

REGULACION TERMICA Y FOTOPERIODICA DEL DESARROLLO DE GENOTIPOS DE SOJA VERDE Y DEL CRECIMIENTO DE SUS GRANOS

Patricia Giménez*, Adriana Kantolic* y Eduardo Pagano§

Cátedras de Cultivos Industriales (*) y de Bioquímica (§). Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453. 1417 Buenos Aires. Argentina.

RESUMEN

Se evaluaron los efectos del fotoperíodo y la temperatura sobre el desarrollo del cultivo y el crecimiento de los granos en genotipos de soja verde. Se realizaron experimentos a campo, incluyendo diferentes fechas de siembra en Buenos Aires y Taiwan. Sólo un genotipo resultó insensible al fotoperíodo mientras que los demás mostraron una respuesta de días cortos. Bajo fotoperíodos cortos se incrementó la tasa de crecimiento de los granos en cuatro de los genotipos y la temperatura ejerció una fuerte regulación.

Palabras claves: soja verde, fotoperíodo, temperatura, crecimiento de la semilla, desarrollo.

SUMMARY

Photoperiod and temperature influences over crop development and seed growth were evaluated on green soybean genotypes. Field trials including different sowing dates were conducted in Buenos Aires and Taiwan. Only one genotype resulted insensitive to photoperiod while the others had a short day response. In four genotypes short photoperiod increased seed growth rate and temperature had a strong regulation effect.

Key words: green soybean, photoperiod, temperature, seed growth, development

INTRODUCCION

Uno de los posibles usos de la soja (*Glycine max* (L.) Merr.) en la alimentación humana es su consumo como grano verde fresco. Esta modalidad, denominada "soja verde" (Wynstra, 1986) o "soja hortícola" (Shanmugasundaram *et al.*, 1989) está ampliamente difundida en los países del este asiático, donde los granos verdes son apreciados por su sabor dulce y sus excelentes propiedades nutricionales (Tsou, 1992, Shanmugasundaram *et al.*, 1997).

Para que se alcancen buenos niveles de producción y calidad, los genotipos que se cultiven deben presentar una longitud de ciclo que les permita el óptimo aprovechamiento de la estación de crecimiento; asimismo, sus granos deben tener el tamaño requerido para su comercialización, con un peso promedio de 300 mg por semilla (Chotiyanwong, 1992; Shanmugasundaram *et al.*, 1989). Puesto que el número de granos por unidad de superficie

se asocia con la duración del ciclo (Kantolic *et al.*, 1995) y que el peso de la semilla adecuado se logra con ritmos de crecimiento superiores a 7 mg/día (Giménez *et al.*, 1995), el efecto del ambiente sobre la fenología y el crecimiento de los granos será clave en la definición del rendimiento y la calidad.

En soja, la duración de cada una de las fases fenológicas y del ciclo total está regulada por la temperatura y el fotoperíodo (Hadley *et al.*, 1984; Summerfield *et al.*, 1993, Grimm *et al.*, 1993; Grimm *et al.*, 1994) y existe una gran variabilidad genotípica en cuanto a la respuesta a ambos factores. Una de las formas de cuantificar estos efectos es a través de la siguiente aproximación:

$$1/d = a + bT + cF \quad (1)$$

donde $1/d$ es la tasa de desarrollo expresada como la inversa de la duración en días de una fenofase, T es la temperatura media y F es

fotoperiodo promedio para la fase; los coeficientes **b** y **c** son estimadores de la sensibilidad a la temperatura y al fotoperiodo respectivamente. En genotipos insensibles al fotoperiodo o por debajo de un fotoperiodo umbral, la ecuación 1 incluye sólo los dos primeros términos. Esta aproximación simple ha sido utilizada exitosamente en modelos de predicción del desarrollo en soja en una amplia gama de genotipos y ambientes (Summerfield *et al.*, 1993).

También existen evidencias, en genotipos de soja para grano seco, de que el ritmo de crecimiento de los granos puede ser modificado por la temperatura (Egli y Wardlaw, 1980) y el fotoperiodo (Raper y Kramer, 1987; Morandi *et al.*, 1990). Por lo tanto, la ocurrencia de distintas condiciones termofotoperiódicas durante el período de llenado puede condicionar el logro de ritmos de crecimiento de la semilla adecuados.

En este trabajo se describen y cuantifican los efectos de la temperatura y del fotoperiodo sobre la fenología y el ritmo de crecimiento de los granos en genotipos de soja verde, a partir de su comportamiento a campo.

MATERIALES Y METODOS

Se sembraron en la Facultad de Agronomía de Buenos Aires 10 genotipos de soja verde provistos por el Asian Vegetable Research and Development Center (AVRDC) de Taiwan. A partir de observaciones fenológicas registradas durante 7 campañas (1989/90 a 1995/96), con fechas de siembra entre octubre y febrero, y un año en Tainan (Taiwan), se realizaron regresiones lineales múltiples para determinar los coeficientes de la ecuación 1 para la fase siembra - principio de floración (R1, Fehr y Caviness, 1977). Sólo se consideraron las ecuaciones con alto r^2 y con coeficientes significativos. Las condiciones térmicas y fotoperiódicas exploradas en todos los casos analizados, se presentan en la Figura 1.

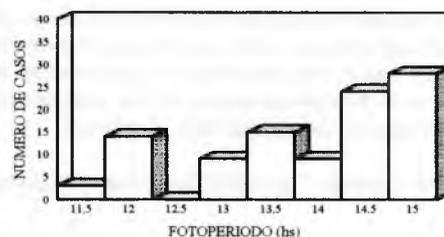
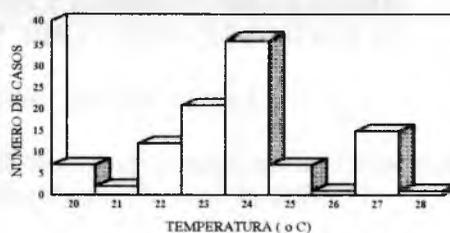


Figura 1. Condiciones de temperatura y fotoperiodo experimentadas entre siembra y floración.

Durante las tres fechas de siembra de la campaña 94/95 (26 de octubre, 22 de diciembre y 1 de febrero) se tomaron muestras periódicas de granos en crecimiento de 7 genotipos, obteniendo la evolución de su peso seco. A partir de la regresión entre cada peso seco y el correspondiente tiempo térmico durante el llenado, se calculó el ritmo promedio de crecimiento de los granos (Egli, 1975). El tiempo térmico se calculó a partir de las temperaturas medias durante el período efectivo de llenado, considerando una temperatura base de 6 °C (Munier-Jolain *et al.*, 1993). Las condiciones de temperatura y fotoperiodo exploradas durante el período de crecimiento de los granos se muestran en la Figura 2.

Los datos de temperatura para Buenos Aires fueron obtenidos en la estación meteorológica Villa Ortúzar (Fuerza Aérea Argentina), localizada a 300 m del experimento, mientras que los correspondientes a Tainan fueron tomados por el AVRDC. En todos los casos, los valores fotoperiódicos incluyen los crepúsculos civiles.

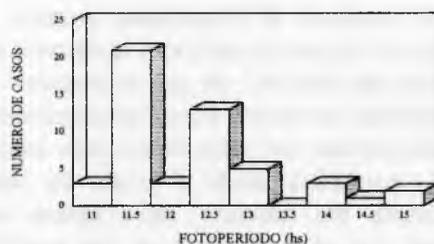
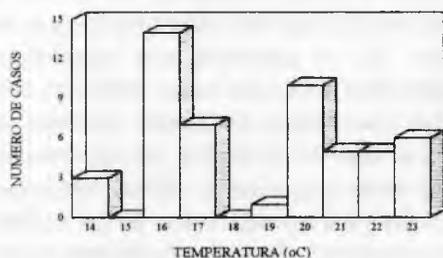


Figura 2. Condiciones de temperatura y fotoperiodo durante el llenado de granos.

RESULTADOS Y DISCUSION

El estudio de los efectos combinados del fotoperiodo y la temperatura mediante la ecuación 1 permitió obtener los coeficientes que se presentan en el Cuadro 1. Los altos valores de r^2 , que fueron superiores a 0.74, indican que mediante este modelo lineal simple puede obtenerse una cuantificación aceptable de la fenología de los genotipos.

Cuadro 1. Coeficientes de la ecuación 1.

Cultivar	a	b	c
AGS 292	-0,005417	0,014180	
AGS 293	0,020230	0,001352	-0,001774
G 10134	0,018089	0,001623	-0,002142
AGS 187	0,084402	0,000678	-0,005424
AGS 188	0,066611	0,000683	-0,004219
G 9053	0,043902	0,001240	-0,003524
GC83006	0,019293	0,001448	-0,002005
GC84136	0,007995	0,001513	-0,001559
Blueside	0,027972	0,001969	-0,003642
Blueside*	-0,016953	0,001669	
AGS 190	0,098867	0,000545	-0,006749

*Coeficientes para la recta por debajo del fotoperiodo umbral.

Unicamente en AGS 292 el coeficiente fotoperiódico c no fue significativo, indicando que su tasa de desarrollo a floración estuvo regulada solamente por la temperatura. En los restantes, la obtención de coeficientes c significativos y negativos, permiten inferir una respuesta de días cortos. En Blueside se determinó también el umbral fotoperiódico por debajo del cual el tiempo a floración es sólo función de la temperatura.

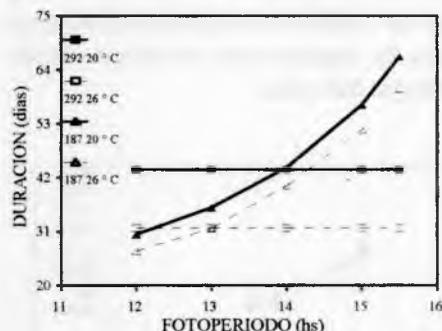


Figura 3. Duración estimada de la etapa siembra-floración de genotipos de ciclo corto a medio, para dos condiciones térmicas.

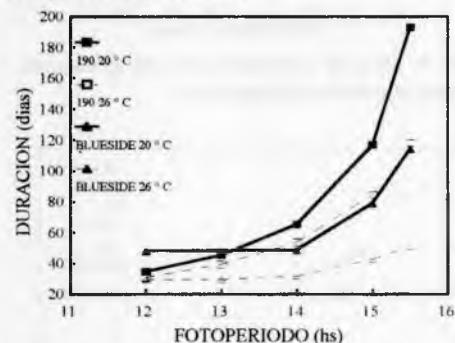


Figura 4. Duración estimada de la etapa siembra-floración de genotipos de ciclo medio a largo, para dos condiciones térmicas.

Mediante las ecuaciones obtenidas, puede predecirse la duración de la etapa siembra a floración, para distintos ambientes foto-termales, como se ejemplifica para algunos cultivares en las Figuras 3 y 4. Como puede apreciarse, los genotipos evaluados difieren en su respuesta a la temperatura y al fotoperiodo; este hecho condiciona fuertemente la potencial adaptabilidad de cada uno de ellos a diferentes latitudes y/o épocas de cultivo.

El ritmo de crecimiento de los granos por unidad de tiempo térmico, expresado como $\text{mg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{día}^{-1}$, fue incrementado por fotoperíodos cortos en algunos genotipos (Figura 5). Este efecto promotor no se manifestó con temperaturas medias inferiores a 15°C y mínimas menores a 13°C , como las reinantes durante el llenado de AGS 190 durante los días cortos del otoño avanzado. En AGS 292, G 9053 y GC 10134 la temperatura ejerció el principal efecto regulador (Figura 6); dentro del rango de condiciones exploradas por estos genotipos, las mayores tasas ocurrieron con las temperaturas más altas.

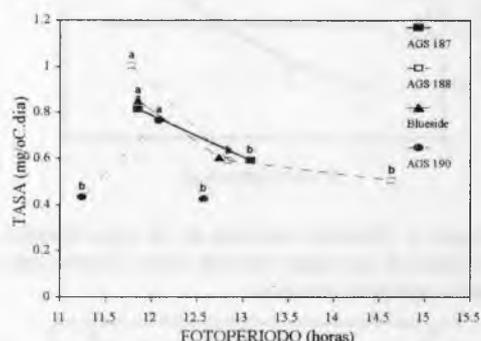


Figura 5. Tasa de crecimiento de los granos en genotipos sensibles al fotoperíodo.

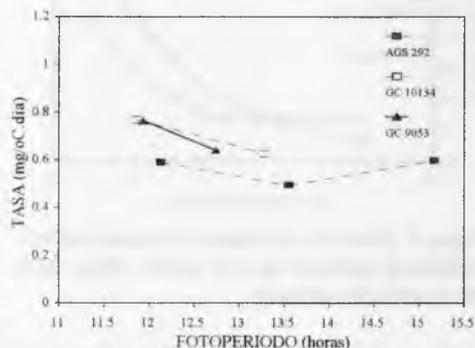


Figura 6. Tasa de crecimiento de los granos en genotipos insensibles al fotoperíodo.

Estos resultados permiten explicar las modificaciones en el ritmo diario de crecimiento de los granos, expresado como $\text{mg} \cdot \text{día}^{-1}$, asociados a distintas fechas de siembra (Giménez *et al.*, 1995). Así, en el genotipo insensible al fotoperíodo AGS 292, los mayores ritmos de crecimiento se

asociaron a fechas tempranas, en las que el llenado ocurrió bajo las temperaturas altas del verano. En el genotipo con sensibilidad fotoperiódica y de ciclo largo AGS 190, sólo se obtuvieron tasas de llenado elevadas en fechas de siembra intermedias, ya que tanto los fotoperíodos largos de las fechas tempranas como las temperaturas bajas de las tardías, deprimen el ritmo diario de crecimiento de los granos. Por lo tanto, la variabilidad genotípica en la respuesta al fotoperíodo durante el llenado de los granos condiciona la elección de la fecha de siembra, ya que se modifica la probabilidad de obtener ritmos de crecimiento suficientemente elevados como para lograr pesos aceptables desde el punto de vista comercial. No obstante, debe tenerse en cuenta que el peso final de las semillas dependerá también de la duración del período de llenado (Egli, 1989) y que los factores que influyen sobre ella pueden compensar parcialmente las modificaciones en la tasa.

CONCLUSIONES

A través de la cuantificación de los efectos ejercidos por la temperatura y el fotoperíodo se determinó que los cultivares de soja verde difieren no sólo en su sensibilidad para retrasar la floración sino también en su capacidad de responder a cambios térmicos y fotoperiódicos durante el crecimiento de los granos. Por lo tanto, sólo a través de una cuidadosa combinación genotipo-fecha de siembra-localidad podrán optimizarse el rendimiento y la calidad comercial de granos de soja verde.

AGRADECIMIENTOS

Parte de este trabajo fue financiado mediante un subsidio otorgado por UBACyT (Proyecto AG006, programación científica 1994-1997). Agradecemos al Dr S. Shanmugasundaram, del AVRDC de Taiwan por facilitarnos las semillas de los genotipos utilizados en estos experimentos y los datos fenológicos y meteorológicos de Tainan.

BIBLIOGRAFIA

- CHOTIYANWONG, P. 1992. Varieties and varietal development of vegetable soybean. En: Vegetable soybean production. Proceedings of a training course. Chiang Mai, Thailand, 18-24 Feb. 1991. *AVRDC Pub.* N° 92-369: 13-18.
- EGLI, D.B. 1975. Rate of accumulation of dry weight in seed of soybeans and its relationship to yield. *Canadian Journal of Plant Science* 55: 245-249.
- EGLI, D.B. 1989. Seed growth and development in soybean. En: A.J.Pascale (Ed.): *Actas IV Conferencia Mundial de Investigación en Soja*, Buenos Aires: 256-261.
- EGLI, D.B. and I.F.WARDLAW. 1980. Temperature response of seed growth characteristics of soybean. *Agronomy Journal*. 72: 560-564.
- FEHR, W.R. and C.E.CAVINESS. 1977. Stages of soybean development. *Special Report* 80, Coop. Ext. Serv., Iowa Agr. and Home Econ. Exp. Stn. Iowa State Univ. Ames, Iowa.
- GIMÉNEZ, P., A.KANTOLIC, E.PAGANO y A.AÑASCO. 1995. Efectos genotípicos y ambientales sobre el crecimiento de las semillas de soja verde. En: *Actas del Primer Congreso Nacional de Soja*. Pergamino, Buenos Aires. Argentina I (II): 275-280.
- GRIMM, S.S., J.W.JONES, K.J.BOOTE and J.D.HESKETH. 1993. Parameter estimation for predicting flowering date of soybean cultivars. *Crop Science* 33 (1): 137-144.
- GRIMM, S.S., J.W.JONES, K.J.BOOTE and D.C.HERZOG. 1994. Modeling the occurrence of reproductive stages after flowering for four soybean cultivars. *Agronomy Journal* 86: 31-34.
- HADLEY, P., E.H.ROBERTS, R.J.SUMMERFIELD and F.R.MINCHIN. 1984. Effects of temperature and photoperiod on flowering in soya bean (*Glycine max*): A quantitative model. *Annals of Botany*. 53: 669-681.
- KANTOLIC, A., P.GIMÉNEZ, E.PAGANO y F.VERGARA SCHULTZ. 1995. Rendimiento y peso de los granos en genotipos de soja verde ante cambios en la fecha de siembra. En: *Actas del Primer Congreso Nacional de Soja*. Pergamino, Buenos Aires. Argentina I (II): 281-288.
- MORANDI, E.N., J.R.SCHUSSLER and M.LBRENNER. 1990. Photoperiodically induced changes in seed growth rate of soybean as related to endogenous concentrations of ABA and sucrose in seed tissues. *Annals of Botany* 66: 605-611.
- MUNIER-JOLAIN, N.G., B.NEY and C.DUTHION. 1993. Sequential development of flowers and seeds on mainstem of an indeterminate soybean. *Crop Science* 33: 768-771.
- RAPER, C.D.Jr and P.J.KRAMER. 1987. Stress physiology. En: J.R.Wilcox (ed.). *Soybeans: Improvement, production and uses*. Second edition. ASA CSSA SSSA, Madison, Wisconsin, USA: 589-603.
- SHANMUGASUNDARAM, S., S.C.S.TSOU and S.H.CHENG. 1989. Vegetable soybean in the east. En: A.J.Pascale (Ed.): *Actas de la IV Conferencia Mundial de Soja*. Buenos Aires, Argentina: 1979-1986.
- SHANMUGASUNDARAM, S., S.C.S. TSOU and T.L.HONG. 1997. Vegetable soybeans production and research. *Proceedings V World Soybean Research Conference*, Thailand: 529-532.
- SUMMERFIELD, R.J., R.J.LAWN, A.QI, R.H.ELLIS, E.H.ROBERTS, P.M.CHAY, J.B.BROUWER, J.L.ROSE, S.SHANMUGASUNDARAM, J.J.YEATES and S.SANDOVER. 1993. Towards a reliable prediction of time to flowering in six annual crops. II. Soybean (*Glycine max*). *Experimental Agriculture* 29: 253-289.
- TSOU, S.C.S. 1992. Post harvest processing and quality evaluation of vegetable soybean. En: Vegetable soybean production. Proceedings of a training course. Chiang Mai, Thailand, 18-24 Feb. 1991. *AVRDC Pub.* N° 92-369: 45-46
- WYNSTRA, R.J. 1986. Inmature green soybeans. En: Expanding the use of soybean. *INTSOY Agenda*: 16-17.