 329 bc  | 748 bc  |
| Soja IVL   | 310 c                               | 261 c   | 553 bcd | 353 bc  | 836 b   |
| Soja VC    |                                     | 322 c   | 272 e   | 205 d   | 754 bc  |
| Valor de p | <0,0001                             | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| CV         | 19,51                               | 26,8    | 12,62   | 25,18   | 14,41   |

Letras distintas indican diferencias significativas Test LSD Fisher (P≤0,05)

**CUADRO 5.** Equivalente en kcal/m<sup>2</sup> del rendimiento de los cultivos en las campañas 2005/2012.

| Cultivo    | Campaña Agrícola        |         |          |         |          |
|------------|-------------------------|---------|----------|---------|----------|
|            | 2005/06                 | 2006/07 | 2007/08  | 2008/09 | 2009/10  |
|            | (kcal m <sup>-2</sup> ) |         |          |         |          |
| Girasol    | 1 929 b                 | 2 677 b | 1 632 b  | 2 339 a | 1 509 d  |
| Maíz       | 3 273 a                 | 3 544 a | 2 307 a  | 1 215 b | 3 782 a  |
| Soja IIIC  | 433 d                   | 708 c   | 1 267 d  | 755 cd  | 1 617 d  |
| Soja IIIL  | 685 c                   | 735 c   | 1 416 c  | 920 c   | 1 710 cd |
| Soja IVC   | 690 c                   | 671 c   | 1 344 cd | 832 c   | 1 890 bc |
| Soja IVL   | 783 c                   | 659 c   | 1 398 cd | 892 c   | 2 114 b  |
| Soja VC    |                         | 815 c   | 687 e    | 517 d   | 1 906 bc |
| Valor de p | <0,0001                 | <0,0001 | <0,0001  | <0,0001 | <0,0001  |
| CV         | 19,81                   | 27,49   | 12,56    | 25,87   | 14,13    |

Letras distintas indican diferencias significativas Test LSD Fisher (P≤0,05)

**CUADRO 6.** Eficiencia del uso del agua (EUA) expresada en gramos de fotoasimilados por milímetro de agua consumida en cada campaña

| Cultivo    | Campaña Agrícola                      |         |         |         |         |
|------------|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
|            | 2005/06                               | 2006/07 | 2007/08 | 2008/09 | 2009/10 |
|            | <b>EUA (g fotoas mm<sup>-1</sup>)</b> |         |         |         |         |
| Girasol    | 2,31 a                                | 2,33 a  | 1,39 b  | 3,78 a  | 2,13 a  |
| Maíz       | 2,40 a                                | 2,17 a  | 1,68 a  | 0,89 b  | 2,28 a  |
| Soja IIIC  | 0,45 c                                | 0,75 b  | 1,33 b  | 0,78 bc | 1,23 c  |
| Soja IIIL  | 0,66 bc                               | 0,58 b  | 1,48 b  | 0,99 b  | 1,3 c   |
| Soja IVC   | 0,67 bc                               | 0,62 b  | 1,41 b  | 0,86 bc | 1,43 bc |
| Soja IVL   | 0,75 b                                | 0,57 b  | 1,46 b  | 0,96 b  | 1,6 b   |
| Soja VC    |                                       | 0,64 b  | 0,72 c  | 0,54 c  | 1,45 bc |
| Valor de p | <0,0001                               | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| CV         | 19,7                                  | 26,73   | 12,73   | 27,85   | 14,6    |

Letras distintas indican diferencias significativas Test LSD Fisher ( $P \leq 0,05$ ).

**CUADRO 7.** Eficiencia de uso del agua (EUA) expresada en kilocalorías por milímetro de agua consumida por los cultivos en cada campaña.

| Cultivo    | Campaña Agrícola                  |         |         |         |         |
|------------|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|
|            | 2005/06                           | 2006/07 | 2007/08 | 2008/09 | 2009/10 |
|            | <b>EUA (kcal mm<sup>-1</sup>)</b> |         |         |         |         |
| Girasol    | 6,41 b                            | 6,47 a  | 3,85 b  | 10,47 a | 5,90 b  |
| Maíz       | 7,18 a                            | 6,48 a  | 5,04 a  | 2,65 b  | 6,82 a  |
| Soja IIIC  | 1,14 d                            | 1,89 b  | 3,35 c  | 1,96 bc | 3,10 d  |
| Soja IIIL  | 1,67 cd                           | 1,45 b  | 3,75 bc | 2,5 b   | 3,28 d  |
| Soja IVC   | 1,68 cd                           | 1,57 b  | 3,56 bc | 2,17 bc | 3,62 cd |
| Soja IVL   | 1,91 c                            | 1,45 b  | 3,7 bc  | 2,42 bc | 4,05 c  |
| Soja VC    |                                   | 1,61 b  | 1,82 d  | 1,36 c  | 3,65 cd |
| Valor de p | <0,0001                           | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| CV         | 19,91                             | 27,29   | 12,63   | 28,35   | 14,43   |

Letras distintas indican diferencias significativas Test LSD Fisher ( $P \leq 0,05$ ).



**CUADRO 8.** Eficiencia de uso de radiación (EUR) expresada en gramos de fotoasimilados por Megajoule interceptado por metro cuadrado.

| Cultivo  | Campaña Agrícola |         |         |          |         |
|--|------------------|---------|---------|----------|---------|
|  | 2005/06          | 2006/07 | 2007/08 | 2008/09  | 2009/10 |
| EUR (g fotoasimilados MJ <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> ) |                  |         |         |          |         |
| Girasol  | 0,22 b           | 0,31 a  | 0,19 b  | 0,30 a   | 0,24 d  |
| Maíz   | 0,30 a           | 0,33 a  | 0,22 a  | 0,11 bc  | 0,40 a  |
| Soja IIC   | 0,06 d           | 0,10 b  | 0,16 c  | 0,08 cd  | 0,26 d  |
| Soja IIL   | 0,10 c           | 0,08 b  | 0,21 ab | 0,13 b   | 0,27 cd |
| Soja IVC   | 0,09 c           | 0,08 b  | 0,20 ab | 0,10 bcd | 0,30 bc |
| Soja IVL   | 0,10 c           | 0,08 b  | 0,20 ab | 0,12 b   | 0,34 b  |
| Soja VC  |                  | 0,09 b  | 0,09 d  | 0,07 d   | 0,32 b  |
| Valor de p   | <0,0001          | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001  | <0,0001 |
| CV   | 19,3             | 26,7    | 12,74   | 25,37    | 14,85   |

Letras distintas indican diferencias significativas Test LSD Fisher (P≤0,05).

**CUADRO 9.** Eficiencia de uso de radiación (EUR) expresada en kilocalorías por Megajoule interceptado por metro cuadrado.

| Cultivo                                      | Campaña Agrícola |         |         |          |         |
|--|------------------|---------|---------|----------|---------|
|  | 2005/06          | 2006/07 | 2007/08 | 2008/09  | 2009/10 |
| EUR (kcal MJ <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> ) |                  |         |         |          |         |
| Girasol                                      | 0,62 b           | 0,87 b  | 0,54 b  | 0,84 a   | 0,67 c  |
| Maíz   | 0,89 a           | 0,98 a  | 0,65 a  | 0,34 b   | 1,20 a  |
| Soja IIC                                     | 0,14 d           | 0,24 c  | 0,40 c  | 0,21 de  | 0,65 c  |
| Soja IIL                                     | 0,24 c           | 0,21 c  | 0,54 b  | 0,33 bc  | 0,69 c  |
| Soja IVC                                     | 0,23 c           | 0,21 c  | 0,49 b  | 0,25 cde | 0,76 bc |
| Soja IVL                                     | 0,26 c           | 0,20 c  | 0,50 b  | 0,31 bcd | 0,85 b  |
| Soja VC                                      |                  | 0,23 c  | 0,22 d  | 0,17 e   | 0,81 b  |
| Valor de P                                   | <0,0001          | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001  | <0,0001 |
| CV   | 19,47            | 27,35   | 12,64   | 25,92    | 14,55   |

Letras distintas indican diferencias significativas Test LSD Fisher (P≤0,05).

## CONCLUSIONES

- El maíz presentó, en relación a la producción física de granos, la mayor EUA y la mayor EUR, con respecto al girasol y la soja de GM III C a V C. En condiciones de sequía el girasol resultó ser más eficiente en el uso de los recursos del ambiente que el maíz y la soja.
- La distribución de las lluvias en coincidencia con el período crítico de los cultivos parece ser la característica de mayor influencia en la EUA y EUR, en zonas donde el agua es un recurso limitante, sobre todo cuando se trata de cultivos estivales, generalmente sometidos a altas demandas atmosféricas.
- De los resultados encontrados y por las características semiáridas de la zona en estudio, se concluye que el cultivo de maíz y girasol se diferencian de la soja, pudiéndose aseverar que son los de mejor comportamiento, dependiendo de la cantidad y distribución del agua aportada por las precipitaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aluko, G. K. and K. S. Fischer. 1987. The effect of changes of assimilates supply around flowering on grain sink size and yield of maize (*Zea mays* L.) cultivars of tropical and temperate adaptation. *Aust. J. Agric. Res.*, 38:153-161.
- Andrade, F. H., 1995. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. *Field Crops Res.* 41:1-12.
- Andrade, F. H. y J. M Gardiol. 1994. Sequía y producción de los cultivos de maíz, girasol y soja. *Boletín técnico* 132. EEA INTA Balcarce.
- Andrade, F. H., S. Uhart and Cirilo, A. 1993. Temperature affects radiation use efficiency in maize. *Field Crop Res.* 32(1-2):17-25
- Andrade, F., A. Cirilo, S. Uhart y M. Otegui, M. 1996. *Ecofisiología del cultivo de maíz*. Ed. La Barrosa. Buenos Aires. Marzo. 292 p.
- Board, J. E. A., T. Wier and D. J. Boethel. 1995. Source strength influence on soybean yield formation during early and late reproductive development. *Crop Sci.* 35(4):1 104-1 110.
- Casagrande, G., G. Vergara, L. Belmonte, M. Fuentes, J. Y. Arnaiz y J. Forte Lay. 2011. Mapas de riesgo agroclimático para cultivos de la región oriental agropecuaria de la provincia de La Pampa (Argentina). VI Congreso Cubano de Meteorología. Actas ISBN 978-959-7167-9-7. La Habana. Cuba.
- Castellarín, J. M., R. M. Pedrol y J. Andriani. 2005. Impacto del ambiente sobre el rendimiento de trigo en la campaña 2004/05 en Oliveros (Santa Fe). EEA Oliveros. INTA.
- Cirilo A. G. and F. H. Andrade 1994. Sowing date and maize productivity: I. Crop growth and dry matter partitioning. *Crop Science* 34(4):1 039-1 043
- Earl, H. J. and R. F. Davis. 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agron. J.* 95(3):688-696.
- Eckhoff, S. R. and M. R. Paulsen. 1996. Maize **In:** R.J: Henry y P.S. Kettwell (eds) *Cereal grain quality*. Chapman y Hall. UK. 77-112 pp.
- Hattendorf, M. J., M. S Re delf, B. Amos, L. R. Stone and R. E. Gwin. 1988. Comparative water use characteristics of six row crops. *Agron. J.* 80(1):80-85.
- Jiang, H. and D. B. Egli. 1995. Soybean seed number and crop growth rate during flowering. *Agron. J.* 87(2):264-267.
- Mirasson, H., M. Faraldo, J. Arnaiz, C. Ferrero, M. Fernandez, O. Zingaretti, C. Ferrero, G. Vergara y G. Casagrande. 2010. Cultivos de Verano en la RSPC: Resultados de cinco años: maíz, girasol, soja y sorgo granífero. *Jornadas de Ciencia y Técnica*. Secretaria de Investigación y Posgrado. U.N.L. Pam.
- Muchow, R. C. and R. Davis. 1988. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment II: radiation interception and biomass accumulation. *Fields Crops Res.* 18(1):17-30
- Novoa, R. and R. S. Loomis. 1981. Nitrogen and plant production. **In:** J. Monteith and C. Webb (eds.) *Soil Water and Nitrogen in Mediterranean-type Environments*. Martinus Nijhoff/Dr., W. Junk Publishers, The Hague, The Netherlands. 177-204 pp.
- Otegui M.E., F.H. Andrade y E.E. Suero. 1995. Growth, water use, and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. *Field Crops Res.* 40(2):87-94.

- Pasarella, V. y R. Savin. 2003. Características fisicoquímicas de los granos. Cap I **In:** Producción de granos: bases funcionales para su manejo. Ed. FAUBA. UBA.
- Penning de Vries, F. W. T., A. H. M. Brunsting and H. H. Van Laar. 1974. Products, requirements and efficiency of biosynthesis: a quantitative approach. *Journal of Theoretical Biology* 45(2):339-377.
- Slafer, G. y F. Andrade. 1993. Physiological attributes related to the generation of grain yield in bread wheat cultivars released at different eras. *Field Crops Res.* 31(3-4):351-367.
- Sinclair, T. R. and R. C. Muchow 1999. Radiation use efficiency. *Adv. Agron.* 65:215-265.
- Sinclair, T. R. and C. T. de Wit. 1975. Photosynthate and nitrogen requirements for seed production by various crops. *Science* 189(4202):565-567.
- Tollenar, M. and T. W. Bruulsema. 1988. Efficiency of maize dry matter production during periods of complete leaf area expansion. *Agron. J.* 80:580-585.
- Trapani, N., A. J. Hall, V. O. Sadrás and F. Vilella. 1992. Ontogenetic changes in radiation use efficiency of sunflower (*Helianthus annuus* L.) crop. *Field Crop Res.* 29(4):301-316.
- Uhart, S. A. and F. H. Andrade. 1995. Nitrogen deficiency in maize. II. Carbon-nitrogen interaction on kernel number and grain yield. *Crop Science.* 35(5):1 384-1 389.
- Vega, C. R. C., V. O. Sadrás, F. H. Andrade and S. A. Uhart. 2000. Reproductive allometry in Soybean, Maize and Sunflower. *Ann.Bot. (London)* 85:461-468.
- Vergara, G. T y G. A. Casagrande. 2002. Estadísticas agroclimáticas de la Facultad de Agronomía. Santa Rosa, La Pampa, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía. UNLPam.* Vol. 13(1-2).