

**UNIVERSIDAD: Universidad Nacional de Entre Ríos**

**NUCLEO DISCIPLINARIO: Ingeniería Agrícola**

**TITULO DEL TRABAJO: INTERCEPCIÓN DE RADIACIÓN, ÁREA FOLIAR Y RENDIMIENTO DE UN CULTIVO DE SOJA EN EL DEPARTAMENTO PARANÁ**

**AUTORES: Nicolás Vaiman, José H.I. Elizalde\* y Víctor H. Lallana\***  
**\*Profesores Directores de Beca**

**CORREOS ELECTRONICOS DE LOS AUTORES:**  
**nicolas\_vaiman@hotmail.com, elizaldej@gigared.com**

**PALABRAS CLAVE: soja, rendimiento, radiación interceptada.**  
**PALABRAS CLAVE: soja, rendimiento, radiação interceptada.**

## **Introducción**

La soja (*Glycine max*) se cultiva en Argentina desde hace mucho tiempo (FAUBA – Clarín, 2004), si bien el gran crecimiento del área sembrada con este cultivo ocurre en la campaña 1996/97, con la introducción de materiales transgénicos resistentes al glifosato. Al igual que la superficie destinada al cultivo, la producción mantuvo una tendencia creciente hasta la campaña anterior (2007/08) en la que alcanzaron 16,5 millones de hectáreas sembradas y 46,5 millones de toneladas producidas a nivel nacional (SAGPyA, 2008).

El crecimiento, el desarrollo y el rendimiento de la soja son el resultado de un determinado potencial genético interactuando con el ambiente.

La mayoría de las veces su cultivo se halla sujeto a déficit hídrico con mayor o menor intensidad, lo que puede afectar su crecimiento (Muchow et al., 1993). El agua es considerada el factor que mayor incidencia tiene en la producción de alimentos. El desafío constante es conocer cómo el clima, el suelo, la genética vegetal y el manejo cultural pueden ser combinados para aumentar la eficiencia del uso del agua (EUA) por los cultivos (Taboada y Álvarez, 2008). En condiciones de estrés la eficiencia de utilización de la radiación presenta variaciones, mientras que cuando el cultivo crece en condiciones no limitantes, permanece relativamente constante a lo largo del ciclo (Muchow et al., 1993; Canfalone y Navarro Dujmovich, 1999).

Si bien el número de granos es el componente más asociado a rendimiento, a medida que la soja progresa hacia nuevas etapas reproductivas, la capacidad de compensación ante situaciones de estrés disminuye las pérdidas potenciales de rendimiento se incrementan por reducción del número y peso de granos (Tuttolomondo et al., 2008).

Se ha encontrado una estrecha relación en numerosos cultivos entre la cantidad de radiación lumínica interceptada por la planta y su crecimiento en peso. Los resultados de ensayos donde se modifican la densidad, la geometría de siembra, plantas con diferentes largos de entrenudos demuestran una correlación positiva entre rendimiento por planta y su superficie foliar y entre el Índice de Área Foliar (IAF) y el rendimiento por unidad de superficie de suelo (Aguirrezabal et al., 1996).

## **Objetivo**

El objetivo del trabajo fue evaluar la radiación solar interceptada y el área foliar del cultivo de soja en relación al rendimiento en el departamento Paraná, provincia de Entre Ríos.

## **Materiales y métodos**

Se trabajó en un lote de 20 ha ubicado en el departamento Paraná (S 31° 51' 53''; O 60° 31' 43''). Sobre un rastrojo de trigo en siembra directa, el 01/12/08 se sembró la soja a 70cm

de distancia entre líneas. La variedad utilizada fue Nidera A 6126 RG, grupo de maduración 6.1 y de hábito de crecimiento determinado.

Se realizó una fertilización de base de 55 Kg.ha<sup>-1</sup> de Micro Essentials S 15 Mosaic (14 - 14,5 - 0 - S: 15%). La inoculación, previa a la siembra, se llevó a cabo con Nitrosem que además actúa como curasemilla (thiram, de contacto y carbendazim, sistémico). El control de malezas se realizó en post-emergencia con 3 l.ha<sup>-1</sup> de glifosato (al 48%).

Durante el seguimiento y evaluación del cultivo, el campo fue sectorizado en tres sitios: loma, media loma y bajo, siguiendo una transecta en dirección NE-SO.

Los estadíos fenológicos se denominan de acuerdo a la escala para soja (Fehr y Caviness, 1977). Las fechas de los muestreos y determinación de los estados fenológicos fueron los siguientes: 23/12/08 (VC), 14/01/09 (V3), 21/01/09 (V4), 26/02/09 (R2), 03/04/09 (R6) y 20/04/09 (R8).

En cada fecha se evaluó la altura y densidad de plantas, porcentaje de cobertura del cultivo, radiación PAR incidente e interceptada y en las últimas tres fechas, además, se cosecharon plantas para determinar biomasa y área foliar.

Para determinar la altura de plantas se tomaron ocho mediciones por sitio. La densidad se determinó contando el número de plantas por metro lineal, tres veces por sitio. Además, en cada sitio se estimó el porcentaje de cobertura de suelo.

Las mediciones de radiación incidente e interceptada por el cultivo se tomaron utilizando un ceptómetro CAVA-RAD dotado de un sensor lineal cuántico de 1m de longitud (barra) que proporciona la lectura del flujo de fotones de radiación fotosintéticamente activa (PAR) en  $\mu\text{MOL m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Para las mediciones, la barra se ubicaba en dirección N-S, perpendicular a los surcos del cultivo. Se midió la radiación a nivel canopia y la radiación que llega al suelo (en la superficie de los surcos), y por diferencia entre ambos valores se calculó el porcentaje de radiación incidente que es interceptada por el cultivo.

Se estimó la cobertura del cultivo midiendo el diámetro en sentido perpendicular al surco de 7 a 10 plantas en un metro lineal. Estas mediciones se replicaron 3 veces en cada sitio, determinándose un valor de cobertura promedio en los estadíos R2 y R6.

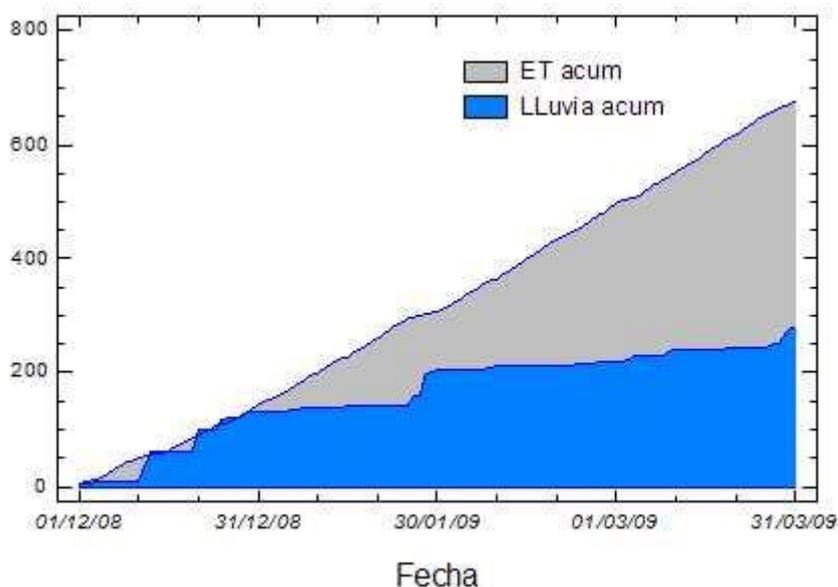
Se cosecharon tres plantas representativas de cada sitio para estimar el área foliar según la metodología propuesta por Lallana (1999). A partir del área foliar de las tres plantas, y conociendo la densidad de plantas se extrapó al metro lineal y a un metro cuadrado del cultivo y se estimó el índice de área foliar (IAF) en los estadíos R2 y R6 del cultivo. Con estas determinaciones y el peso seco foliar se calculó la tasa de asimilación neta (Hunt, 1981).

También se registró el peso fresco y seco de hojas, tallos, vainas y granos (V+G) en los estadíos R2, R6 y R8 del cultivo, cortando toda la planta a 5 cm del suelo, en un metro lineal de surco y llevando a estufa (80 °C) hasta obtener un peso seco constante. En base a los

valores de rendimiento se calculó la eficiencia de uso del agua (EUA), es decir, la relación entre el rendimiento y cantidad de agua evapotranspirada (Andrade y Sadras, 2002). Las variables densidad de plantas, IAF, cobertura e interceptación fueron analizadas mediante regresión lineal simple y ANOVA, empleando el test de Duncan con el programa INFOSTAT 2002.

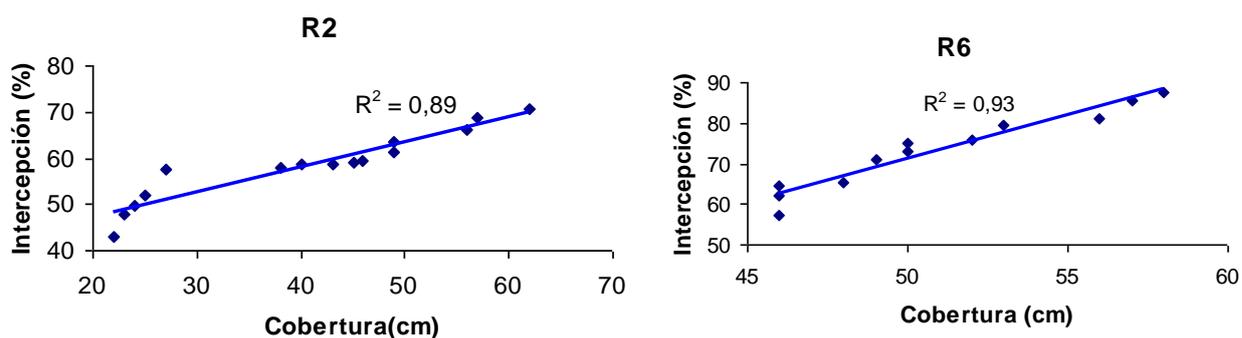
## Resultados

Las precipitaciones que caracterizaron a la campaña 2008/2009 fueron muy inferiores a las normales en los dos primeros meses del ciclo del cultivo, con aproximadamente 162mm menos que el promedio histórico para dicho período. El balance hídrico fue negativo en los meses previos a la siembra como en los dos primeros meses del ciclo del cultivo, lo que afectó la recarga del perfil del suelo. El déficit de humedad en el suelo durante diciembre, enero y febrero es evidente al comparar la lluvia acumulada con la evapotranspiración (ET) acumulada durante ese período (Brizuela, 2009). La diferencia entre precipitaciones acumuladas y evapotranspiración acumulada se hace muy marcada hacia principio de enero del 2009 con la soja recién emergida y esta tendencia se acentúa con el avance del ciclo del cultivo (Figura 1).



**Figura 1.** Lluvia (mm) y evapotranspiración (ET) acumuladas durante diciembre (2008), enero (2009) y febrero (2009). Paraná, Entre Ríos (Brizuela, 2009).

La interceptación de la luz tuvo una relación lineal positiva con el porcentaje de cobertura del cultivo en los estadios R2 y R6 (Figura 2).



**Figura 2.** Relación entre la luz interceptada y la cobertura del cultivo en R2 y R6.

También se estableció la relación entre la intercepción de la radiación y el índice de área foliar (IAF), encontrándose valores bajos de éste último en comparación a valores normales (Cuadro 2) y sin llegar, en la mayoría de los casos, al IAF crítico el cual oscila entre 3,1 y 4,5 (INTA – SAGPyA, 1997). El IAF máximo se observó en la loma y en R2 (4,40), pero disminuyó notablemente hacia R6. El índice mencionado solo presentó una tendencia creciente en el bajo entre las dos fechas muestreadas, duplicando el valor respecto a los sectores loma y media loma (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Índice de área foliar (IAF) promedio estimado en cada sitio en R2 y en R6.

| Estadío | Loma | Media loma | Bajo |
|---------|------|------------|------|
| R2      | 4,40 | 1,47       | 1,58 |
| R6      | 1,11 | 1,18       | 1,95 |

En R2 el mayor porcentaje de intercepción se registró en el bajo, con un valor de 62 % y el menor valor se observó en media loma, con el 59 %. En R6 el mayor porcentaje de intercepción volvió a observarse en el bajo con un valor de 79,5 % y el menor valor en la media loma, con un 71 % de intercepción (Cuadro 3).

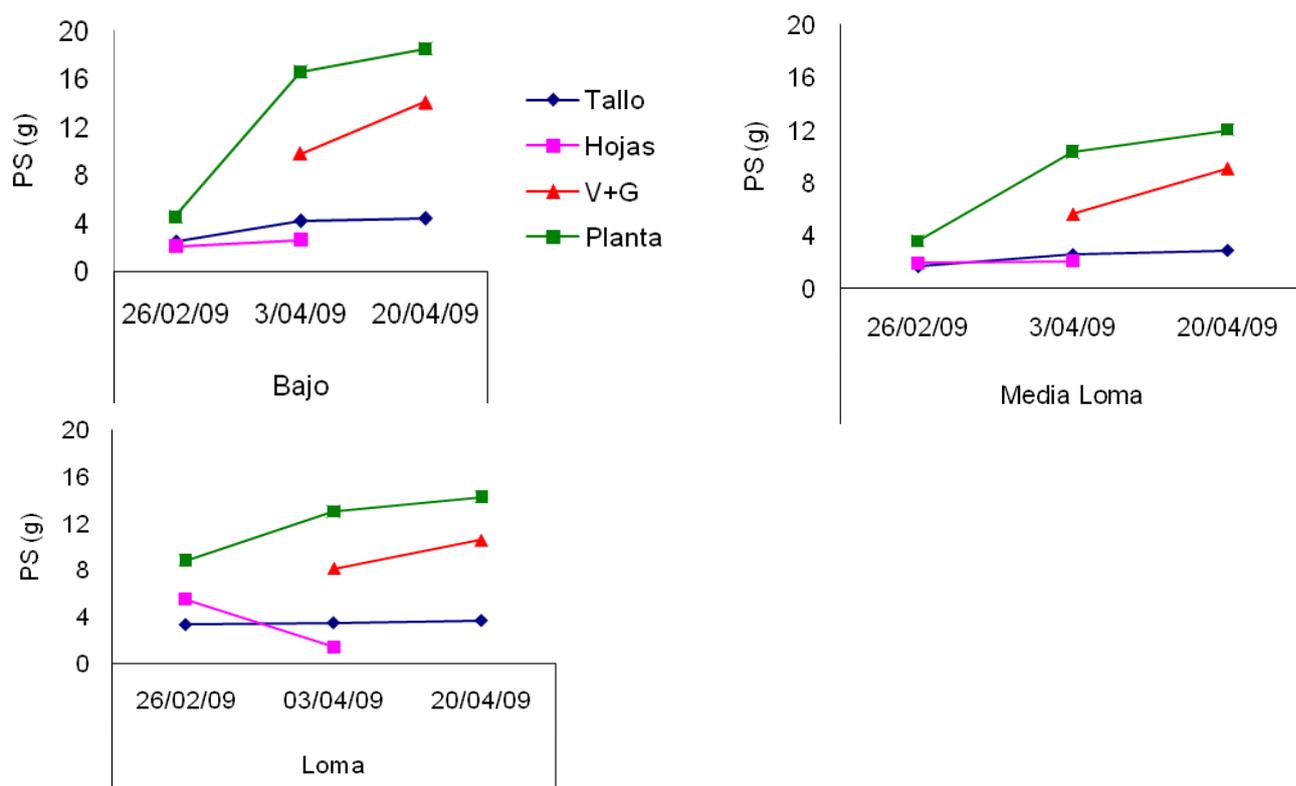
**Cuadro 3.** Porcentaje de intercepción de radiación solar estimado en cada sitio en R2 y en R6.

| Sitio      | Estadío | Intercepción (%) |
|------------|---------|------------------|
| Loma       | R2      | 61               |
|            | R6      | 72               |
| Media Loma | R2      | 59               |
|            | R6      | 71               |
| Bajo       | R2      | 62               |
|            | R6      | 80               |

Estos valores resultan bajos en relación a los hallados por Kuttel et al., (2008), quienes en el tratamiento de soja pura registraron un 94,8 % de intercepción de la radiación en el estado R1.

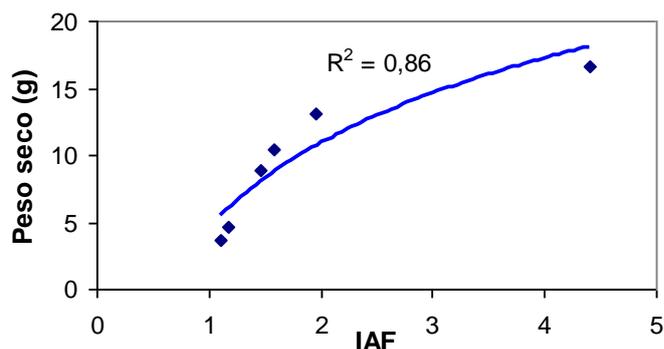
La biomasa seca evidenció en la mayoría de los componentes un peso mayor en el bajo, un valor intermedio para la loma y los valores más bajos en la media loma, excepto para el peso seco de hojas.

Para el último muestreo de cada componente, el valor más alto de peso seco de tallo se registró en el bajo con un valor de 4,4 g y el más bajo en la media loma con un peso de 2,9 g. El mayor peso seco de hojas se observó en el bajo, con un peso de 2,6 g planta<sup>-1</sup>, y el menor se observó en la loma con 1,4 g planta<sup>-1</sup>. El mayor peso seco de la suma de vainas y granos se observó en el bajo con un valor de 14,1 g y el menor se registró en la media loma con un valor de 9,1 g. Los incrementos porcentuales de peso seco de vainas más granos entre los dos muestreos fueron de 44 % para el bajo, de 60 % para la media loma y de 30 % para la loma. El total de peso seco por planta, mostró el mismo patrón, con un valor máximo en el bajo de 18,5 g y un valor mínimo de 12,0 g en la media loma (Figura 3).



**Figura 3.** Biomasa de tallo, hojas, vainas, granos y total por planta de soja en cada sitio.

La regresión entre peso seco total de plantas y el índice de área foliar tuvo un elevado ajuste entre ambas variables (Figura 4).



**Figura 4.** Regresión entre Índice de área foliar (IAF) y peso seco por planta (PS)

El rendimiento promedio del lote fue de 1600 Kg ha<sup>-1</sup> y la EUA tuvo un mejor comportamiento en el bajo: 3,35 Kg.mm<sup>-1</sup>, respecto a loma (2,64 Kg.mm<sup>-1</sup>) y media loma (2,23 Kg.mm<sup>-1</sup>).

La tasa de asimilación neta (NAR o E) calculada para el período entre R2 y R6 fue de 1,49 g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>, valor que se encontró muy por debajo de los valores normales para plantas herbáceas de explotación agrícola que oscilan entre 5 y 10 g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> (Larcher, 1980).

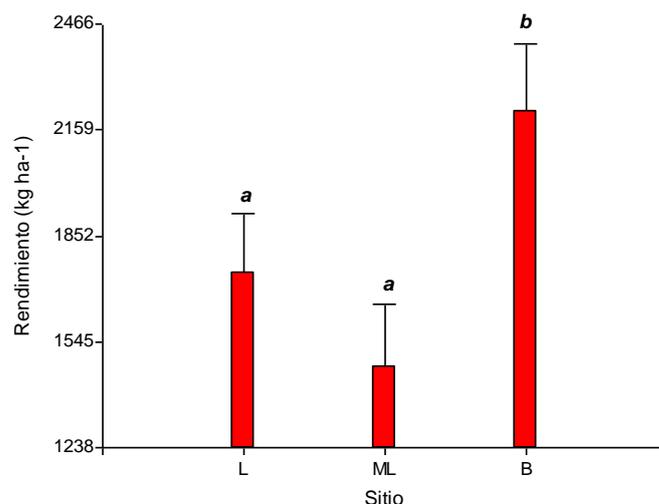
Si bien en el bajo se observó una tendencia creciente en las variables densidad, IAF e interceptación de la radiación, con respecto a los demás sitios, no se encontró diferencias estadísticas significativas. Sí hubo diferencias significativas en la variable cobertura del cultivo entre el bajo y la loma respecto a la media loma (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Densidad de plantas, Índice de Área Foliar (IAF), Cobertura e interceptación de la radiación en los tres sitios de muestreo.

| Sitio      | Densidad<br>(pl.ha <sup>-1</sup> ) | IAF    | Cobertura<br>(%) | Interceptación<br>(%) |
|------------|------------------------------------|--------|------------------|-----------------------|
| Loma       | 228571 a                           | 1,11 a | 67,67 b          | 72 a                  |
| Media Loma | 247571 a                           | 1,18 a | 54,82 a          | 71 a                  |
| Bajo       | 252428 a                           | 1,95 a | 71,07 b          | 80 a                  |
| Promedio   | 242856,7                           | 1,41   | 64,52            | 74,33                 |

Letras distintas en sentido de las columnas indican diferencias significativas para Duncan,  $\alpha=0,05$

Los valores finales de rendimiento del cultivo presentaron diferencias significativas (Duncan,  $\alpha=0,05$ ) en el rendimiento del bajo respecto a los demás sitios. La diferencia de rendimiento fue de 50 y 27 % más alto en el bajo que en media loma y loma respectivamente (Figura 5). En el sector bajo, el mayor crecimiento del cultivo y por ende el mayor aprovechamiento de la radiación incidente, probablemente ocurrió por la mayor disponibilidad hídrica y nutricional (Pergolini, 2006).



**Figura 5.** Rendimiento por sitio (L = loma, ML = media loma, B = bajo).

### Discusión

Los bajos valores de IAF encontrados pueden explicarse por la reducción de la superficie foliar, mecanismo utilizado por las plantas para controlar la transpiración en períodos de déficit hídrico. Esta reducción se debe primariamente a la menor expansión y/o a un aumento de la senescencia foliar (Andrade y Sadras, 2002) y también atribuible al déficit hídrico que soportó el cultivo durante gran parte del ciclo.

La disminución en la producción de biomasa en cultivos sometidos a estrés hídrico puede deberse a una reducción en la intercepción de la radiación y/o a una disminución en la eficiencia de conversión de radiación interceptada en biomasa (Andrade y Sadras, 2002). Sin embargo, la expansión de tejidos es mucho más sensible a déficits hídricos que la fotosíntesis (Sadras y Milroy, 1996; Azcón-Bieto y Talón, 2003), lo que seguramente influyó en los resultados obtenidos en este trabajo.

Canfalone et al., (2002) encontraron que la reducción de disponibilidad hídrica afectó negativamente la evolución del IAF y de la materia seca. Los autores explican la caída del IAF por efectos de la sequía, debido a una reducción en el crecimiento foliar y a una aceleración de la senescencia de las hojas. Resultados similares a estos y a los encontrados por Tuttolomondo et al. (2008) fueron hallados en este trabajo, donde la falta de integridad del aparato foliar para interceptar radiación, produjo una disminución en la eficiencia en los procesos fisiológicos afectándose la acumulación de materia seca y por ende el rendimiento.

La EUA promedio ( $2,42 \text{ Kg mm}^{-1}$ ) resultó baja en relación a los valores máximos y mínimos citados por Hattendorf et al. (1998) quienes registraron un rango entre 5 y  $11 \text{ Kg mm}^{-1}$  para soja con adecuada disponibilidad de agua.

También los valores de NAR fueron muy inferiores a los normales. Esto puede deberse a que el balance hídrico negativo durante gran parte del ciclo afectó la expansión foliar, con un IAF bajo durante el período crítico, que afectó la interceptación de la radiación.

### **Conclusiones**

El índice de área foliar presentó una tendencia creciente en el bajo donde la mayor acumulación de humedad en el perfil del suelo permitió a las plantas retener sus hojas. En contraste, en la loma y la media loma, se evidenció más marcadamente la removilización de los fotoasimilados y nutrientes desde las hojas hacia los granos.

Los valores de IAF inferiores al valor crítico determinan una disminución en la eficiencia del uso de la radiación, reduciendo la tasa de crecimiento del cultivo y el rendimiento.

**Agradecimiento:** El presente trabajo se realizó en el marco del proyecto PICT 1221/07 y PID-UNER 2128, “Integración de datos agrometeorológicos, de sensores remotos y de cultivos mediante técnicas de geoinformación en el centro Oeste de Entre Ríos”, en cumplimiento de una beca de iniciación en la investigación otorgada al primer autor por la Universidad Nacional de Entre Ríos.

### **Bibliografía**

Aguirrezábal, L.A.N. ; Orioli, G.A. ; Hernández, L.F. ; Pereyra, V.R. ; Miravé, J.P. (1996). Girasol : aspectos fisiológicos que determinan el rendimiento. Ed. Offset Vega. Mar Del Plata, 125p.

Andrade H. A.; Sadras V. O. (2002). Bases para el manejo del maíz, girasol y la soja. 449 p. ISBN: 287-521-047-1.

Azcón-Bieto, J. y Talón, M. (2003). Fundamentos de fisiología vegetal. Ed. McGraw-Hill interamericana. 521 p. ISBN 84-486-0258-7.

Brizuela A. (2009). Evento de sequía actual. Sequía 2008/2009: comentarios sobre el déficit hídrico del verano. <http://sites.google.com/site/climatologiafca/Climatologia-Agricola>. [Consulta: 15 de mayo de 2009].

Canfalone, A.; Navarro Dujmovich, M. (1999). Influencia do deficit hidrico sobre a sistema de utilização da radiação em soja. Revista Brasileira de Agrociencia, Pelotas. 5(3):195-198.

Canfalone, A.; Villacampa, Y.; Cortés, M.; Navarro, M. (2002). Crecimiento de soja en función de la temperatura del aire y de la radiación fotosintéticamente activa. Rev. Bras. Agrociencia, 8(3):185-189.

Fehr, W.R. y Caviness, C.E. (1977). Stages of soybean development. Iowa St. Univ. Special Rep. 80.

FAUBA – Clarín (2004). El gran libro de la siembra directa. Cuaderno 7, 34 p. ISBN 950-782-429-4.

InfoStat (2002). InfoStat, versión 1.1. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición, Editorial Brujas Argentina.

Hattendorf, M.J., Redelf, M.S., Amos, B., Stone, L.R., y Gwin, R.E. (1988). Comparative water use characteristics of six row crops. *Agron. J.* 80: 80-85. Citado en: Micucci, G. M., Taboada, M. A. y Gil, R. (2003). El agua en los sistemas extensivos II. Consumo y eficiencia de uso del agua de los cultivos. INPOFOS Cono Sur. Archivo Agronómico 6.

Hunt, R. (1981). *Plants growth analysis*. Edwards Arnol. Studies in biology. N° 96. 67 p.

INTA – SAGPyA – Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos. (1997). El cultivo de la soja en Argentina. 448 p. ISSN 0329-0077.

Kuttel, W.; Díaz, M.G.; López, R.; Peltzer, H.; Caviglia, O. (2008). Maíz y soja en intercultivo en surcos: “Una tecnología a considerar para ensilar”. Serie técnica “Evaluación y manejo”. EEA Paraná INTA, 4 p.

Lallana, V. H. (1999). Medición del área foliar mediante escáner y software Idrisi. *Rev. FAVE* 13(2):27-33.

Larcher, W. (1980). *Physiological plant ecology*. Citado en: Reed, D. W. 2007. *Applied physiology of horticultural crops*. Department of Horticultural Sciences. Texas A&M University. 59p.

Muchow, R.C.; Robertson, M.J.; Pengelly, B.C. (1993). Radiation-use efficiency of soybean, mungbean and cowpea under different environmental conditions. *Field Crops Research*, Amsterdam, 32(1):1-6.

Pergolini, S. (2006). Factores que explican las variaciones de rendimiento del cultivo de soja entre los sectores de bajo y loma. Disponible en: <http://www.elsitioagricola.com/articulos/pergolini>. [Consulta: 11 de mayo de 2009]

Sadras, V. O; Milroy, S. P. (1996). Soil-water thresholds for the responses of leaf expansion and gas exchange. *Field Crops Res* 47: 253-266. Citado en: Andrade H. A.; Sadras V. O. 2002. Bases para el manejo del maíz, girasol y la soja. 449 p. ISBN: 287-521-047-1.

SAGPyA (2008). Informe diario 25-07-08. Dirección de Mercados Agroalimentarios. [http://www.sagpya.gov.ar/new/0-0/programas/dma/Informe\\_diario/2008/infogra\\_2008-07-25.pdf](http://www.sagpya.gov.ar/new/0-0/programas/dma/Informe_diario/2008/infogra_2008-07-25.pdf). [Consulta: 11 de mayo de 2009].

Taboada, M. A.; Álvarez, C. R. (2008). Fertilidad física de los suelos. Editorial Facultad Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 272 p. ISBN 978-950-29-1074-1.

Tuttolomondo, G.; Rosbaco, I.; Pizzichini, N.; Coloccioni, S.; Destéfanis, C. (2008). Soja: incidencia de la defoliación en el rendimiento y sus componentes. Red Agromensajes. Nº 26, 5 p. Facultad Ciencias Agrarias, Univ. Nac. Rosario. ISSN 16698584.