



SOJA: ADAPTACIÓN DE CICLOS DE MADUREZ A DIFERENTES ÉPOCAS DE SIEMBRA BAJO CONDICIONES DE RIEGO

Ing. Agr. Alberto Fassio
Ing. Agr. (Mag.) Osvaldo Pérez
Tec. Agr. Wilfredo Ibáñez*
Ing. Agr. (MSc.) Sergio Ceretta
Carlos Rabaza
Glenda Vergara

Programa Nacional de Cultivos de Secano
* Consultor en Bioestadística

ANTECEDENTES

El manejo de cultivos comprende a aquellas modificaciones que el hombre realiza en un ambiente determinado procurando alcanzar el rendimiento potencial. En este sentido, la siembra de los cultivos en su correcto rango de fechas de siembra, para una región dada, es el factor de manejo más importante después del riego.

En el caso del cultivo de soja en Uruguay, es de suma importancia conocer los grupos de madurez (GM) que mejor se adaptan al rango posible de fechas de siembra. Esto es importante porque no siempre los cultivos se pueden sembrar en su rango de fechas óptimo. Casos típicos ocurren, por ejemplo, cuando por falta o exceso de humedad en el suelo las siembras se poster-

gan o porque parte del área se siembra después de un cultivo de invierno.

Para un ambiente dado, el rango óptimo de fechas de siembra se define según:

- Temperatura del suelo y del aire
- Longitud del día o fotoperiodo
- Disponibilidad de agua durante el ciclo del cultivo, sobre todo durante el período crítico.

De los tres aspectos mencionados, para las condiciones de la región, el agua de lluvia es el principal factor determinante del rendimiento en grano. Esto es debido a que los suelos agrícolas tienen una capacidad de almacenaje de agua inferior a la que el cultivo de soja

consume durante su ciclo (Sawchik y Ceretta, 2005). Por lo tanto, el éxito del cultivo depende en gran medida de la cantidad y oportunidad de las precipitaciones que ocurren durante su ciclo, siendo este un fenómeno de escasa predictibilidad. De este modo, el riego suplementario es el factor de manejo que más incide en el incremento de rendimiento del cultivo de soja (Fassio *et al.*, 2016).

De un estudio de caracterización agroclimático de Uruguay utilizando un modelo de balance hídrico (Castaño *et al.*, 2011), se desprende que el agua disponible en los suelos presenta una gran variabilidad interanual principalmente debido a la variación en la ocurrencia y volumen de las precipitaciones. Considerando que los mismos autores señalan que la variabilidad es mayor durante el verano, el riego es un factor de manejo fundamental a tener en cuenta para maximizar y estabilizar la producción de los cultivos estivales.

Las bajas temperaturas definen los límites de la estación o “ventana” de crecimiento, periodo en que se debe hacer coincidir todo el ciclo del cultivo. Es durante el mismo que ocurren las condiciones óptimas de crecimiento para una región dada, principalmente temperatura y fotoperiodo. En el caso de la temperatura, para lograr el número máximo de flores por planta, el rango óptimo oscila entre 22 y 26 °C durante el día y entre 18 y 22 °C durante la noche (Thomas y Raper, 1983). Tomando como referencia a la línea del Ecuador (latitud 0°), el fotoperiodo se alarga durante el verano y se acorta durante el invierno cuanto más nos alejamos hacia los polos.

La soja se define como una especie de día corto con respuesta cuantitativa al largo de los días (Cregan y Hartwig, 1984). Cada cultivar tiene un fotoperiodo crítico por debajo del cual el lapso entre la emergencia y la floración no disminuye en la mayoría del germoplasma. Por el contrario, fotoperiodos por encima del crítico demoran significativamente el periodo emergencia-floración. No obstante, los distintos genotipos de soja exhiben un rango muy amplio de sensibilidad al fotoperiodo: genotipos insensibles; genotipos adaptados a latitudes altas que florecen con fotoperiodos muy largos y genotipos adaptados a latitudes bajas, que florecen con fotoperiodos más cortos (Inouye *et al.*, 1979). Entre estas respuestas foto-periódicas diferentes existen situaciones intermedias que a su vez interactúan con la temperatura, lo que permite agrupar a los genotipos en diferentes GM según su comportamiento foto-térmico.

La clasificación de GM fue originada en los EE.UU., la cual divide a los cultivares en los siguientes grupos: 000, 00, 0, I, II y sucesivamente hasta el grupo X. El grupo 000 es tolerante a las bajas temperaturas y prácticamente indiferente al fotoperiodo, se lo siembra en latitudes altas como las de Canadá y el norte de China (latitud 45°). En el otro extremo, los grupos más altos se siembran en latitudes próximas al Ecuador porque requieren de días más cortos para inducir la floración.

Cada GM está adaptado a una franja de latitudes, si un cultivar de un determinado GM se siembra en una latitud más alta que la de su rango de adaptación óptimo, su largo de ciclo será mayor porque el fotoperiodo será también mayor. Por el contrario, sembrar ese mismo cultivar en latitudes más bajas lo expondrá a fotoperiodos más cortos que darán como resultado plantas de menor tamaño, sobre todo en aquellos cultivares de crecimiento indeterminado (Inouye *et al.*, 1979; Bodrero *et al.*, 1997). En los cultivares indeterminados, la altura y el número de nudos se reducen cuando se atrasa la fecha de siembra; no obstante, debido también a la evolución del fotoperiodo, lo mismo sucede cuando la fecha de siembra se adelanta demasiado.

A los diferentes cultivares de soja se los clasifica según el tipo de crecimiento en variedades determinadas, semi-determinadas e indeterminadas (Bernard, 1972). Los cultivares de crecimiento determinado detienen la formación de nudos en el tallo principal, por lo que su crecimiento en altura cesa poco tiempo después de iniciada la floración. Los cultivares de crecimiento indeterminado, en cambio, luego de la floración tienen una mayor superposición entre los crecimientos vegetativo y reproductivo, lo que determina que la planta siga creciendo en altura. No obstante, luego de la floración, las variedades determinadas y en menor medida las variedades semi-determinadas, también siguen creciendo vegetativamente, pero no en el tallo principal sino en las ramas. Este tipo de crecimiento, que comúnmente se denomina ramificación, es la razón de que a igual GM los cultivares indeterminados sean generalmente más altos que los cultivares determinados.



Los genotipos mejor adaptados al rango de latitudes y fechas de siembra de Uruguay, son los pertenecientes a los GM IV, V, VI y VII. Todos los cultivares dentro de esos GM pueden agruparse en tres ciclos: corto ($GM < 5,4$), medio ($5,4 \leq GM \leq 6,2$), y largo ($GM > 6,2$).

Un error en la elección del ciclo del cultivar para una región y fecha de siembra dada, puede determinar pérdidas de rendimiento significativas. Cuando se siembran cultivares de ciclo más corto que lo recomendado, reducen su crecimiento y por lo tanto también su rendimiento. Por el contrario, si se siembran cultivares de ciclo más largo que lo recomendado se retrasa demasiado el inicio del período reproductivo, lo que conlleva a una reducción de la tasa de llenado de grano debido a menores temperaturas y a una menor intercepción de radiación por unidad de tiempo y espacio. El atraso de la madurez fisiológica y de cosecha aumenta la probabilidad de que el rendimiento sea afectado, en la mayoría de los casos por humedad ambiente, heladas y condiciones de piso.

Un error en la elección del ciclo del cultivar para una región y fecha de siembra dada, puede determinar pérdidas de rendimiento significativas. Un cultivar definido como de ciclo medio para una región dada del hemisferio sur, se comportará como de ciclo corto si se lo siembra al norte de esa región y se comportará como de ciclo largo si se lo siembra al sur.

Durante el ciclo de cualquier cultivo ocurren dos tipos de procesos simultáneos e interdependientes: 1) el crecimiento, que involucra el aumento de tamaño y 2) el desarrollo, que involucra a la sucesiva generación de estructuras vegetativas y reproductivas que definen a los distintos estadios fenológicos.

Como ocurre con otros cultivos, el crecimiento y desarrollo fenológico de la soja difiere según la variedad y según las condiciones ambientales imperantes, principalmente temperatura y fotoperíodo (Sadras *et al.*, 2000). Diversos autores señalan que el período crítico de la soja sucede durante el período de crecimiento de vainas y granos, período R3-R6 según la escala de Fehr y Caviness (1977).

El éxito de un cultivar depende de hacer coincidir los requerimientos de sus diferentes etapas fenológicas y fundamentalmente de su período crítico (R3-R6), con la mejor oferta del ambiente, principalmente radiación, temperatura y agua.

CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO

El objetivo del trabajo fue estudiar cómo los requerimientos foto-térmicos de dos ciclos de madurez, corto y largo, inciden en diferentes épocas de siembra.

Se realizaron cuatro experimentos en condiciones de campo en la estación experimental INIA La Estanzuela (Uruguay), todos bajo régimen de riego con el objetivo de neutralizar el efecto más importante y no manejable que incide en los cultivos de verano: el agua disponible para el cultivo. Los experimentos se sembraron en cuatro fechas de siembra: 21 de octubre, 7 de noviembre, 28 de noviembre y 15 de diciembre de 2014. El diseño experimental para cada experimento fue de bloques al azar con seis repeticiones y cuatro cultivares, dos definidos como de ciclo corto para Uruguay (GM III y IV) y dos definidos como de ciclo largo (ambos de GM VII).

La siembra de los cultivares, tolerantes al herbicida glifosato y de amplio uso comercial, se realizó a 0,20 m de distancia entre hileras y entre plantas. Considerando el nivel de fósforo inicial disponible, los experimentos



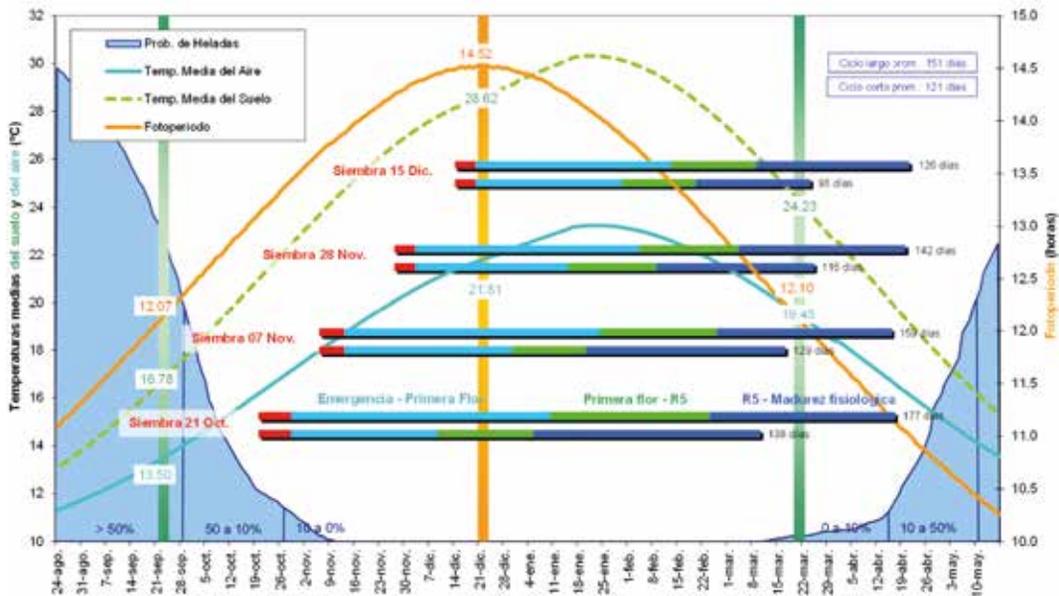


Figura 1 - Promedios históricos de variables climáticas (en base a GRAS, INIA) y fenología media de dos cultivares de soja de ciclo corto y dos de ciclo largo, sembrados en cuatro épocas de siembra en La Estanzuela, Uruguay (año 2014/2015).

se fertilizaron con una cantidad de fósforo que excediera el umbral de respuesta. La semilla fue inoculada de acuerdo a lo recomendado por el fabricante. Se realizaron aplicaciones químicas de rutina para el control de malezas e insectos. Los riegos se realizaron periódicamente antes de que el porcentaje de agua disponible llegara a 50 % del perfil. Pevio a la cosecha se determinó fecha de emergencia (VE); de primera flor (R1); comienzo de llenado de grano (R5) y madurez fisiológica plena (R8), según Fehr y Caviness (1977). Luego de la cosecha se determinó el rendimiento de grano corregido a 13 % de humedad.

RESULTADOS

La Figura 1 muestra cuatro de los estadios de desarrollo de la soja para cuatro épocas de siembra, donde se utilizó el promedio de los dos cultivares de ciclo corto y el promedio de los dos cultivares de ciclo largo. La ubicación temporal de los diferentes estadios fenológicos para cada época de siembra y ciclo de madurez, indican cómo el crecimiento y el desarrollo se relacionan con los factores climáticos más importantes: temperatura, fotoperiodo y probabilidad de heladas. Los resultados de estos experimentos formaron parte de los insumos utilizados para la confección de la predicción de los estados fenológicos de soja, publicada en el sitio web de INIA (Fassio *et al.*, 2013).

El ciclo del cultivo se reduce en la medida que las siembras se retrasan, esto es debido a la combinación de fotoperiodos y temperaturas como lo muestra la Figura 1 (línea naranja y celeste, respectivamente).

En fechas de siembra muy tardías, el periodo entre floración y llenado de grano (R1-R5) intercepta una menor radiación por una reducción en días y horas de luz por día. Como se mencionó anteriormente, esta respuesta mayormente se relaciona con que la soja es una planta definida como de día corto con respuesta cuantitativa al largo de los días.

En el Cuadro 1 se presenta la descomposición de la varianza del rendimiento expresada en porcentaje, para los ciclos contrastantes corto y largo. Se observa que los efectos principales época de siembra y ciclo de madurez explican el 26,5 % y 0 % de la variación del rendimiento, respectivamente. La varianza de 0 % indica que no hay un efecto del ciclo de madurez que sea consistente a través de las épocas de siembra; de este modo, toda la varianza relacionada al ciclo de madurez es expresada a través de la interacción con la fecha de siembra. Dicha interacción explica el 51,3 %

Cuadro 1 - Componentes de la varianza del rendimiento de grano de soja expresados como % de la varianza total observada.

Componentes de la varianza	%
Bloque (época de siembra)	9,6
Época de siembra	26,4
Ciclo	0,0
Época × Ciclo	51,3
Residual	12,7
Total	100,0

El ciclo de madurez debe elegirse en función de la época de siembra

de la variación del rendimiento, indicando con ello que los ciclos de madurez tienen una adaptación específica a determinado rango de fechas de siembra.

En el Cuadro 2 se muestran contrastes de rendimiento entre las cuatro épocas de siembra de los cuatro cultivos estudiados (dos cortos y dos largos). Se observa que no hubo diferencias significativas de rendimiento entre los primeros contrastes para los cultivos de ciclo corto, para los mismos tampoco hubieron diferencias significativas entre las siembras del 7 y el 28 de noviembre. En cambio, en los restantes contrastes e incluidos todos los de los cultivos de ciclo largo, se observan diferencias significativas que van de 430 kg/ha a un máximo de 2741 kg/ha, en este último caso a favor de la siembra más temprana respecto a la más tardía.

Cuadro 2 - Diferencias de rendimiento entre cuatro épocas de siembra para soja de ciclo corto y largo.

Fechas	Ciclo Corto		Ciclo Largo	
	Diferencias (kg/ha)			
21 Oct vs 7 Nov	-105	ns	430	**
21 Oct vs 28 Nov	-310	ns	2161	**
21 Oct vs 15 Dic	775	**	2741	**
7 Nov vs 28 Nov	-205	ns	1731	**
7 Nov vs 15 Dic	880	**	2311	**
28 Nov vs 15 Dic	1085	**	580	**

** diferencias estadísticamente significativas (P<0,01). ns, diferencias no significativas.

En la Figura 2, se muestran los rendimientos promedio observados de dos cultivos para cada ciclo de madurez (corto y largo). En los cultivos de ciclo corto el rendimiento presenta una respuesta de tipo cuadrática en función de la época de siembra (R²=0,84); en cambio, en los de ciclo largo la respuesta es de tipo lineal (R²=0,96). En los de ciclo largo los rendimientos disminuyen desde mediados de octubre, mientras que en los de ciclo corto los rendimientos son mayores entre mediados de octubre y fines de noviembre. Comparando ambos ciclos, para siembras de octubre los cultivos de ciclo largo obtienen mayores rendimientos, mientras que para siembras tardías los de ciclo corto rinden más que los cultivos de ciclo largo.

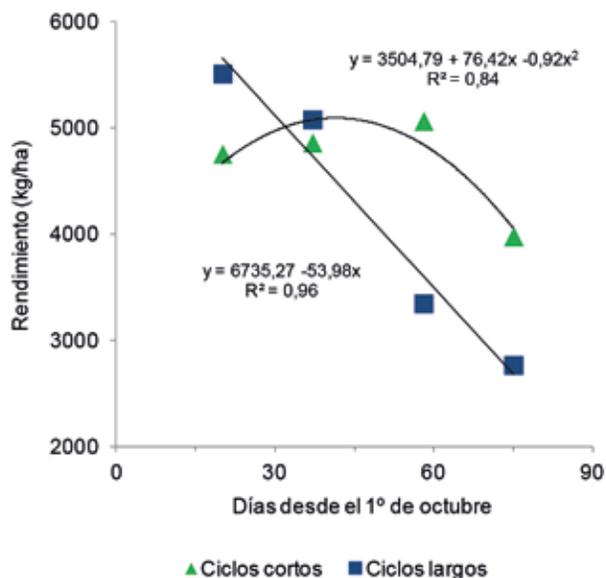


Figura 2 - Rendimientos promedio de cuatro cultivos de soja agrupados en dos ciclos de madurez contrastantes (corto y largo), obtenidos según época de siembra en la localidad de La Estanzuela (Uruguay).

Los rendimientos observados en la Figura 2 se relacionan con la ubicación temporal en que ocurren las etapas fenológicas observadas en la Figura 1. En situaciones de producción donde el agua no es limitante para la expresión del rendimiento, los cultivos que logran desarrollar un óptimo crecimiento vegetativo y ubicar su periodo crítico (R3-R6) cuando la oferta de radiación solar es mayor, serán aquellos capaces de producir el mayor número de vainas y de granos por vaina en las mejores condiciones para un buen llenado de grano.





En siembras tardías, con cultivares de ciclo largo, el período de llenado de grano se ubica más hacia el otoño, recibiendo el cultivo menor radiación solar y temperatura comparado con uno sembrado temprano (Figura 1). Coincidiendo con Cregan y Hartwig (1984) en relación con el fotoperiodo crítico, el atraso de la fecha de siembra provocó una reducción del largo de ciclo relativamente mayor a mayor ciclo del cultivar. En cambio, cuando en fechas tempranas se siembran cultivares de ciclo más corto (de fotoperiodo crítico mayor), el crecimiento vegetativo se reduce, se anticipa el inicio del periodo reproductivo y también la finalización del ciclo, obteniendo en consecuencia rendimientos menores (Figura 2).

CONCLUSIONES

En condiciones de bienestar hídrico, el factor más importante en el rendimiento de soja fue la interacción ciclo de madurez por época de siembra (51,3%), la cual casi duplicó la magnitud del efecto época de siembra (26,4%). Esto demostraría que el ciclo de madurez debe elegirse en función de la época de siembra. Los cultivares de ciclo medio podrían estar dando una respuesta intermedia entre los cultivares cortos y largos, ganando rendimiento en relación con los de ciclo largo sembrados muy tarde o con los cortos sembrados muy temprano.

En cultivos comerciales de secano, una posibilidad es no concentrar toda el área de siembra en una misma época para mitigar el riesgo de que durante el periodo crítico ocurran deficiencias hídricas. La consigna es escoger siempre para cada fecha de siembra el ciclo de madurez más adecuado.

BIBLIOGRAFÍA

Bernard RL. 1972. Two Genes Affecting Stem Termination in Soybeans. *Crop Science*, 12 (2): 235-239.

Bodrero ML, Morandi EN, Martignone RA, Baigorri HEJ, Andrade FH, Meira S, Guevara E. 1997. Ecofisiología del Cultivo. En: Gior-

da LM, Baigorri HEJ. (Eds.). *El Cultivo de la Soja en Argentina*. INTA C. R. Córdoba. San Juan, Argentina: Editar. 29-50.

Castañó JP, Giménez A, Ceroni M, Furest J, Aunchayna R. 2011. Caracterización Agroclimática del Uruguay 1980-2009. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Serie Técnica No. 193. Montevideo, Uruguay: Hemisferio Sur. 34 p.

Cregan PB, Hartwig EE. 1984. Characterization of Flowering Response to Photoperiod in Diverse Soybean Genotypes. *Crop Science*, 24 (4): 659-662.

Fassio A, Ibáñez W, Rodríguez M, Ceretta S, Pérez O, Rabaza C, Vergara G, Cesán A, Restaino E. 2013. Predicción de Estados Fenológicos para Soja, Girasol, Maíz, Sorgo Granífero, Forrajero, Dulce y Silero. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). [En línea] 9 febrero 2017. <http://www.inia.uy/gras/Alertas-y-herramientas/Utilidades#>

Fassio A, Pérez O, Ibáñez W, Rabaza C, Vergara G, Sawchik J, Schusselin M, Silva L. 2016. Soja: Rendimiento con y sin Riego a Diferentes Poblaciones de Siembra. *Revista INIA Uruguay*, N° 47: 22-26.

Fehr WR, Caviness CE. 1977. Stages of Soybean Development. Cooperative Extension Service, Agriculture and Home Economics Experiment Station, Iowa State University, Ames, Iowa.

Inouye J, Shanmugasundaram S, Masuyama T. 1979. Effects of Temperature and Daylength on the Flowering of Some Photo-Insensitive Soybean Varieties. *Japanese Journal of Tropical Agriculture*, 22 (4): 167-171.

Sadras VO, Ferreiro M, Gutheim F, Kantolic AG. 2000. Desarrollo Fenológico y su Respuesta a Temperatura y Fotoperiodo. En: Andrade FH, Sadras VO. (Eds.). *Bases para el Manejo del Maíz, el Girasol y la Soja*. INTA. Bs As, Argentina: Editorial Médica Panamericana S.A. 29-60.

Thomas JF, Raper (Jr) CD. 1983. Photoperiod and Temperature Regulation of Floral Initiation and Anthesis in Soya Bean. *Annals of Botany*, 51 (4): 481-489.

Sawchik J, Ceretta S. 2005. Consumo de Agua por Sojas de Distintos Grupos de Madurez en Diferentes Ambientes de Producción (Calmer-Ausid-Inia). En: *Jornada Técnica de Cultivos de Verano, Serie Actividades de Difusión N° 417*. La Estanzuela, Uruguay: INIA. 41-51.

