

## ECOFISIOLOGIA Y GENERACION DE RENDIMIENTO DE SOJA

Ing. Agr. (Esp) Ruben Toledo  
 Cereales y Oleaginosas, FCA, UNC  
 Correo: [rtoledo@agro.unc.edu.ar](mailto:rtoledo@agro.unc.edu.ar)

 [@sojaenmultimedia](https://www.facebook.com/sojaenmultimedia)

Una forma de interpretar el efecto del ambiente sobre el cultivo de soja (*Glycine max* (L.)), es conocer cómo se desarrolla y como crece la planta, de gran importancia para el logro una estructura óptima del cultivo, y que facilitará la adecuada elección del genotipo, para implementar prácticas de manejo, que permitan incrementar la respuesta productiva en diferentes ambientes.

### DESARROLLO

Para el seguimiento fenológico se utiliza la escala desarrollada por Fehr *et al.*, (1971), que describe los estadios externos vegetativos y reproductivos. Tabla 1

**Tabla 1:** Estados de desarrollo vegetativos

Estado	Descripción
<b>VE</b>	Se observa el hipocótilo en forma de arco, que empuja al epicótilo y a los cotiledones, que emergen sobre la superficie del suelo.
<b>VC</b>	Los cotiledones se despliegan totalmente en el <b>nudo 0</b> . Se observa que en el nudo inmediato superior ( <b>nudo 1</b> ) los bordes de las hojas unifoliadas no se tocan.
<b>V1</b>	En el <b>nudo 1</b> el par de hojas opuestas unifoliadas están expandida totalmente, y en el <b>nudo 2</b> se observa que los bordes de cada uno de los folíolos de la 1 <sup>er</sup> hoja trifoliada no se tocan
<b>V2</b>	En el <b>nudo 2</b> la 1 <sup>er</sup> hoja trifoliada está totalmente desplegada, y en el <b>nudo 3</b> los bordes de cada uno de los folíolos de la 2 <sup>da</sup> hoja trifoliada no se están tocando.
<b>Vn</b>	La hoja trifoliada del nudo (n) está expandida totalmente, y en el nudo inmediato superior ( <b>n + 1</b> ) los bordes de cada uno de los folíolos no se tocan
<b>R1</b>	Se observa una flor abierta en cualquier nudo del tallo principal.
<b>R2</b>	Hay una flor abierta en cualquiera de los nudos superiores del tallo principal.
<b>R3</b>	Hay una vaina de 5 mm de largo en los nudos superiores del tallo principal.
<b>R4</b>	Se observa una vaina de 2 cm en uno de los nudos superiores del tallo principal.
<b>R5</b>	Una vaina en los nudos superiores del tallo principal, contiene una semilla de 3 mm de largo.
<b>R6</b>	Una vaina, en cualquiera de los nudos superiores, contiene un grano verde que llena la cavidad de dicha vaina.
<b>R7</b>	Madurez fisiológica - Se observa que una vaina normal, en cualquier nudo del tallo principal, ha alcanzado su color de madurez.
<b>R8</b>	Madurez completa - El 95 % de las vainas de la planta han alcanzado el color de madurez. El grano tiene alrededor de un <b>30% de Humedad</b> . Según las condiciones ambientales se debería esperar entre 1 y dos semanas, para alcanzar la madurez de cosecha con valores cercanos al <b>13,5% de Humedad</b> .

En la Figura 1 se observa cómo se van desarrollando los granos a partir de R5, y que va ocurriendo en cada etapa.

### Factores que afectan el desarrollo

La **temperatura** y el **fotoperiodo** son los factores ambientales que regulan la duración de las fases de desarrollo del cultivo, actuando en forma simultánea en las plantas y con evidencia de interacción entre ellos.

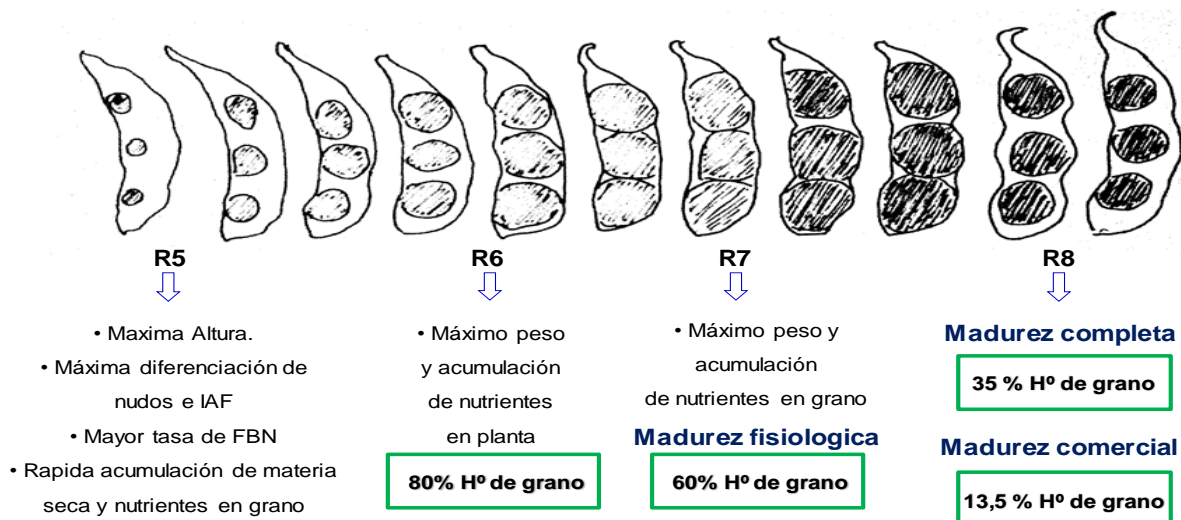


Figura 1: Evolución en el desarrollo de granos.

## • Temperatura

Se puede mencionar que la temperatura base ( $T_b$ ) de **desarrollo promedio** es de  $8^\circ\text{C}$ , donde las temperaturas óptimas nocturnas para crecimiento se encuentran entre los  $21$  y  $27^\circ\text{C}$ . Los requerimientos de **sumas térmicas** de siembra a emergencia son  **$105^\circ\text{C días}$**  y  **$125^\circ\text{C días}$**  si se considera temperatura de suelo y aire respectivamente.

La duración de una fase (habitualmente medida en días) depende de la temperatura, siendo esta determinante en la longitud de cada una de las etapas. La relación entre dicha duración y la temperatura no es lineal, por ello se prefiere caracterizar la longitud de una etapa a través de su inversa. Esta función inversa de la duración se llama **tasa de desarrollo** y su unidad es  **$1/\text{día}$** . En términos generales esta tasa aumenta linealmente entre la  $T_b$  (temperatura por debajo de la cual no hay desarrollo) y la óptima ( $T_o$ ), donde la velocidad con que se cumple cada etapa es máxima; entre la  $T_o$  y la máxima ( $T_m$ ) la tasa disminuye. Por debajo de la  $T_b$  y por encima de la  $T_m$  el desarrollo prácticamente se detiene y la duración de la fase tiende a ser infinita. Los requerimientos promedio para que haya **desarrollo vegetativo**:  $T_b$  de  $8^\circ\text{C}$ ,  $T_o$  de  $30 - 35^\circ\text{C}$  y  $T_m$  de  $40^\circ\text{C}$ ; y **desarrollo reproductivo**:  $T_b$  de  $7^\circ\text{C}$ ,  $T_o$  de  $20 - 25^\circ\text{C}$ , y  $T_m$  de  $40^\circ\text{C}$ . Por lo tanto, se puede establecer que la **temperatura óptima** promedio para el desarrollo normal vegetativo y reproductivo se encuentra entre los  $25^\circ\text{C}$  y  $30^\circ\text{C}$ . Figura 2.

La **temperatura regula el desarrollo durante todo el ciclo**, sin respuestas diferenciadas entre genotipos, esta respuesta se la denomina **respuesta universal** a la temperatura ya que, a los fines prácticos se puede mencionar que dicha respuesta es similar en todos los GM; sin embargo, cabe aclarar que los requerimientos de tiempos térmicos para que se produzca la floración, tiende a disminuir desde los GM mayores hacia los GM menores.

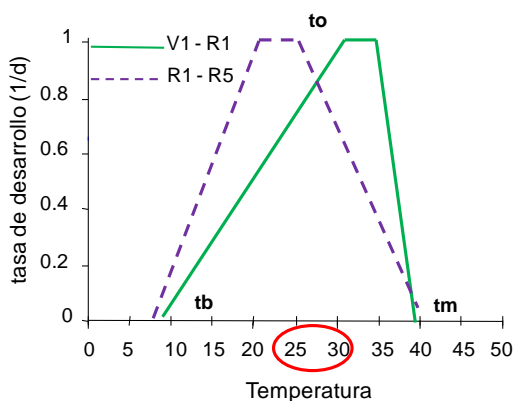


Figura 2: Efecto de la temperatura sobre la tasa de desarrollo. (Fuente: Modificado de Kantolic 2004b)

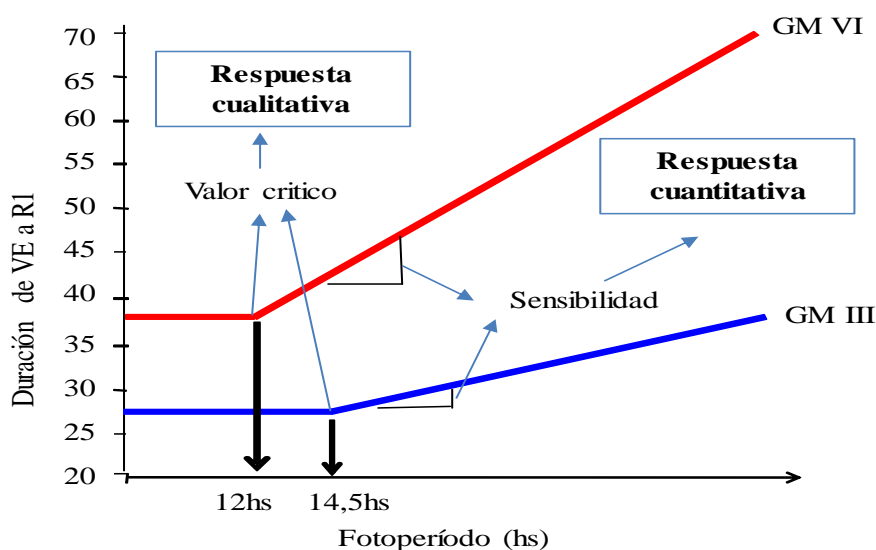
- **Fotoperiodo**

Antes de conocer el efecto del fotoperiodo, se mencionarán algunos aspectos generales sobre los GM:

- ✓ Los cultivares comerciales se agrupan en GM o de precocidad. En Argentina se siembran del **GM III** al **VIII**.
- ✓ Cada GM reúne variedades con **similar respuesta al fotoperíodo**, -similar duración de días desde VE a R1-
- ✓ Dentro de cada GM se encuentran materiales que son de **ciclo corto y largo**.
- ✓ Los GM III, IV, y V de ciclo corto son denominados **GM bajos o menores** por su menor largo de ciclo. Cuanto más bajo el GM **menos sensibles al fotoperiodo** y más rápida respuesta a la temperatura. Son los llamados **GM Productivos** (más bajo el GM más productividad). Son todos de **HC indeterminado**.
- ✓ Los GM V de ciclo largo, VI, VII y VIII son denominados **GM altos o mayores** por su mayor largo de ciclo. Cuanto más alto el GM **más sensibles al fotoperiodo** y menos responden a la acumulación térmica. Son los llamados **GM Estables** (más alto el GM más estable). Casi todas las variedades de los GM V y GM VI y una menor proporción de los GM VII y VIII son de **HC indeterminado**. Cuánto más alto el GM más variedades de **HC determinado** se encuentran.

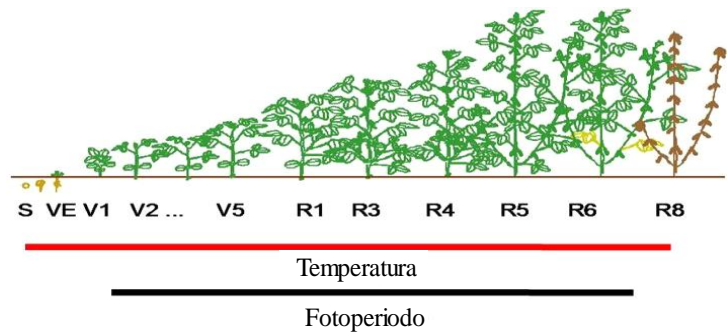
El efecto principal del fotoperíodo es **inducir la floración**, se trata en términos generales de una **planta de días cortos**, es decir al acortarse la duración de los días, implica menos horas de luz que aumenta la velocidad de desarrollo y se adelanta el inicio de la floración; el momento de ocurrencia de la misma va a depender de un valor crítico que posee cada cultivar, y que, por debajo de dicho umbral, la etapa VE-R1 no modifica su longitud por efecto del fotoperiodo.

Según la respuesta fotoperiódica se la puede clasificar en: a) **cuantitativa** donde es necesario superar un **valor crítico** para que se produzca la floración y que varía entre las **12 - 14,5** horas de luz; y b) **cuantitativa** donde la mayor o menor respuesta va a depender del **grado de sensibilidad** del GM. Figura 3. A medida que es **mayor el GM, mayor es la pendiente de respuesta cuantitativa**, por ejemplo, al ser sembrado dos GM en dos fechas de siembra (FS) extremas en un mismo ambiente, el **GM VI** florece en 78 días y el **GM III** en 37 días -sembrados en octubre- y florecen en 42 y en 28 días respectivamente –sembrados en enero-. Esta mayor variación de días del **GM VI** entre FS, habla de su mayor **sensibilidad** al fotoperiodo.



**Figura 3:** Respuestas cuantitativa y cualitativa, en función del fotoperíodo, y el GM.

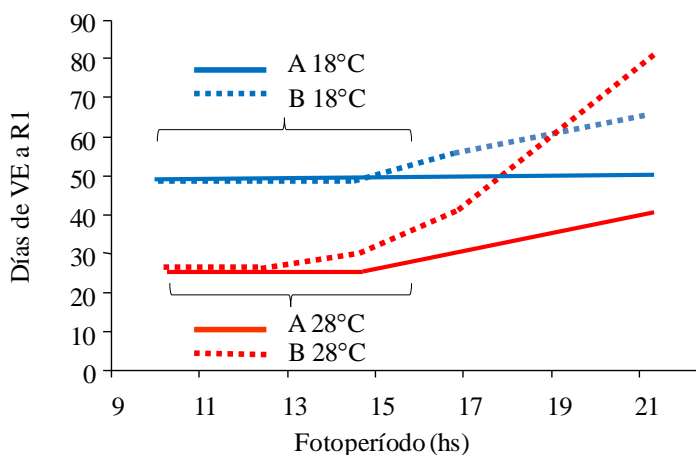
A diferencia de la **temperatura** que influye durante **todo el ciclo** del cultivo, la mayoría de los genotipos presentan una corta **fase juvenil** o preinductiva, donde la inducción floral puede ocurrir en cualquier estadio después del desarrollo de la hoja unifoliada. Se puede asumir que a partir de la expansión de las primeras hojas trifoliadas la planta comienza a ser sensible al fotoestímulo fotoperiódico, y esta respuesta se prolonga hasta el estado de madurez fisiológica. Por lo tanto, el **fotoperíodo** regula el desarrollo desde **V1-V2 hasta R7**. Figura 4.



**Figura 4:** Influencia de la temperatura y el fotoperíodo en función de la fase-etapa del cultivo

A nivel mundial existen genotipos con un rango muy amplio de sensibilidad fotoperiódica: a) los que son insensibles, b) los que tienen valores críticos altos adaptados a mayores latitudes, y que florecen con fotoperíodos muy largos, y c) los que están adaptados a bajas latitudes, que florecen con fotoperíodos más cortos y que poseen alta sensibilidad.

En el ambiente existe una permanente interacción entre **temperatura y fotoperíodo**, para explicarlo se observa la Figura 5, cuyo ejemplo es un genotipo A (línea continua) y un genotipo B (línea discontinua), en



dos ambientes con temperaturas controladas (18°C y 28°C). **Bajo condiciones óptimas (28°)** el genotipo B -más sensible- tiene un umbral crítico menor, requiere menos horas de luz para inducirse a la floración con respecto al genotipo A -menos sensible-. En **condiciones sub óptimas (18°C)**, el principal efecto es un **retraso** en el inicio de la **floración**, es decir aumenta la duración de la etapa vegetativa, ya que se **modifica** la **sensibilidad** al fotoperíodo, y el umbral crítico se altera para ambos genotipos, desaparece el valor crítico en el cultivar A -sin respuesta-, y en el B su respuesta se desplaza hacia más horas de luz.

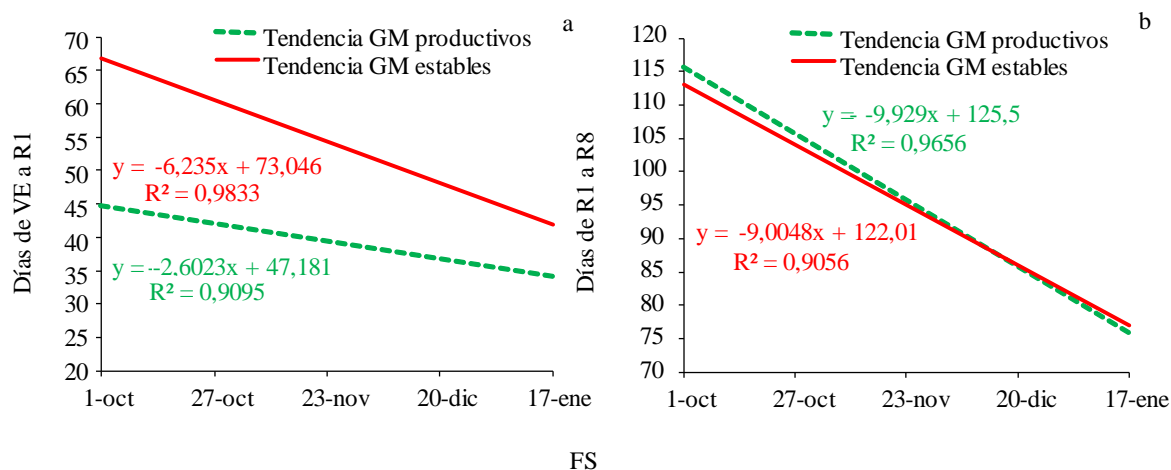
**Figura 5:** Interacción temperatura y fotoperíodo

Esto es observable en FS tempranas con temperaturas media ambientales más frescas, dónde, además de aumentar la longitud de la etapa vegetativa, disminuye la sensibilidad al fotoperíodo. Por lo tanto, la respuesta al fotoperíodo se modifica según la temperatura, y esta influye significativamente en aquellos GM de menor sensibilidad. Temperaturas por **debajo de los 25°C** atrasan la floración independiente de la longitud del día. Con fotoperíodos largos y temperaturas **mayores a 32°C** se producen abortos de flores y vainas.

Para visualizar mejor los efectos del fotoperíodo, en la Figura 6a se observa las tendencias de respuesta de los GM IV largo, GM V corto (**GM productivos**) GM V largo y GM VI (**GM estables**). En todos los GM la longitud de la etapa vegetativa -VE a R1- tiene tendencia decreciente a medida que se atrasa la FS. En **FS temprana** los GM de mayor productividad florecen a los **45 días** promedio y los de mayor estabilidad a los **66 días**. En **FS tardía** la duración fue de **34 días** para los productivos y de **42 días** para los estables, es decir que en los GM de alta productividad la diferencia entre FS extremas fue de **11 días**, en cambio en los de mayor estabilidad la diferencia fue de **24 días**, lo que demuestra el efecto de la modificación

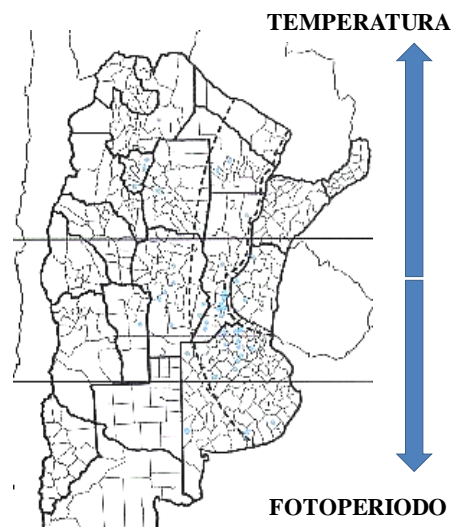
del ambiente -FS- sobre la respuesta cuantitativa de los GM. Con respecto a la duración de la etapa reproductiva -R1 a R8- sigue la misma tendencia decreciente que la etapa anterior, tanto de los GM productivos como estables, con pendiente similares y una diferencia promedio entre FS extremas de 36 días. Figura 6b.

*El atraso en la FS reduce los ciclos de los diferentes GM, tanto por un acortamiento de la etapa vegetativa como también de la etapa reproductiva.*



**Figura 6:** Tendencia de duración promedio de a) VE a R1 y de b) R1 a R8 promedio de FS (Campaña 2002/03 al 2017/18) Campo Escuela, FCA-UNC. (31°19'LS, 64°13'LV)

Por lo tanto, el fotoperiodo y la temperatura están presentes con su influencia, pero la misma es diferente según el ambiente. Si dividiéramos imaginariamente el país en dos, del centro **hacia el norte** es mayor la influencia de la **temperatura**, y del centro **hacia el sur** es mayor la del **fotoperiodo**. Esto determinará que **hacia el sur** se siembren genotipos de **GM menores**, dado que son GM con menor sensibilidad al fotoperiodo; y a medida que nos desplazamos **hacia el norte**, es mayor el efecto de la temperatura, lo que motivaría a utilizar variedades de **GM mayores** de mayor ciclo para contrarrestar dicho efecto, dado la mayor sensibilidad de estos GM al fotoperiodo. (Figura 7)



**Figura 7:** Influencia de los factores de desarrollo según la región del país.

*El efecto de la temperatura y el fotoperiodo siempre están presentes, la incidencia de uno u otro factor va a estar dado según el ambiente geográfico.*

## CRECIMIENTO

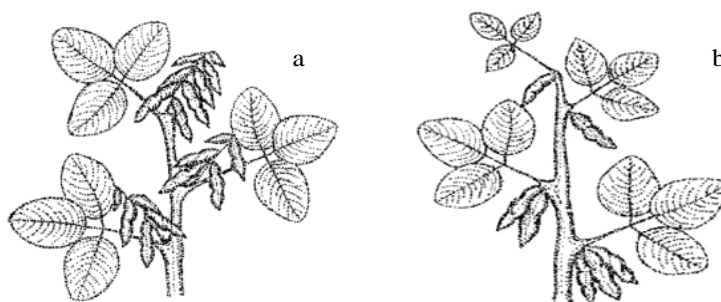
### Hábitos de crecimiento

En Argentina podemos encontrar dos tipos de **Hábito de crecimiento (HC)**:

- HC determinado:** La planta prácticamente detiene su crecimiento en altura cuando inicia la floración. Luego de dicha etapa comienza a generar ramas, cesa la producción de nudos en el tallo principal, y en su extremo apical se forma un ramillete de estructuras reproductivas. Algunas variedades del GM

VI, GM VII y VIII tienen este tipo de HC. Más alto el GM, más genotipos se pueden encontrar con este HC. Figura 8a.

- b) **HC indeterminado:** Es el predominante en Argentina. La planta continúa diferenciando nudos en el tallo principal, siguen **creciendo en altura luego de la floración**, desarrollando estructuras vegetativas y reproductivas. Todas las variedades de los GM III, GM IV, GM V, la mayoría del GM VI y en menor medida las del GM VII y GM VIII tienen este tipo de HC. Figura 8b.

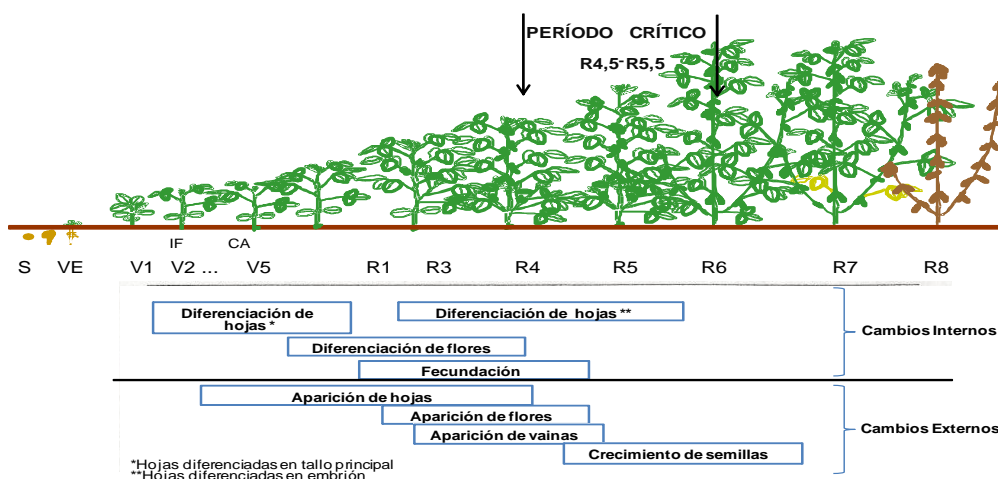


**Figura 8:** a) HC determinado y b) HC indeterminado

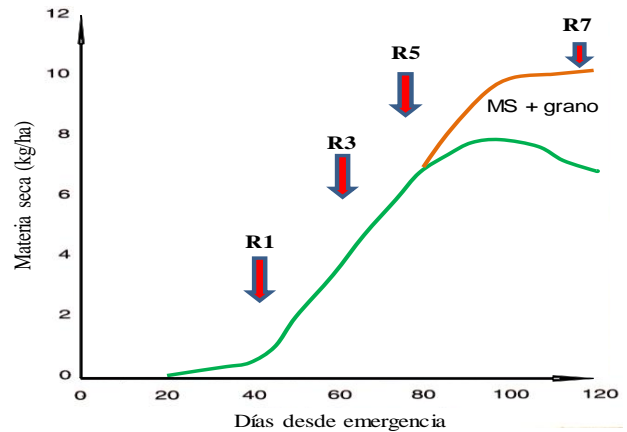
*Sembrados en una misma FS y comparando el mismo GM (por ej. GM VI), los cultivares de HC indeterminado son de mayor altura de planta a madurez que los semideterminados, y estos a su vez de mayor altura que los de HC determinados.*

El crecimiento comienza con la germinación de la semilla, y ocurre cuando absorbió entre el **30 y 50%** de su peso en agua. La germinación ocurre dentro de los 5-8 días a una temperatura de **25°C**. Durante el desarrollo de la semilla, se diferencian en el embrión al menos tres hojas, las **dos unifoliadas y la primera trifoliada** y sus respectivas yemas. Entre germinación-emergencia, se reanuda la diferenciación de hojas en el meristema apical -1 y 2 hojas más-. Luego de VE el proceso continúa en el ápice del tallo principal, hasta que el meristema apical cambia al estado reproductivo. A partir de los **meristemas axilares** también se diferencian estructuras vegetativas, por lo tanto, en muy poco tiempo el número de hojas potenciales diferenciadas es muy elevado. En cuanto a la diferenciación floral, la transición interna del estado vegetativo al reproductivo incluye dos eventos importantes: a) La iniciación floral (en un meristema axilar) y b) La transformación del ápice. Dentro del tallo principal, la diferenciación comienza en un nudo ubicado en una posición intermedia del tallo principal y progresa hacia yemas axilares de nudos superiores e inferiores. En varios nudos pueden diferenciarse estructuras florales. Existe un período que, dependiendo del momento, intensidad y duración del estrés, afectará la determinación en mayor o menor grado el rendimiento del cultivo. Dicho período es denominado **período crítico** y se encuentra entre **R4 a R6**, y más específicamente entre **R4,5 y R5,5**. Figura 9.

**Figura 9:** Esquema del ciclo ontogénico. Cambios morfológicos en los órganos reproductivos más avanzados de los nudos superiores del tallo principal. Iniciación floral (IF) y cambio de ápice (CA). (Fuente: Kantolic, *et al.*, 2004a)



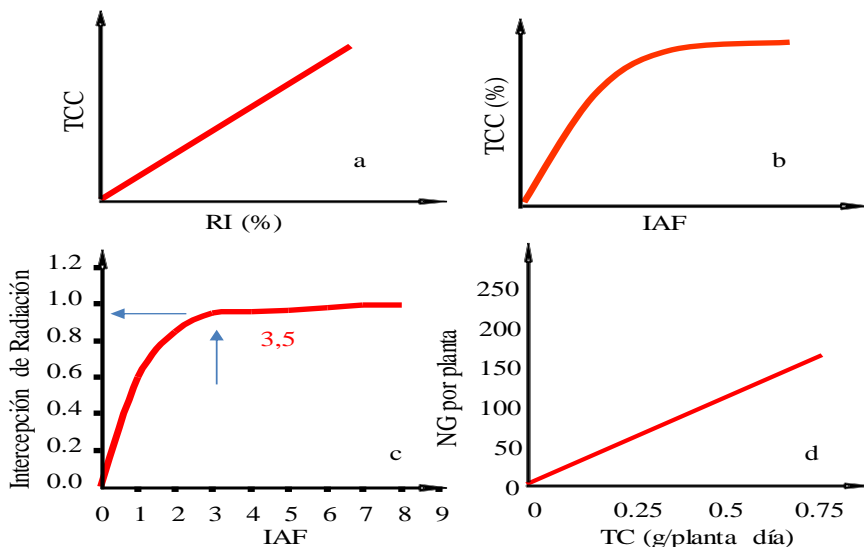
A través de una curva sigmoidea puede representarse la acumulación de materia seca - crecimiento- y se la puede dividir en tres momentos: a) comienza con una etapa de **crecimiento vegetativo lento** hasta **R1**, donde predomina el desarrollo del área foliar; b) le sigue una etapa de **crecimiento lineal acelerado** hasta **R5**, y que corresponde a la formación de hojas, tallos, flores y vainas.



**Figura 10:** Acumulación de materia seca durante el ciclo del cultivo

A partir de R5 el **crecimiento vegetativo disminuye**, pero con un crecimiento reproductivo lineal que culmina con el amarillamiento y caída de hojas -R7-. En la etapa final de llenado de granos el crecimiento reproductivo se produce a menor tasa. Figura 10.

La asimilación del carbono, puede medirse mediante la acumulación de materia seca del cultivo, esto se denomina **tasa de crecimiento del cultivo (TCC)** y se expresa en  $g\ m^{-2}\ día^{-1}$ , generalmente solo se incluye la parte aérea, debido a las dificultades para medir las raíces, dicha TCC está estrechamente relacionada a la intercepción de radiación solar (Figura 11a), la que a su vez depende del IAF. La TCC aumenta a medida que aumenta el IAF hasta que alcanza un valor crítico capaz de interceptar el 95% de la radiación solar incidente (Figura 11b), esto se conoce como **IAF crítico** y se encuentra entre **3,1 y 4,5** (Figura 11c) y depende de la estructura de la planta -cultivar-, que a su vez depende de la FS y el GM; la densidad de siembra y el espaciamiento entre surco son otras variables que influyen sobre la estructura final de la planta. De modo tal que, si el cultivo no logra alcanzar el IAF crítico, la primera consecuencia es su menor eficiencia en la captación de la radiación, esto lleva a una menor TCC por lo tanto el rendimiento disminuye (Figura 11d). La soja puede alcanzar IAF muy altos, sin embargo, la TCC no disminuye, lo que significa que las hojas sombreadas no son parásitas para la planta.



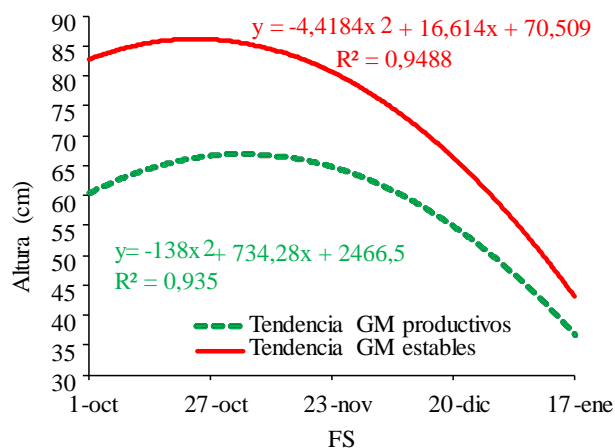
**Figura 11:** a) Relación entre el % de Radiación Interceptada (RI) y la Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC), b) Relación entre el Índice de Área Foliar (IAF) y el % de TCC, c) Relación entre el % de RI y el IAF y d) Relación entre la TC  $planta^{-1}\ día^{-1}$  y el número de granos  $planta^{-1}$

Existe otra forma de expresar la acumulación de materia seca en términos del área foliar, dicho parámetro se lo denomina **Tasa Neta de Asimilación (TNA)** y se expresa  $g\ m^{-2}$  de área foliar  $día^{-1}$ . De modo tal que la TCC es generalmente máxima en floración, para luego estabilizarse y posteriormente disminuir hacia la madurez, con una trayectoria parecida al IAF, en cambio la TNA es mayor cuando las plantas son

pequeñas y todas las hojas están totalmente expuestas a la luz solar. A medida que avanza el desarrollo, las hojas son sombreadas, se reduce la TNA y se incrementa el IAF.

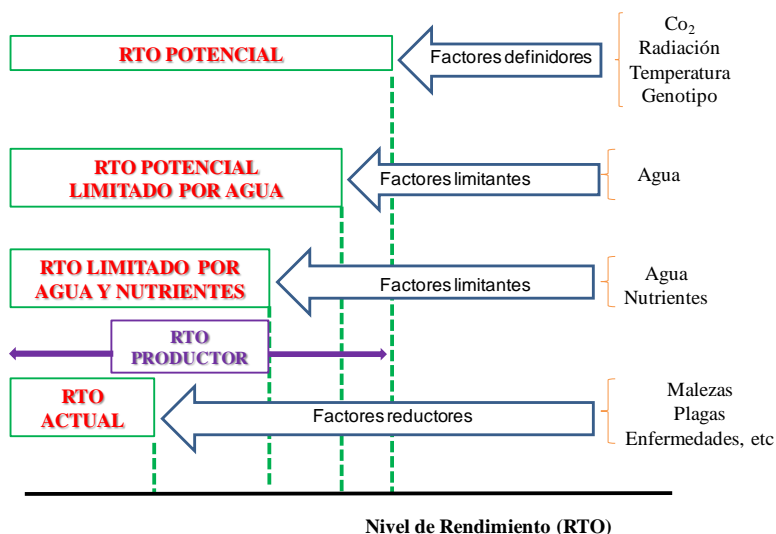
En gran parte de las regiones productivas de Argentina, la siembra de **noviembre** genera máximas alturas a cosecha en la mayoría de las variedades para cada ambiente, y dichas alturas varían según la FS. Por ejemplo, en la Figura 12 se observa la tendencia de altura de los GM con mayores registros entre la 2<sup>da</sup> quincena de octubre y noviembre, y las mayores diferencias de altura entre los GM productivos y estables se manifiesta en las FS tempranas, dicha diferencia se va reduciendo a medida que se va atrasando la siembra. Cabe recordar que cuando el genotipo es sembrado en **ambientes inadecuados**, no desarrollan estructura ni área foliar normal, la altura a madurez a menudo alcanza tan solo la mitad de su normal crecimiento, las vainas más bajas se forman muy cerca de la superficie del suelo y como consecuencia aumenta la dificultad para la cosecha. Esta característica es más propia de los **GM de mayor productividad**.

**Figura 12:** Altura a madurez según GM y FS. (Campaña 2002/03 al 2017/18) Campo Escuela, FCA-UNC. (31°19'LS, 64°13'W)



## GENERACION DE RENDIMIENTO

El control de malezas, plagas y enfermedades, entre otras variables influyen sobre el **rendimiento actual**, y es necesario su adecuado control para lograr una adecuada productividad. En todo sistema productivo es importante cuantificar el rendimiento potencial y conocer la brecha de rendimiento existente con el rendimiento promedio del productor. Se entiende como **rendimiento potencial** al rendimiento de un genotipo, maximizando la disponibilidad de los recursos genéticos y ambientales (factores definidores), sin limitaciones de agua y nutrientes (factores limitantes), sin influencia negativa de plagas, enfermedades, malezas, contaminantes, etc (factores reductores). El rendimiento potencial no es estático ni atemporal, varía



en el espacio (latitud, longitud y altitud de un lugar, con determinados valores promedio de radiación y temperatura) y en el tiempo (nuevos cultivares rinden más en función del progreso genético),

Para planteos de producción en seco, el rendimiento potencial limitado por agua es el objetivo a alcanzar. El **rendimiento obtenido por el productor** será la resultante de la combinación del manejo de los factores limitantes de la producción (agua y nutrientes) y los factores reductores del rendimiento (malezas, plagas, enfermedades) Figura 13.

**Figura 13:** Esquema de niveles de rendimiento en función de los factores reductores, limitantes y definidores.



En general, el impacto o influencia de una práctica de manejo agronómico será mayor, en la medida que la brecha de rendimiento sea mayor, esto ocurre cuando las brechas superan al 20% y se lo puede obtener:

$$= (\text{Rendimiento potencial} - \text{Rendimiento potencial limitado por agua}) / \text{Rendimiento potencial}$$

$$= (\text{Rendimiento potencial} - \text{Rendimiento del productor}) / \text{Rendimiento potencial limitado por agua.}$$

El potencial de rendimiento es un atributo genético condicionado fuertemente por el ambiente, con una mayor influencia a medida que los largos de ciclo se acortan, es decir los **GM menores** tienen **mayor potencial de rendimiento**, pero este atributo es inestable, ya que “exigen” **mejores condiciones ambientales** durante el **período crítico**. La estabilidad en cambio está asociada en forma directa al largo de ciclo, mayor es el número del GM mayor es dicha característica, por lo tanto, los **GM mayores** son los de **mayor estabilidad**.

Del total de recursos que se incorporan al sistema, una parte se destina a órganos vegetativos (raíces, tallos y hojas) y sólo una proporción de la biomasa, representada por el índice de cosecha (**IC**), es lo que finalmente compone el rendimiento. Estos conceptos se resumen en una **ecuación ecofisiológica**, que describe la relación entre generación del rendimiento y la captura y uso de recursos por parte del cultivo:

$$\text{Rendimiento} = \text{Rinc} \times \text{Ei} \times \text{EUR} \times \text{IC}$$

o

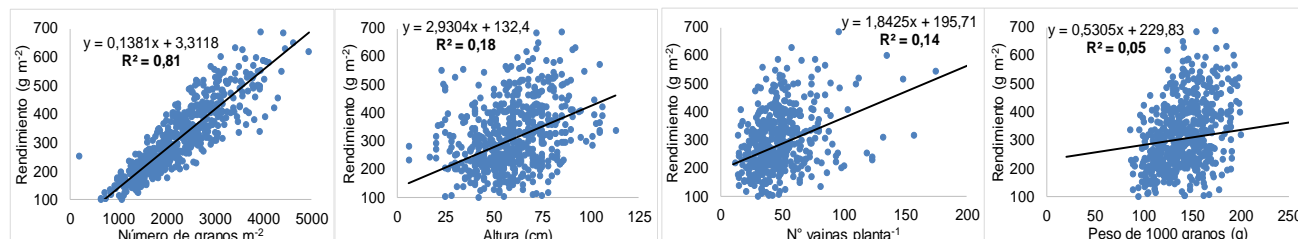
$$\text{Rendimiento} = \text{Biomasa} \times \text{IC}$$

Donde **Rinc** es la radiación incidente o disponible, **Ei** es la eficiencia de interceptación de la radiación fotosintéticamente activa y está condicionada por el IAF; **Eur** es la eficiencia de uso de la radiación y representa la capacidad de la planta de producir biomasa, por cada unidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada. Ambas eficiencias, principalmente **Ei**, está directamente ligada a la disponibilidad de agua y nutrientes, por lo tanto, las prácticas de manejo contribuyen principalmente al aumento de la cantidad de recursos disponibles para las plantas. Por otro lado, existe una **ecuación numérica** para definir el rendimiento y está formada por dos variables:

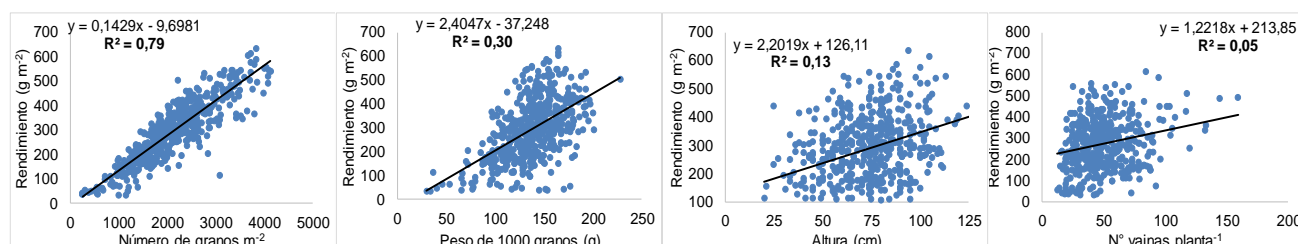
$$\text{Rendimiento} = \text{N}^\circ \text{ de granos por unidad de superficie} \times \text{Peso de 1000 granos (g)}$$

Si bien existen compensaciones entre estos componentes, guardan cierta independencia entre sí, que permite suponer, que un aumento en cualquiera de los dos puede aumentar la productividad de un genotipo. Sin embargo, en un rango amplio de condiciones agronómicas, el **número de granos** es el componente que mejor explica las variaciones en la productividad del cultivo. Por ejemplo, en la Figura 14 se observa que para **los GM productivos** (GM IV largo y GM V corto) donde cercano al 80% de la variación en el rendimiento está explicado por la modificación del número de granos, y las dos variables, en este caso que tienen cierta influencia es la altura final de planta y el número de vainas  $\text{m}^{-2}$ , es muy baja la influencia del peso en el rendimiento en estos GM. En la Figura 15 se observa la influencia sobre la productividad en los **GM estables** (GM V largo y GM VI), sigue siendo el número de granos el que mejor explica la variación en el rendimiento (80%), y en segundo lugar, para estos GM, tiene importancia el peso de los 1000 granos (30%), siendo menor la influencia de la altura final y del número de vainas  $\text{m}^{-2}$ . Está claro que cualquier situación negativa de estrés, en cualquiera de los GM, durante la definición del número de granos, afectara marcadamente en el rendimiento.

y alrededor del 30% por la variación del peso de 1000 granos. Según el momento de ocurrencia de un estrés será el componente más afectado; si ocurriere durante **R3-R6** afecta significativamente el **número de granos**, y si fuere **luego de R6** afecta el **peso de los granos**.

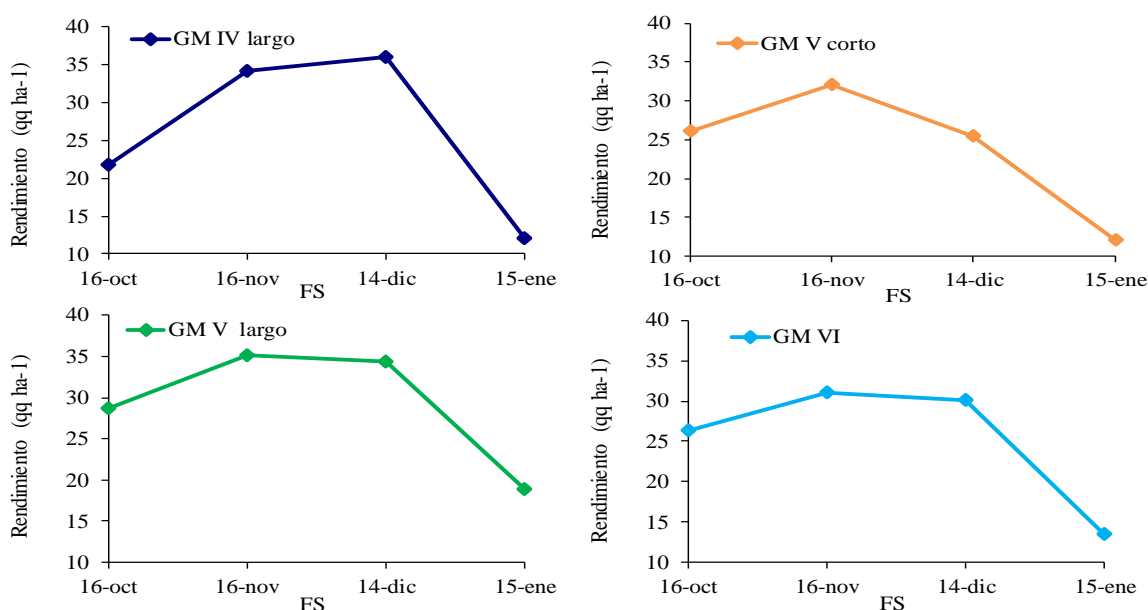


**Figura 14:** Relación del rendimiento en GM productivos con el número de granos, la altura final de planta, el número de vainas m<sup>-2</sup>, y el peso de 1000 granos en el conjunto de datos obtenidos entre las campañas 2002/03 al 2017/18 Campo Escuela, FCA-UNC. (31°19'LS, 64°13'LV)



**Figura 15:** Relación del rendimiento en GM estables con el número de granos, la altura final de planta, el número de vainas m<sup>-2</sup>, y el peso de 1000 granos en el conjunto de datos obtenidos entre las campañas 2002/03 al 2017/18 Campo Escuela, FCA-UNC. (31°19'LS, 64°13'LV)

Como ejemplo de rendimiento se observa el promedio de GM IV largo y GM V corto (productivos) y de GM V largo y GM VI (estables) del ambiente de estudio, donde la **mayor productividad** se manifiesta a mediados de **noviembre** -FS óptima- posterior a esta FS la productividad comienza a disminuir, esto con mayor énfasis en siembras a partir de la 2<sup>da</sup> quincena de diciembre. Con una mejor respuesta en FS óptimas de los GM productivos, si bien se observa una buena performance del GM V largo, hay que evaluar su siembra en ese momento por el riesgo de un alto crecimiento y de vuelco de planta. En FS tardías se observa una mejor respuesta de los GM estables, reflejado en una menor pendiente de caída de rendimiento, principalmente el GM V largo. Figura 16



**Figura 16:** Rendimiento según FS de GM IV largo, GM V corto, GM V largo y GM VI (Campaña 2008/09 al 2017/18) Campo Escuela, FCA-UNC. (31°19'LS, 64°13'LV)

## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Andrade, F. y Cirilo, A. (2000) Fecha de siembra y rendimiento de los cultivos. En: Bases para el manejo del Maíz, el Girasol y la Soja. Eds: F. Andrade y V. Sadras, Buenos Aires. pp 135-150.
- Baigorri, H. (1997) Ecofisiología del cultivo. En: El cultivo de la soja en Argentina. Ed: L. Giorda y H. Baigorri, Córdoba pp 31-49
- Baigorri, H. (2009) Manejo del cultivo de Soja. En: Manual de manejo del cultivo de Soja. 1<sup>ra</sup> edición. Ed: F. Garcia, I. Ciampitti y H. Baigorri, Buenos Aires. pp 17-32.
- Cober, E., Stewart, D. y Voldeng, H. (2001) Photoperiod and temperature responses in earlymaturing, near-isogenic soybean lines. *Crop Sci.* 41, 721-727
- Egli, D. and W, Bruening. 2006. Temporal profiles of pod production and pod set in soybeans. *Europ. J. Agronomy* 24: 11-18.
- Fehr W., Caviness, C., Burmood, D. y Pennington, J. (1971) Stage of development descriptions for soybeans, glycine max (L.) Merrill. *Crop Sci.* 11: 929-93.
- Gardner, F., Pierce, R., and Mitchell, R. (1985) Physiology of crop plants. The Iowa State Univ. Press. Ames, Iowz. First Ed.
- Hicks, D. (1983) Crecimiento y desarrollo En: Fisiología, mejoramiento, cultivo y utilización de la soja. Ed: Norman G. pp 19-43.
- Jones, J., Boote K. and Jagtapl, S. (1991) Soybean development. In: Modelling plant and soil systems. Eds: Hank, J. & Ritchie J. Madison, v.31, ASA, CSSA, SSSA, p. 71-90.
- Kantolic, A., Giménez, P. y De la Fuente E. (2004a) Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad de soja. En: Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo. 2<sup>da</sup> edición. Ed: A. Pascale, Buenos Aires. pp 167-195.
- Kantolic, A. y Satorre, E. (2004b) Elementos centrales de ecofisiología del cultivo de soja. En: Manual práctico para la producción de soja. 1<sup>ra</sup> edición. Ed: M. Díaz Zorita y G. Duarte, Buenos Aires. pp 19-37.
- Miralles, D., Windauer, L. y Gomez, N. (2004) Factores que regulan el desarrollo de los cultivos de granos. En: Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo. 2<sup>da</sup> edición. Ed: A. Pascale, Buenos Aires. pp 60-70.
- Sadras, V., Ferreiro, M., Gutheim, F. y Kantolic, A. 2000. Desarrollo fenológico y su respuesta a temperatura y fotoperíodo. En: Bases para el manejo del Maíz, el Girasol y la Soja. Eds: F. Andrade y V. Sadras, Buenos Aires. pp 19-39.
- Salvagiotti, F. (2016) Rendimientos potenciales y brechas de rendimiento de soja en la campaña 2014-15. Rev. Para mejorar la producción n°54. INTA EEA Oliveros, 2016. Recuperado de: [https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/53738/CONICET\\_Digital\\_Nro.ccf975e8-e815-4a60-925c-1761e7640c7c\\_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/53738/CONICET_Digital_Nro.ccf975e8-e815-4a60-925c-1761e7640c7c_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Shibles, R. y Wheber, C. (1965) Leaf area, solar radiation interception and dry matter production by soybeans *Crop Sci.* 5 (6): 1606-1614
- Soldini, D. (2008) Algunas bases para el manejo del cultivo de soja. Informe de Actualización Técnica n° 10. EEA INTA Marcos Juarez. pp 13-17
- Van ittersum, M., Cassman K.G., Grassini, P., Wolf, J. Tittonell, P., Hochman, Z. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance. *A Review. Field Crops Research.* 143, 4-17.
- Vega, Claudia y G. Salas. 2012. Bases para el manejo del cultivo de soja. En: El Cultivo de soja en Argentina. Buenos Aires. Eds: Baigorri H. (in memorian) y Salado Navarro. pp 147-162.



Elaborado por: Ing. Agr. (Esp) Rubén Toledo. Cereales y Oleaginosas, FCA, UNC  
Correo: [rtoledo@agro.unc.edu.ar](mailto:rtoledo@agro.unc.edu.ar)

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons. Atribución 2.5 Argentina