

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

“Trabajo Final Presentado para Optar al Grado de Ingeniero
Agrónomo”

**FECHA DE SIEMBRA TARDÍA Y CULTIVARES DE
SOJA DE DIFERENTES GRUPOS DE MADUREZ**

Alumno: Garófolo, Guillermo Germán
DNI: 27598855

Director: Giayetto, Oscar

Río Cuarto-Córdoba

SEPTIEMBRE, 2005

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: **Fecha de siembra tardía y cultivares de soja de diferentes grupos de madurez**

Autor: **Guillermo Germán Garofolo**

Director: **Ing. Agr. M.Sc. Oscar Giayetto**

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

Ing. Agr. Castillo, Carlos Alberto _____

Ing. Agr. Dra. Fernández, Elena M. _____

Ing. Agr. M.Sc. Cerioni, Guillermo A. _____

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____.

Secretario Académico

ÍNDICE DE TEXTOS

	Página
RESUMEN	V
SUMMARY	VI
INTRODUCCIÓN	1
1. Crecimiento vegetativo	2
1.1. Parte aérea	2
1.2. Hábitos de crecimiento	2
1.3. Ciclo	3
1.4. Crecimiento reproductivo	3
1.5. Acumulación y partición de la materia seca	4
1.6. Rendimiento	4
1.7. Período crítico	6
2. Factores que afectan el desarrollo	6
2.1 Fotoperíodo	6
2.2. Temperatura	7
3. Efecto de la fecha de siembra sobre el desarrollo del cultivo	7
3.1. Relaciones entre la fecha de siembra y el crecimiento del cultivo	7
HIPÓTESIS	8
OBJETIVOS	9
1. General	9
2. Específicos	9
MATERIALES Y MÉTODOS	10
1. Sitio experimental y tratamientos	10
2. Evaluación y mediciones	10
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	12
1. Condiciones meteorológicas y fenología de los cultivares	12
2. Crecimiento	14
3. Componentes del rendimiento y producción de semillas	17
CONCLUSIONES	20
BIBLIOGRAFÍA	21

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Etapas fenológicas del cultivo de soja.	1
Cuadro 2. Tasa de crecimiento del cultivo (TCC) durante las etapas reproductivas de las variedades A3901 RG y A6019 RG.	16
Cuadro 3. Componentes directos e indirectos del rendimiento y producción de semillas por hectárea de las variedades A3901 RG y A6019 RG.	17

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Condiciones meteorológicas durante la estación de crecimiento de la soja.	12
Figura 2. Duración en días de las etapas fenológicas de las variedades A3901 RG y A6019 RG en Río Cuarto.	12
Figura 3. Biomasa aérea total por superficie acumulada en las variedades A3901 RG y A6019 RG.	15
Figura 4. Biomasa aérea total por superficie acumulada por las variedades A3901 RG y A6019 RG.	16
Figura 5. Variación del número de frutos por planta durante el desarrollo reproductivo (R1-R8) en las variedades A6019 RG y A3901 RG.	17

RESUMEN

El presente estudio se realizó en el campo experimental de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC), sobre un suelo Hapludol típico, familia franco-arenosa con relieve normal a subnormal. El objetivo fue evaluar el comportamiento de los cultivares de soja A3901 RG y A6019 RG de los GM III y VI respectivamente, sembrados en fecha tardía para dicha región (27 de diciembre). Se evaluó la respuesta fenológica de ambas variedades, su crecimiento a través de la producción y acumulación de biomasa aérea y la cuantificación de los componentes del rendimiento y la producción de semillas. Los datos recogidos y analizados permitieron verificar el efecto de la fecha de siembra sobre la duración del ciclo y las interacciones entre procesos de crecimiento y definiciones del rendimiento y los factores ambientales derivados de esos cambios. La variedad A6019 RG produjo un rendimiento de semillas superior al del cultivar A3901 RG, justificado en una mayor producción de biomasa aérea en todos los órganos y valores de IAF superiores al umbral crítico en el estado fenológico R5. Aunque, las condiciones ambientales durante el llenado de los granos favorecieron a la variedad de GM III, la mayor biomasa aérea acumulada por la variedad A6019 RG en R5, compensó los menores niveles de temperatura y radiación que esta variedad recibió en dicho periodo, resultando en un mayor peso individual de los granos.

Palabras claves: soja, grupo de madurez, siembra tardía, rendimiento, condiciones ambientales.

SUMMARY

This study was carried out in an experimental field of the Agronomy and Veterinary Faculty in the National University of Río Cuarto (UNRC), on a typical Hapludol loam sandy soil with a normal to subnormal relieve. The agronomic behavior of RG A3901 and RG A6019 cultivars (maturity groups III and VI, respectively), late planted for this region (December, 27th) was evaluated. The aim of the study was to evaluate the phenological responses of cultivars, their aerial biomass production and accumulation and quantify the yield components and seed production. The collected and analyzed data allowed us to verify the effect of delayed planting date on duration of crop growth season and the interactions among growth processes and yield definition and environmental factors. Seed yield of RG A6019 variety was greater than the shorter one (RG A3901) due to a higher production of aerial biomass in all the organs and IAF values over the critical level in R5 stage. Although the environmental conditions during seed filling period were more favorable to the MG III variety, the largest aerial biomass accumulated by the A6019 cultivar allowed it to compensate the lower levels of temperature and radiation received during that period, resulting in a higher individual weight of seeds.

Key words: soybean, maturity group, delayed planting, yield, environmental conditions.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la soja constituye el principal producto de la agricultura actual en Argentina, experimentando importantes cambios, permitiendo el arribo de esta oleaginosa a regiones impensadas en el pasado cercano. Esas modificaciones tienen origen en la confluencia de factores tecnológicos tales como la siembra directa, los cultivares tolerantes a herbicida (Glifosato) y el manejo de los cultivares.

Los cambios, en este último aspecto (manejo de cultivares), residen en la diversidad de genotipos de los diferentes grupos de madurez (GM) y el manejo de un amplio rango de fechas de siembra que posibilitan aumentar la expresión de los ambientes en los cuales se realiza el cultivo.

La soja (*Glycine max* (L.) Merrill), es una planta anual de la familia de las Leguminosas y originaria de China y el SE asiático. Presenta un conjunto de características morfofisiológicas que la diferencian de otros cultivos muy difundidos a escala mundial. Entre ellas cabe mencionar:

- Importante respuesta fotoperiódica
- Alta plasticidad reproductiva
- Producción de semillas con elevados contenidos de proteína y de aceite
- Diferentes hábitos de crecimiento

El desarrollo de la planta comprende cuatro etapas fenológicas: embrional, juvenil, de madurez y senescencia. Según la clasificación propuesta por Fehr y Caviness (1977), que emplea dos escalas, una para los estados vegetativos y otra para los reproductivos, es posible distinguir las siguientes etapas (Cuadro 1).

Cuadro 1: Etapas fenológicas del cultivo de soja.

ESTADOS VEGETATIVOS	ESTADOS REPRODUCTIVOS
VE Emergencia	R1 Inicio de Floración
VC Cotiledonar	R2 Plenitud de Floración
V1 Primer Nudo	R3 Inicio de Formación de Vainas
V2 Segundo Nudo	R4 Plenitud de Formación de Vainas
V3 Tercer Nudo	R5 Inicio de Llenado de Granos
Vn (n) Nudos	R6 Plenitud de Llenado de Granos
	R7 Inicio de Madurez
	R8 Plenitud de Madurez

Cada etapa reproductiva puede, a su vez, dividirse en subetapas que se indican en forma decimal, por ejemplo R 5,5 indica la etapa intermedia del período de llenado de las semillas.

1. Crecimiento Vegetativo

El crecimiento vegetativo comienza con la germinación de la semilla y continua hasta que finaliza la formación de tallos, hojas y raíces, aproximadamente en la etapa R5, cuando comienza el llenado de granos (Egli *et al.*, 1985). La proporción de crecimiento vegetativo que se produce después de la etapa R1, depende del hábito de crecimiento del cultivar siendo mayor en los de hábito indeterminado.

1.1. Parte aérea

La cantidad de nudos producidos en el tallo principal a la madurez depende de la longitud del ciclo y del hábito de crecimiento del cultivar, y su expresión está condicionada -entre otros factores relacionados con el crecimiento- por la latitud, la época y la densidad de siembra.(Quijano *et al.*, 1996).

1.2. Hábitos de crecimiento

Bernard (1972) describió tres hábitos de crecimiento del tallo principal y de iniciación floral en soja a saber *determinado*, *indeterminado* y *semideterminado*, los cuales están controlados genéticamente, en los cultivares de crecimiento determinado el tallo principal detiene la formación de nudos y, en consecuencia su crecimiento en altura, poco después de iniciada la floración (R1).

En aquellos de crecimiento indeterminado, luego de iniciada la floración continua la formación de nudos sobre el tallo principal, su altura puede ser considerablemente mayor que la de los cultivares determinados de igual longitud de ciclo y fecha de floración. El número de nudos producidos después de la floración puede ser el doble o superior, dependiendo fundamentalmente del grupo de madurez del cultivar, la latitud y la fecha de siembra. Después de la floración, el crecimiento vegetativo continúa por varias semanas. En estos cultivares la floración comienza en la porción inferior del tallo principal y progresa en forma ascendente a medida que se produce el alargamiento de los entrenudos superiores, pudiendo presentar frutos totalmente desarrollados en los nudos basales y otros recién formados en el ápice (Egli y Legget, 1973).

Una característica importante de los genotipos de hábito de crecimiento indeterminado es que puede haber varios días de diferencia entre el momento de formación de los frutos basales respecto de los apicales. A pesar de ello, todos ellos alcanzan la madurez en el mismo momento debido a que las semillas de los últimos frutos formados tienen tasas de crecimiento más altas (Gbikpi y Crookston, 1981).

1.3. Ciclo

Debido a la respuesta fotoperiódica de la soja, los cambios en latitud modifican la duración del ciclo de cada cultivar. En consecuencia, existe un rango de Grupos de Madurez (GM) adaptados a cada región que funcionan como cultivares de ciclo corto, intermedio y largo. Esta relación entre GM y latitud puede verse alterada cuando para una misma faja latitudinal existen diferencias topográficas importantes que pueden modificar el régimen de temperatura y, con ello, el período libre de heladas. Un error en la elección del GM puede producir pérdidas de rendimiento variables de acuerdo a las condiciones climáticas y edáficas. (Thomas y Raper, 1983).

Cuando se siembran cultivares de ciclo más corto que los recomendados para una región determinada, los mismos reducen su crecimiento y rendimiento. Si se siembran cultivares de ciclo más largo que los recomendados, se retrasa demasiado el inicio de la fructificación, aumentando el riesgo de heladas tardías.

1.4. Crecimiento Reproductivo

Los cultivares indeterminados presentan inflorescencias más grandes en los nudos inferiores del tallo, los que disminuyen hacia la parte apical y en las ramificaciones. Por el contrario, en los cultivares determinados el tamaño de los racimos se incrementa hacia la zona apical de la planta. No todos los pimpollos completan su desarrollo hasta llegar a producir un fruto maduro. El aborto de flores y frutos pequeños alcanza valores que varían entre 20 y 80 % (Martignone, *et al* 1987) y una importante proporción de primordios florales mueren antes de la apertura floral y muchas legumbres abortan antes de alcanzar su tamaño final (Kantolic y Slafer, 2001).

Se sabe que la disminución del flujo diario de asimilados desde las hojas hacia los órganos reproductivos es una de las principales causas de mortandad de flores y frutos jóvenes (Egli, 1998).

Debido a la fuerte dependencia del número de frutos por nudo respecto a la tasa de crecimiento del cultivo, este subcomponente del rendimiento muestra una marcada variabilidad frente a cambios en el ambiente (Board *et al.*, 1999).

1.5. Acumulación y partición de la materia seca

La acumulación de materia seca al principio del ciclo es lenta y se hace máxima, generalmente, desde el comienzo de la floración, durante el establecimiento de los frutos hasta la primera parte del llenado de los granos.

La etapa de acumulación de materia seca máxima y constante se produce inicialmente sobre las estructuras vegetativas (hojas, tallos, pecíolos y raíces) y luego gradualmente cambia hacia los frutos y las semillas. Poco después de la etapa R5,5 se alcanzan los valores máximos de materia seca vegetativa. (Shibles y Weber, 1965).

La tasa de crecimiento del cultivo (TCC), es el índice más significativo para caracterizar el crecimiento del canopeo e indica la acumulación de materia seca por unidad de superficie y por unidad de tiempo. La TCC está estrechamente relacionada con la interceptación de radiación solar, la que a su vez depende del índice de área foliar (IAF) (Shibles y Weber, 1965).

Al valor mínimo de IAF con el cual el canopeo alcanza su máxima TCC, que ocurre cuando se intercepta el 95 % de la radiación solar, se lo denomina IAF crítico. Valores inferiores al IAF crítico (3.5-4.0) determinan una disminución en la eficiencia del uso de la radiación, reduciendo la TCC y el rendimiento. Con valores de IAF superiores al valor crítico no se obtienen incrementos significativos del rendimiento (Shibles y Weber, 1966).

La partición de asimilados entre las distintas partes de la planta afecta directamente el rendimiento del cultivo, determinando la proporción que se acumula en los órganos cosechables (semillas) y no cosechables (raíces, tallos y hojas). Dicha proporción se expresa mediante el índice de cosecha (IC). El IC es afectado por factores ambientales, como la disponibilidad hídrica y el fotoperíodo, que interactúan con el genotipo (Morandi *et al.*, 1991).

1.6. Rendimiento

La magnitud de los componentes del rendimiento varía con el genotipo, el ambiente y las prácticas de manejo del cultivo afectando, en consecuencia, el rendimiento final.

Cada fruto que se produce requiere asimilados para sobrevivir y compete por ello con los demás frutos, por lo que la determinación del número de granos está mayormente limitada por la fuente y no por la cantidad de destinos iniciados. Condiciones que optimicen la tasa de crecimiento del cultivo durante el período crítico -que refleja en parte su ritmo fotosintético- tienden a maximizar el número de frutos (Board y Tan, 1995) y de granos (Egli y Zhen-Wen 1991).

La TCC no es el único atributo que regula la fijación del número de granos, ya que si se siembran variedades de ciclo muy corto a una densidad que garantice lograr plena cobertura al inicio del período crítico, no logran establecer un número de granos superior al de variedades más largas, que ubica su período crítico bajo condiciones de menor radiación. En las variedades precoces la duración del período es generalmente menor y esto parece limitar su capacidad de formar granos, apoyando la hipótesis de que si el período en el que se establecen los granos es más prolongado, más semillas serán cosechadas al final del ciclo. La mayor duración de la etapa permite la captura de más radiación y, consecuentemente, se logran reducir las limitaciones por fuente (Kantolic y Slafer, 2001).

Uno o más de los granos de un fruto pueden abortar antes de ingresar en su fase de llenado, modificando el número de granos logrado por fruto. Sin embargo, éste es uno de los subcomponentes más estable ante variaciones ambientales respecto a los vinculados con el número de granos por planta (Board et al., 1999; Egli, 1998).

El peso final del grano puede describirse como una función de su tasa de crecimiento y la duración del período de llenado (Egli *et al.*, 1985).

La acumulación de materia seca en la semilla de soja comienza con un corto período de crecimiento exponencial seguido de una fase lineal, a partir de R5, en la cual se produce la mayor parte de la acumulación de la materia seca de la semilla, y por último, un período relativamente breve con baja tasa de crecimiento, hasta alcanzar la madurez. Durante la fase lineal de crecimiento (período R5-R7), la Tasa Crecimiento de la Semilla (TCS) generalmente se mantiene constante, ya que los compuestos de reserva almacenados en los tejidos vegetativos amortiguan reducciones transitorias en el suministro de asimilados causadas por factores ambientales adversos. La TCS varía, además, entre genotipos (Kaplan y Koller, 1977). Factores de manejo como la siembra de segunda (o tardía), condicionan la ocurrencia del llenado de semillas con menores niveles de temperatura y de radiación solar incidente, por lo que se restringe la TCS (Quijano *et al.*, 1996).

1.7. Período crítico

En los estadios vegetativos el cultivo presenta una importante plasticidad que se reduce durante las etapas reproductivas. La sobreproducción de flores y el extenso período de floración (R1-R5), permiten escapar a cortos períodos de estrés. Condiciones estresantes entre R1-R3 no originan importantes reducciones del rendimiento ya que se siguen produciendo flores hasta R5, pudiendo ocasionarse compensaciones a través del incremento en el número de semillas por fruto y en el peso individual de las semillas. (Quijano *et al.*, 1996).

El estado R4 marca el inicio del período más crítico en el desarrollo de la planta, en términos del rendimiento de granos. La etapa R4,5 es especialmente crítica ya que la capacidad de compensación señalada se reduce debido a la floración ya casi ha finalizado y porque al aborto floral se agrega el de los frutos pequeños de mayor susceptibilidad a abortar que los de mayor tamaño (Ritchie *et al.*, 1985).

Condiciones de estrés entre los estadios R5,5 y R6 pueden causar grandes pérdidas de rendimiento por reducciones en el número de frutos por planta y de semillas por fruto y, en menor medida, por disminuciones en el peso individual de la semilla.

2. Factores que afectan el desarrollo

El fotoperíodo y la temperatura son los factores ambientales que, en mayor medida, influyen en el desarrollo de este cultivo.

2.1. Fotoperiodo

Cada GM está adaptado a una franja latitudinal relativamente estrecha (~200 km). Si un determinado cultivar se siembra en una latitud mayor que la de su rango de adaptación, el fotoperíodo natural que encontrará será relativamente más largo, con lo cual se favorecerá el crecimiento vegetativo –que puede resultar excesivo- mientras que la fructificación y posterior maduración se retrasarán, exponiendo el cultivo a riesgo de heladas antes de la maduración. Contrariamente, sembrar un cultivar en latitudes inferiores a las de su rango de adaptación, lo expondrá a fotoperíodos relativamente más cortos que anticiparán la inducción floral, la antesis y, consecuentemente, la maduración dando como resultado plantas de menor tamaño.

La sensibilidad fotoperiódica presenta una considerable variabilidad genotípica: los GM inferiores presentan umbrales (fotoperíodos críticos) elevados y baja sensibilidad. A medida que aumenta el GM, disminuye dicho umbral y aumenta la sensibilidad al fotoperíodo, produciéndose mayores acortamientos del ciclo (Summerfield *et al.*, 1998).

2.2. Temperatura

Bajo condiciones de fotoperíodos inductivos las respuestas se hacen más lentas con temperaturas sub y supra óptimas. Las temperaturas bajo las cuales el proceso es más rápido oscilan entre 26 y 34°C diurnos y entre 22 y 30°C nocturnos (Thomas y Raper, 1983).

Las temperaturas bajas disminuyen el número de primordios reproductivos y su tasa de desarrollo, estimulándose el crecimiento vegetativo.

3. Efecto de la fecha de siembra sobre el desarrollo del cultivo

El atraso de la fecha de siembra (FS) respecto de aquella considera “óptima” para un sitio determinado, provoca la reducción del ciclo de los cultivares con independencia del grupo de madurez al que pertenezcan. Mientras mayor es el GM del cultivar, mayor será esa reducción (Baigorri *et al.*, 1995a).

3.1. Relaciones entre la fecha de siembra y el crecimiento del cultivo

La producción de biomasa aérea total a cosecha se reduce con el atraso de la fecha de siembra. En general, en una determinada FS, la producción de biomasa aérea total se incrementa con la longitud del ciclo del cultivar. Además, entre cultivares del mismo GM existen diferencias importantes en la producción de biomasa aérea total (BAT) (Baigorri *et al.*, 1995a).

La altura, el vuelco y el número de nudos se reducen cuando se atrasa la fecha de siembra, desde principios de Noviembre. No obstante, esas tres variables también se reducen cuando la fecha de siembra se adelanta al mes de octubre (Baigorri *et al.*, 1995b).

HIPÓTESIS

La fecha de siembra tardía (o de segunda), produce una reducción del rendimiento de mayor magnitud en un cultivar de GM III que en otro de GM VI debido al acortamiento del ciclo, la menor producción de biomasa asociada al mismo y menor eficiencia de uso de la radiación (EUR).

OBJETIVOS

1. General

Evaluar la respuesta de cultivares de soja de grupos de madurez III y VI en una siembra tardía en la región de Río Cuarto.

2. Específicos

- a) Registrar el desarrollo fenológico de ambos cultivares.
- b) Cuantificar el crecimiento a través de la producción y acumulación de materia seca.
- c) Cuantificar los componentes del rendimiento y la producción de semillas.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Sitio experimental y tratamientos

El presente estudio se realizó en el campo experimental de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC), situado en la Ciudad de Río Cuarto, Provincia de Córdoba, Republica Argentina. El suelo del sitio es un Hapludol típico, familia franco-arenosa con relieve normal a subnormal.

Los tratamientos evaluados fueron dos cultivares de soja de grupos de madurez III y VI, resistentes al herbicida glifosato denominados A3901 RG y A6019 RG, respectivamente. La variedad A3901 RG tiene hábito de crecimiento indeterminado y su ciclo medio a floración es de 39 días y a maduración de 126 días. Por su parte, A6019 RG posee hábito de crecimiento determinado, 66 días de ciclo medio a floración y 150 días a madurez.

El experimento se dispuso en un diseño de bloques al azar con tres repeticiones, siendo la unidad experimental (parcela) de 9 surcos por 9 metros de largo espaciados a 0.5 m entre sí. La operación de siembra se realizó manualmente.

La siembra se realizó el 27 de diciembre de 2002, previa desinfección e inoculación de la semilla con productos comerciales disponibles en el mercado y de uso frecuente. Durante el ciclo de ambas variedades, se efectuaron desmalezados con aplicaciones de Glifosato y desmalezados manuales, por escape de sorgo de Alepo.

2. Evaluaciones y mediciones

Los registros y mediciones efectuadas durante la estación de crecimiento de ambas variedades fueron las siguientes:

- 1) Fenología: registro de la fecha de ocurrencia de las etapas: V3, R1, R3, R5, R6, R7 y R8 (cosecha).
- 2) Crecimiento (producción y acumulación de biomasa aérea): mediante muestreos de 5 plantas seleccionadas al azar por tratamiento y repetición en cada uno de los estadios fenológicos indicados en el punto anterior. Posteriormente, en el laboratorio se procedió a la separación de los órganos presentes, secado en estufa con circulación de aire forzado y registro del peso seco final.
- 3) Índice de área foliar (IAF): mediante lecturas con equipo electrónico *Plant Canopy Analyzer* (tipo LICOR LAI 2000) se registraron los datos en las etapas reproductivas R5 y R7.
- 4) Componentes del rendimiento: en la etapa R8 se procedió a la determinación y cuantificación de los componentes indirectos y directos del rendimiento:

- a. Número de plantas por superficie.
 - b. Número de frutos por planta.
 - c. Número de semillas por fruto.
 - d. Peso de 100 semillas.
- 5) Producción de semillas por hectárea: se estimó a partir de los componentes directos del rendimiento.
- 6) Análisis de los resultados: Las variables del crecimiento, desarrollo y rendimiento fueron analizadas mediante el programa estadístico InfoStat. Se realizaron los ANAVA y comparaciones de los promedios con el test de Duncan (0.05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Condiciones meteorológicas y fenología de los cultivares

En las Figuras 1 y 2, se muestran las variables ambientales registradas durante la estación de crecimiento del cultivo de soja (ciclo 2002-03) en el sitio experimental donde se desarrolló el presente estudio y la duración comparativa de las etapas fenológicas de ambas variedades, respectivamente.

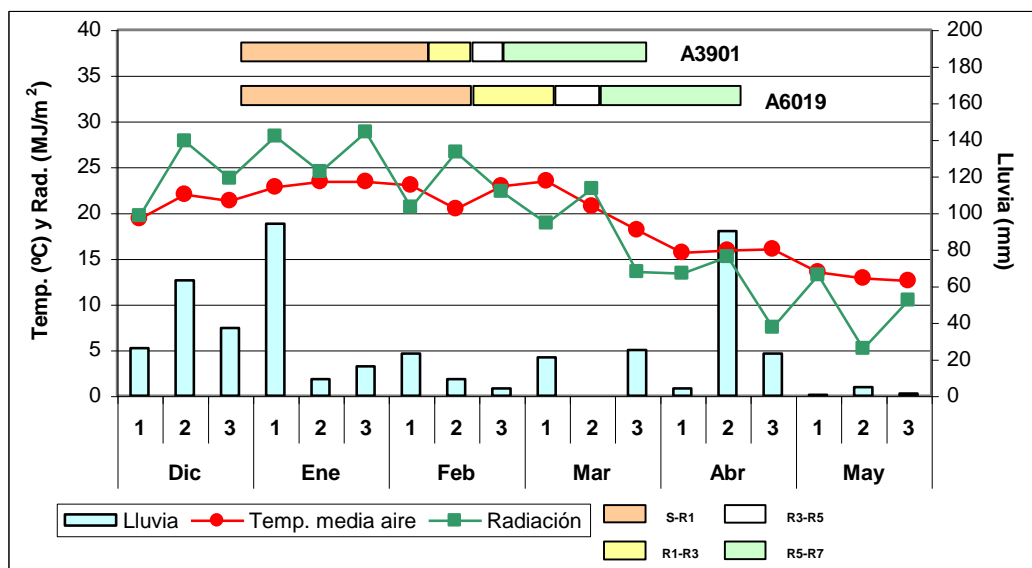


Figura 1. Condiciones meteorológicas durante la estación de crecimiento de la soja (campaña 2002/03) y duración de las etapas fenológicas de las variedades A3901 RG y A 6019 RG en Río Cuarto.

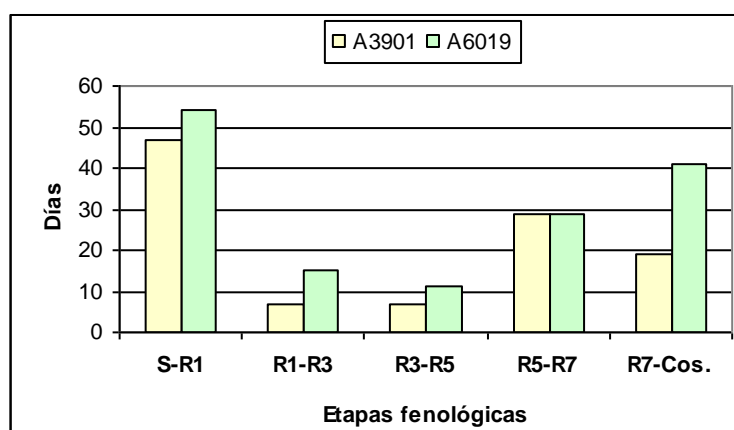


Figura 2. Duración en días de las etapas fenológicas de las variedades A3901 RG y A6019 RG en Río Cuarto.

Resultó evidente la interacción entre los genotipos y la siembra el 27 de diciembre -considerada tardía para la región del estudio- como determinante del momento de ocurrencia y la duración de las etapas fenológicas. Lo más destacable fue la duración del período S-R1, que concuerda con las características genotípicas de los materiales usados siendo superior en la variedad A6019 RG respecto a la de GM III en 7 días. A pesar de ello, el acortamiento experimentado por esa variedad en el tiempo a R1 con respecto a una fecha de siembra óptima planteada por el marbete del semillero, fue de 20 días; mientras que en la variedad de GM III el mismo fue de menor magnitud. Esto es debido a la mayor sensibilidad fotoperiódica de los GM más largos, como lo señala Summerfield *et al.* (1998) y a las temperaturas mayores propias de esa fecha que aceleran los procesos de crecimiento y desarrollo de la planta (Thomas y Raper, 1983).

También fueron más prolongadas las etapas R1-R3 y R3-R5 en la variedad de GM VI, sin diferencias entre ambos cultivares en la duración de la etapa de llenado de semilla (R5-R7). En cuanto a la duración del ciclo total se produjo un acortamiento en las dos variedades con respecto al observado por otros autores en fecha de siembra óptima (126 y 150 días en la variedad de GM III y VI, respectivamente), coincidiendo con lo señalado por Baigorri *et al.* (1995a) al referir que el atraso de la fecha de siembra provoca la reducción del ciclo de los cultivares de soja; reducción que es mayor cuanto mayor es el GM.

Para una fecha de siembra definida, como es el caso de este estudio, el grado de ajuste entre las etapas claves del crecimiento y desarrollo del cultivo y las condiciones meteorológicas no limitantes (temperatura, radiación y lluvia), depende de la expresión de los atributos genotípicos en el escenario determinado por esa fecha de siembra.

Durante el período vegetativo, ambas variedades experimentaron condiciones similares de temperatura media y precipitaciones, siendo la radiación solar incidente recibida por la variedad A6019 RG ligeramente superior, debido a la duración más prolongada de esa etapa propia de este genotipo. Sin embargo, cuando se analizaron las etapas reproductivas, hubo situaciones contrastantes entre variedades las que, además, alternaron en el tiempo. Entre las etapas R1 y R5, la temperatura media fue similar (21-22°C) para ambas variedades, pero la radiación solar incidente y las lluvias fueron más favorables para A6019 RG, la que acumuló 553 MJ/m² de radiación y recibió 25 mm de precipitaciones en esa etapa. Mientras que los valores para la variedad A3901 RG fueron 368 MJ/m² de radiación acumulada y sólo 9 mm de lluvia, respectivamente

Por el contrario, durante el período de llenado de semilla (R5-R7) las condiciones fueron más favorables para la variedad de GM III, aunque su duración fue similar en ambas variedades. Precisamente por su menor extensión de ciclo, el período R5-R7 de A3901 RG transcurrió cuando tanto la radiación solar incidente como la temperatura

media fueron superiores. Así, esta variedad acumuló 564 MJ/m² de radiación solar y experimentó una temperatura media de 21.5 °C; mientras que A6019 RG recibió 442 MJ/m² de radiación solar y una temperatura media de 17.3 °C. Las lluvias en esa etapa, fueron similares y escasas para ambos genotipos (entre 25 y 29 mm).

El presente estudio reprodujo la influencia conocida de la fecha de siembra en la configuración de diversos escenarios ambientales y las variadas interacciones que se generan entre ellos y los diferentes cultivares según el GM al que pertenecen. En FS tardías se observa una reducción lineal de la longitud de los estadios fenológicos, cuya pendiente aumenta con la longitud del GM.

Para una misma fecha de siembra, tardía como en este caso, el periodo crítico transcurre en momentos diferentes de la estación de crecimiento cuando se utilizan cultivares de distintos GM, siendo mayor el rendimiento del GM cuyo periodo crítico coincida con condiciones ambientales más favorables.

2. Crecimiento

El crecimiento evaluado a través de la producción y acumulación de biomasa aérea y su distribución en los órganos de la planta, el crecimiento mostró diferencias debidas a los genotipos. En tal sentido, y en estrecha correspondencia con sus atributos genotípicos, la variedad A3901 acumuló menor cantidad de materia seca en todos sus órganos aéreos y en la planta entera que la variedad de GM VI (Figuras 3 a y b); respuesta asociada, principalmente, con la fecha de siembra tardía que reduce la duración del ciclo y, consecuentemente, la altura de la planta y el número de nudos. También influyó en esta respuesta el espaciamiento entre surcos usado en el ensayo (50 cm) que dificultó el cierre del entresurco a la variedad de GM III y, con ello redujo la posibilidad de lograr una mayor intercepción de la radiación solar incidente.

Otro aspecto destacable fue la BAT acumulada a la etapa R5 en ambos genotipos la que resultó inferior a 500 g/m², según lo determinado por Egli *et al.* (1987), aunque la variedad de GM VI estuvo muy cerca de dicho valor con 463 g/m². Según esos autores, este indicador se vincula estrechamente con la posibilidad de obtención de un rendimiento de semillas aceptable a través de su relación con el número de semillas por superficie.

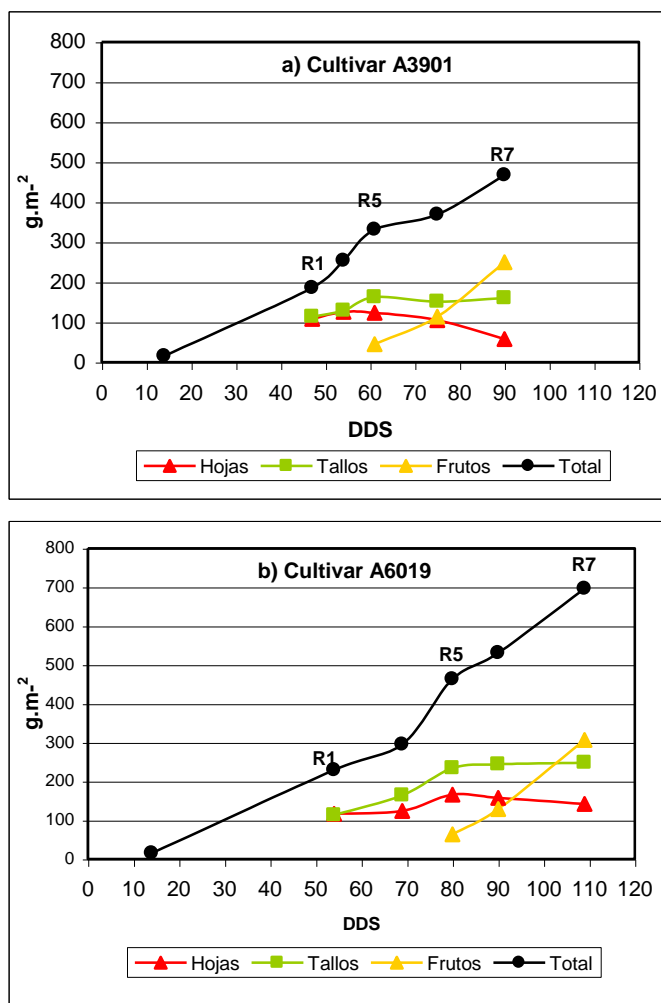


Figura 3. Biomasa aérea total por superficie acumulada en las variedades: (a) A3901 RG y (b) A6019 RG en Río Cuarto.

Por su parte, el análisis comparativo de las tasas de crecimiento del cultivo (TCC) puso en evidencia otras diferencias entre los genotipos que se muestran en la Figura 4. Hasta la etapa R1, ambas variedades tuvieron tasas de crecimiento similares; entre R1 y R5, la variedad A3901 superó ligeramente a la de GM VI y entre R5 y R7 ésta última superó significativamente a la primera (Cuadro 2). Según lo señalado por Board y Tan (1995) y Board *et al.* (1999), la diferencia favorable a la variedad de GM VI durante el período crítico de llenado de semillas, le permitiría mantener un mayor número de frutos por planta.

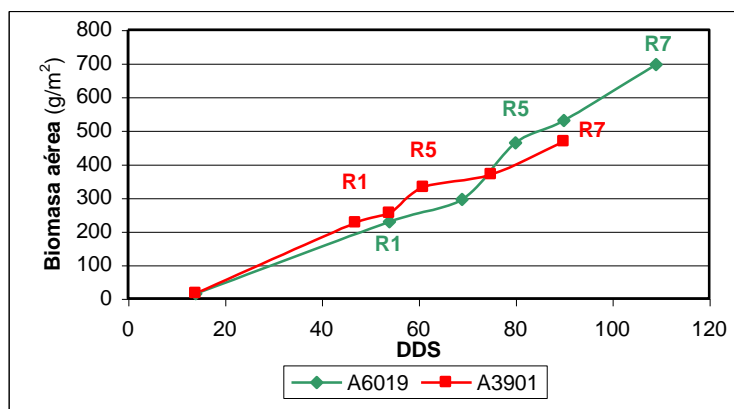


Figura 4. Biomasa aérea total por superficie acumulada por las variedades A3901 RG y A6019 RG en Río Cuarto.

La mayor producción de BAT en la variedad de GM VI está asociada, entre otros factores, a la mayor longitud de su ciclo vegetativo con respecto al cultivar A3901 RG (Baigorri *et al.*, 1995b).

Cuadro 2. Tasa de crecimiento del cultivo (TCC) durante las etapas reproductivas de las variedades A3901 RG y A6019 RG en Río Cuarto.

Etapas	A3901		A6019	
	TCC g/m ² /día	R ²	TCC g/m ² /día	R ²
R1-R5	10.4 a	0.99	8.7 a	0.89
R5-R7	4.7 b	0.95	8.1 a	0.99

Letras diferentes para cada etapa, indican diferencias significativas entre cultivares (0.05).

A pesar de las condiciones ambientales (radiación solar incidente y temperatura media) más favorables experimentadas por la variedad de ciclo corto (A3901) durante la etapa R5-R7, el cultivar de GM VI tuvo una TCC superior posiblemente atribuible al nivel de biomasa alcanzado en R5 que le proporcionó mayor cobertura y, por ende, mejor captura y aprovechamiento de la radiación incidente. Efectivamente, las mediciones de IAF realizadas en esa etapa permitieron verificar que la variedad A6019 RG superó el IAF crítico (valores entre 4.0 y 4.5); mientras que la variedad de GM III estuvo siempre por debajo de ese valor (oscilando entre 2.3 y 2.6). En la soja el IAF crítico varía entre 3,1 y 4,0 dependiendo de la arquitectura de las plantas, la densidad de siembra y el espaciamiento. Valores inferiores al IAF crítico, disminuyen la eficiencia de intercepción de la radiación, reduciendo la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) y el rendimiento (Shibles y Weber, 1966).

3. Componentes del rendimiento y producción de semillas

En el Cuadro 3, se muestran los datos de los componentes de ambas variedades cuantificados en la etapa R8.

Cuadro 3. Componentes directos e indirectos del rendimiento y producción de semillas por hectárea de las variedades A3901 RG y A6019 RG.

Variedad	Nº plantas m ²	Nº frutos por planta	Nº semillas por fruto	Nº semillas por m ²	Peso 100 semillas Gr	Peso de semillas m ²	Rendimiento de semillas Kg/ha
A6019	30	18,3	1,7 b	915	16,6 a	152,3	1523
A3901	28	14,8	2,3 a	970	13,5 b	130,7	1307
<i>P (0.05)</i>	ns	ns	*	Ns	*		ns

Letras diferentes para cada etapa, indican diferencias significativas entre cultivares (0.05).

El número de plantas por metro cuadrado fue similar en ambas variedades por lo que se considera escasa la influencia de este componente directo en las diferencias de rendimiento observadas. El número final de frutos por planta, en cambio, resultó superior en la variedad A6019 RG, aunque no significativo, diferencia que pudo haber sido consecuencia de una mayor abscisión de frutos en la variedad de ciclo corto causada por la disminución del flujo diario desde las hojas hacia los frutos (Egli, 1998) evidenciada por la menor cantidad de biomasa acumulada en R5 y, por ende, radiación interceptada y menor TCC registrada a partir de R5 en la variedad de GM III. Esto se infiere al comparar la variación experimentada por este componente del rendimiento entre las etapas R5 y R8. En A3901 RG se redujo de 32 a 15 frutos por planta (53% de pérdida), mientras que la disminución experimentada por A6019 RG fue de 29 a 18 frutos por planta (38%) (Figura 5).

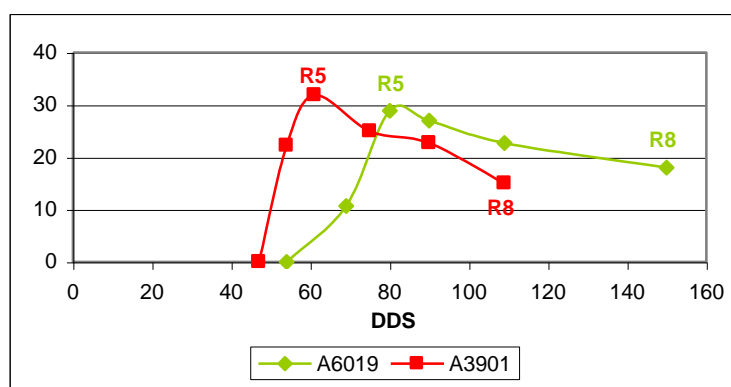


Figura 5. Variación del número de frutos por planta durante el desarrollo reproductivo (R1-R8) en las variedades A6019 RG y A3901 RG en Río Cuarto.

Con respecto al número de semillas por fruto -componente indirecto del rendimiento de alta influencia genotípica- hubo diferencias significativas entre cultivares favorables a la variedad A3901 RG. Esta diferencia puede ser atribuible al aborto diferencial de óvulos cuajados antes de ingresar en su fase de llenado efectivo –mayor en la variedad A6019 RG y/o a cierto efecto compensatorio en la variedad GM III asociado con el menor número de frutos por planta.

El peso individual promedio de las semillas de la variedad A6019 fue significativamente mayor que el registrado en la variedad de GM III. En este sentido, es importante destacar que la (TCS) también fue ligeramente superior en la variedad de GM VI (8,4 gr/m²/día) respecto a la de ciclo corto (7,1 gr/m²/día). Como ha sido señalado (Egli, 1998), el peso de la semilla depende de la duración del período de llenado y la TCS durante el mismo. En el presente estudio, la duración del período de llenado resultó igual para ambas variedades, por lo que la diferencia en el peso individual de las semillas puede atribuirse a la tasa de crecimiento superior de la variedad GM VI ya señalada. Ello, a pesar que el período de llenado de esta variedad transcurrió con niveles de temperatura y radiación incidente inferiores a los registrados para la variedad de GM III por efecto de la fecha de siembra. No obstante, el IAF en R5 de la variedad A6019 RG superó el valor crítico favoreciendo la interceptación de la radiación incidente y, con ello, la mayor TCS y el consecuente mayor peso individual de las mismas.

De la relación entre los componentes indirectos y directos del rendimiento (número de plantas por superficie, número de frutos por planta, número de semillas por fruto y peso individual de las semillas) se obtuvo el peso de semillas por metro cuadrado que resultó superior en la variedad de GM VI con 152 g respecto a la de ciclo corto con 131 g. Valores éstos que extrapolados a hectárea definieron el rendimiento de semillas de cada una de las variedades.

La variedad A3901 RG superó a la de GM VI sólo en el componente indirecto del rendimiento número de semillas por fruto, lo que le permitió alcanzar una cantidad ligeramente superior de semillas por metro cuadrado, a pesar de su menor número de frutos por planta. Sin embargo, el peso individual de las semillas fue significativamente menor (13.5 g/100 semillas) que el de la variedad A6019 RG, lo que se tradujo en un rendimiento por superficie de 216 Kg/ha inferior al de la variedad de GM VI.

Comparados con los rendimientos que estas dos variedades alcanzan cuando se las siembra en fechas acordes con sus características genéticas, los valores obtenidos en el presente trabajo fueron sensiblemente inferiores. Ello surge de analizar resultados de la Red Nacional de Evaluación de Cultivares de Soja en la Región Pampeana Norte y Sur donde la variedad A3901 produjo rendimientos de 2622, 4346, 3750, 2510, 2885 y 2404 Kg/ha en ensayos realizados durante 2001/02 en localidades aledañas a Río Cuarto

(Alejandro Roca, Olaeta, La Carlota, La Carolina el Potosí, Elena, Gral. Cabrera, respectivamente). En cuanto a la variedad A6019 RG se observan rendimientos similares, siempre superiores a los registrados en el presente trabajo, para las mismas localidades mencionadas anteriormente.(Red Nacional de Evaluación de Cultivares de Soja).www.inta.gov.ar/mjuarez.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio, permiten exponer las siguientes los aspectos:

- En la región del estudio, la fecha de siembra tardía disminuyó los rendimientos de las variedades utilizadas, debido al acortamiento del ciclo que las mismas experimentan y a la interacción con condiciones ambientales subóptimas durante el período crítico R4,5-R5,5 y en la etapa de llenado de granos.
- La variedad del GM VI supera en rendimiento a la variedad de GM III. A pesar de las restricciones impuestas por la siembra tardía, A6019 RG produjo y acumuló mayor cantidad de biomasa a R5 con una consecuente mayor cobertura del suelo mediante la cual interceptó más radiación solar incidente, factor determinante por su influencia en la TCS lo que permitió alcanzar un peso individual de las semillas significativamente superior.

BIBLIOGRAFÍA

- BAIGORRI, H.E.J.; TRAVASSO, M.I. y F.A. ANDRADE 1995a. Desarrollo y crecimiento del cultivar Asgrow 3127 en Balcarce. Pág. 198-205.
- BAIGORRI, H.E.J.; R. SCARAFONI y B. MASIERO 1995b. Comportamiento de cultivares de grupos de madurez III al VII en cinco fechas de siembra entre octubre y febrero en Marco Juárez. 214-221.
- BERNARD, R.L. 1972. Two genes affecting stem termination in soybeans. **Crop. Sci.** 12: 235-239.
- BOARD, J.E. y Q. TAN 1995. Assimilatory capacity effects on soybean yield components and pod number. **Crop Sci.** 35: 846-851.
- BOARD, J.E.; M.S. KENG y G. HARVILLE 1999. Path analysis of the yield formation process for the late – plants soybean. **Agron. J.** 91: 128-135.
- EGLI, D.B. 1998. Seed biology and the yield of grain crops. CAB international, UK. 178pp.
- EGLI, D.B. y Y. ZHEN-WEN 1991. Crop growth rate and seeds per unit area in soybeans. **Crop Sci.** 31 (2): 439-442.
- EGLI, D.B.; R.D. GUFFY y J.J. HEITHOLD 1987. Factors associated with reduced yields of delayed planting of soybean.
- EGLI, D.B.; R.D. GUFFY; L.W. MECKEL y J.E. LEGGETT 1985. The effect of source sink alterations on soybean seed growth. **Ann. Bot.** 55:395-402.
- EGLI, D.B. y J.E. LEGGETT 1973. Dry matter accumulation patterns in determinate and indeterminate soybeans. **Crop Sci.** 13:220-222.
- FEHR, W.R. y C.E. CAVINESS 1977. Stages of soybean development. Special Report 80. Iowa State University, Ames, Iowa. 11 p.
- GBIKPI, P.J. y R.K. CROOKSTON 1981. Effect of flowering date on accumulation of dry matter and protein in soybean seed. **Crop Sci.** 21: 652-655.
- JIANG, H. y D.B. EGLI. 1993. Shade induced changes in flower and pod number and flower and fruit abscission in soybean. **Agron. J.** 85: 221-225.
- KANTOLIC, A. G. y SLAFFER 2000. Photoperiod sensitivity after flowering and seed number determination in determinate soybean cultivars. **Field Crops Res.** 72: 109-118.
- KAPLAN, S.L. y H.R. KOLLER 1977. Leaf area and CO₂ exchange rate as determinants of the rate of vegetative growth in soybean plants. **Crop Sci.** 17: 35-38.
- MARTIGNONE, R.A.; J.J. GUIAMET y F. NAKAYAMA 1987. Nitrogen partitioning and leaf senescence as related to nitrogen supply. **Field Crops Res.** 17: 17-24.
- MORANDI, E.N.; M.L. BRODERO; R.A. MARTIGNONE y A. QUIJANO 1991. Respuesta de distintos genotipos de soja a la época de siembra y a la disponibilidad hídrica. **Evolución.** 89-95.
- QUIJANO, A ; E. N MORANDI; R. A MARTIGNONE y M.L. BODRERO 1996. Número de semillas y rendimiento en soja en relación a la época de siembra y la disponibilidad hídrica. Pág. 222 – 223 en: Actas de la XXI Reunión Anual Soc. Fisiol. Veg. Mendoza.
- RITCHIE, S.W.; J.J. HANWAY; H.E. THOMPSON y G.O. BENSON 1985. How a soybean plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. Ames, Iowa. Special Report 53. 20 pp.
- SHIBLES, R.M. y C.R. WEBER. 1965. Leaf area solar radiation interception and dry matter production by soybeans. **Crop Sci.** 5: 575-578.
- SHIBLES, R.M. y C.R. WEBER 1966. Interception of solar radiation and dry matter production by various soybean planting patterns. **Crop Sci.** 6: 55-59.
- SUMMERFIELD, R.J; H. ASUMADU; R.H. ELLIS y A. QI. 1998. Characterization of the photoperiodic response of post-flowering development in maturity isolines of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] “Clark”. **Ann. Bot.** 82:765-771.

THOMAS, J.F. y C.D. RAPER, Jr. 1983. Photoperiod effect on soybean growth during the onset of reproductive development under various temperature regimes. **Bot. Gaz.** 144: 471-476.

PAGINAS DE INTERNET

WWW.INTA.GOV.AR/MJUAREZ