

# Crecimiento Determinado e Indeterminado de la Soja en Dos Épocas de Siembra en Costa Rica<sup>1</sup>

E. Villalobos\*, G. Avila\*, C. Echandi \*

## ABSTRACT

The development and agronomic performance of four determinate ( $dt_1$ ) and six indeterminate ( $Dt_1$ ) soybean genotypes were studied in response to two planting dates in Costa Rica: 18 May (increasing photoperiod) and 24 September (decreasing photoperiod). Supplemental irrigation was used at the end of the second growing period, to maintain soil moisture near field capacity, as it occurred during the first planting. Since other climatic factors were relatively constant, photoperiod was considered the major factor influencing plant development and productivity. Under decreasing photoperiods, the time to first flowering was reduced in seven and eight days, in the  $dt_1$  and  $Dt_1$  genotypes, respectively. The duration of the period between  $R_2$  and  $R_7$  was reduced in 12 days in both groups of genotypes. Consequently, a drastic reduction in total dry matter, branching, plant height, number of nodes on the main stem, leaf area index (LAI), leaf area duration (LAD), and a decrease of 17% in seed yield, occurred in both stem termination types. The  $Dt_1$  genotypes also reduced the production of nodes after flowering and the degree of indeterminance [(nodes produced after flowering / total number of nodes) x 100], in the September planting. The  $Dt_1$  genotypes flowered five and six days earlier than their  $dt_1$  counterparts, in the first and the second growing period, respectively, but had a period between  $R_2$  and  $R_7$  two days longer than the  $dt_1$ 's, when planted in May and September. The  $Dt_1$  types reached a plant height from 1.25 m to 1.63 m, and had a lodging score greater than the  $dt_1$ 's in the first planting. During the second growing period, plants of both stem termination types did not lodge. In general,  $dt_1$  genotypes, and particularly the improved cultivar IAC-8, had greater LAI, LAD and seed yield than their  $Dt_1$  counterparts.

## COMPENDIO

Se estudiaron el desarrollo y el comportamiento agronómico de cuatro genótipos de soja con crecimiento determinado ( $dt_1$ ) y seis con crecimiento indeterminado ( $Dt_1$ ), en dos épocas de siembra: 18 de mayo (fotoperíodo creciente) y 24 de setiembre (fotoperíodo decreciente). Al final de la segunda época de siembra, se usó riego suplementario para mantener el suelo cerca de la capacidad de campo, igual ocurrió en forma natural en la primera época. Debido a que los demás factores climáticos fueron relativamente constantes, el fotoperíodo se consideró como el principal factor que determinó los cambios en el desarrollo de la planta y la productividad entre las dos épocas de siembra. En condiciones fotoperiódicas decrecientes, el período vegetativo se redujo en siete y ocho días en los genótipos  $dt_1$  y  $Dt_1$ , respectivamente. La duración entre los estados  $R_2$  y  $R_7$  se redujo en 12 días en ambos grupos. Consecuentemente, se dio una drástica reducción en la producción de materia seca total, en la altura de la planta, en el número de nudos en el tallo principal, en la ramificación, en el índice de área foliar (IAF) y en la duración del área foliar (DAF); y una disminución promedio del 17% en la producción de semilla, en ambos grupos de genótipos. En los  $Dt_1$  también disminuyó la producción de nudos después de la floración, y su grado de indeterminación en la siembra de setiembre. Los  $Dt_1$  florecieron cinco y seis días antes que los  $dt_1$ , en la primera y en la segunda época de siembra, respectivamente, y mostraron un período de dos días más prolongado entre  $R_2$  y  $R_7$ , en ambas épocas. Los tipos  $Dt_1$  alcanzaron una altura de planta de 1.25 m a 1.63 m, y un mayor índice de volcamiento que los  $dt_1$ , en la siembra de mayo. En la segunda época no hubo volcamiento en ningún grupo. En general, los genótipos  $dt_1$ , y en particular el cultivar mejorado IAC-8, mostraron mayor IAF, DAF y producción de semilla que los  $Dt_1$ .

## INTRODUCCION

En Costa Rica, la soja podría cultivarse todo el año, si existieran facilidades para irrigar durante la época seca. Tradicionalmente, la soja se siembra en la segunda mitad del año julio a noviembre, según la región, con el fin de aprovechar al máximo el período lluvioso y cosechar cuando hay poca o ninguna precipitación. Eventualmente, la soja se cultiva durante la primera mitad del año, sembrándose al inicio de la época lluviosa: abril o mayo. No obstante, debido a que la cosecha generalmente coincide con una precipitación alta, esta época de cultivo no se ha generalizado.

<sup>1</sup> Recibido para publicación el 26 de febrero de 1990.

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT) y a la Oficina Nacional de Semillas, Costa Rica, por el financiamiento parcial de esta investigación.

El primer autor es beneficiario del Programa de Apoyo a Investigadores, patrocinado por el CONICIT.

\* Centro para Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS), Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica.

En Costa Rica (9° 11' N), la diferencia entre el día más largo en junio y el más corto en diciembre, es de aproximadamente una hora (7). Estas variaciones relativamente pequeñas del fotoperíodo han contribuido a que no se haya documentado el efecto de estos cambios en el crecimiento y en la producción de semilla de soja. Este aspecto pasa incluso inadvertido cuando se recomiendan cultivares, para la siembra comercial, o prácticas culturales donde el desarrollo de la planta desempeña un papel importante. En las regiones tropicales, se ha encontrado que las plantas de soja expuestas a condiciones fotoperiódicas crecientes—diciembre a junio—retardan su floración y prolongan su ciclo de vida, en comparación con las que crecen en condiciones fotoperiódicas decrecientes—junio a diciembre—aunque la duración del día en el momento de la siembra sea igual en ambas épocas (21).

En el país se ha dado más importancia a la limitación que impone el fotoperíodo a la adaptación local de cultivares introducidos de latitudes mayores. Por ser la soja una especie de "día corto" (8), la mayoría de los cultivares del sur de los Estados Unidos de América (EE.UU.) y Brasil florecen demasiado temprano para dar una producción aceptable, en las condiciones de días más cortos del trópico (9, 14). Según Hartwig (9), un cultivar de soja que florezca antes de los 45 días, no alcanza el desarrollo vegetativo suficiente para dar una producción aceptable en el trópico. Por otra parte, la existencia de genótipos insensibles al fotoperíodo sólo ha sido confirmada en los grupos de madurez temprana (18).

Algunos autores (25, 26) han encontrado que los genótipos de soja con crecimiento indeterminado ( $Dt_1$ ), florecen primero que aquellos con crecimiento determinado ( $dt_1$ ), provenientes del mismo cruzamiento. Sin embargo, a pesar de que los genótipos  $Dt_1$  de una generación F7 florecieron 18 días antes que los  $dt_1$ , alcanzaron la madurez tres semanas más tarde, lo que les permitió reponerse del efecto negativo de la floración precoz y superar a los genótipos  $dt_1$ , en la producción de semilla (25). Por otra parte, Nagata (17) también encontró que los  $Dt_1$  mostraron un período de floración diez días más largo que los  $dt_1$ , en una población F2. Sin embargo, solamente los genótipos  $Dt_1$  precoces mostraron un período reproductivo de cinco a ocho días mayor que los  $dt_1$ , que florecieron simultáneamente. Los genótipos tardíos mostraron un período reproductivo similar, independientemente de su hábito de crecimiento. Por otra parte, Wilcox y Frankengerger (28) no encontraron diferencia en la duración del período vegetativo o reproductivo en cultivares  $Dt_1$  y  $dt_1$  adaptados al norte de EE.UU. en respuesta a la época de siembra.

Algunos investigadores (26, 27) han demostrado que en condiciones ambientales variables, los genótipos  $Dt_1$  manifiestan una mayor estabilidad de producción que los  $dt_1$ .

Con esta investigación se pretendió documentar la influencia de la época de siembra mayo y setiembre en la duración entre los estados específicos del desarrollo de la planta, y el comportamiento agronómico de genótipos de soja con crecimiento determinado e indeterminado, y, en su mayoría, provenientes de un mismo cruzamiento.

#### MATERIALES Y METODOS

Se realizaron dos experimentos en la Estación Experimental Fabio Baudrit, ubicada a 10° 01' de latitud Norte, 84° 14' longitud Oeste y a 840 metros sobre el nivel del mar. La primera siembra se hizo el 18 de mayo de 1987 y la segunda el 24 de setiembre del mismo año, ambas en la misma parcela.

Se usaron seis genótipos indeterminados ( $Dt_1$ ): el cultivar SIATSA-194 y las líneas L-40, L-79, L-75, L-108-7 y L-1; y cuatro genótipos determinados ( $dt_1$ ): los cultivares IAC-8 y Júpiter-R, y las líneas L-108-4 y L-2. Las líneas experimentales  $Dt_1$  y  $dt_1$  fueron seleccionadas por el M. Sc. Rafael Montero, fitomejorador de la Universidad de Costa Rica, de una generación avanzada del cruzamiento (D49-2491 x Bilomi 3), introducida de Arkansas (EE.UU.) a Costa Rica, en 1984. De este cruzamiento se seleccionó el cultivar Júpiter hace varios años (6). El cultivar IAC-8 tiene un progenitor común con el cultivar Júpiter. El cultivar SIATSA-194 tiene diferente origen a los anteriores, pero se incluyó en el estudio porque, junto con 'IAC-8' y 'Júpiter', forman parte de los cultivares recomendados por el Comité Varietal de Soja, para la siembra comercial en Costa Rica.

En el primer experimento, no se pudo estudiar el comportamiento agronómico de las dos líneas determinadas, L-108-4 y L-2, ni del cultivar SIATSA-194, debido al bajo porcentaje de germinación que alcanzaron.

En los dos experimentos se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones.

La siembra se hizo en parcelas de siete surcos de 5 m de largo, separados 0.5 m entre sí. Los tres surcos centrales, después de eliminar 0.5 m de los extremos, se utilizaron para evaluar la producción de semilla y el comportamiento agronómico. Los dos surcos de los extremos se usaron como bordes, y los otros dos surcos para evaluar aquellas variables que requerían la eliminación de plantas.

La semilla se sembró aproximadamente a 4 cm de profundidad. A los 12 días se efectuó un raleo, para dejar 15 plantas por metro (300 000 plantas/ha). Al momento de ralear, la mayoría de las plantas tenían las hojas unifolioladas completamente expandidas y una hoja trifoliolada bien desarrollada.

En la Fig. 1 se presentan la temperatura promedio máxima y mínima, la humedad relativa, la precipitación pluvial, el fotoperíodo y la radiación solar que prevalecieron durante la investigación.

En la siembra del primer experimento, se aplicó un riego de 25 mm, para favorecer una germinación uniforme. Durante el segundo experimento se aplicaron siete riegos distribuidos durante el ciclo de cultivo de la siguiente manera: 73 mm a los 48, 54 y 60 días; 64 mm a los 67 días; 51 mm a los 72 días, y 38 mm a los 78 y a los 84 días de la siembra (Fig. 1).

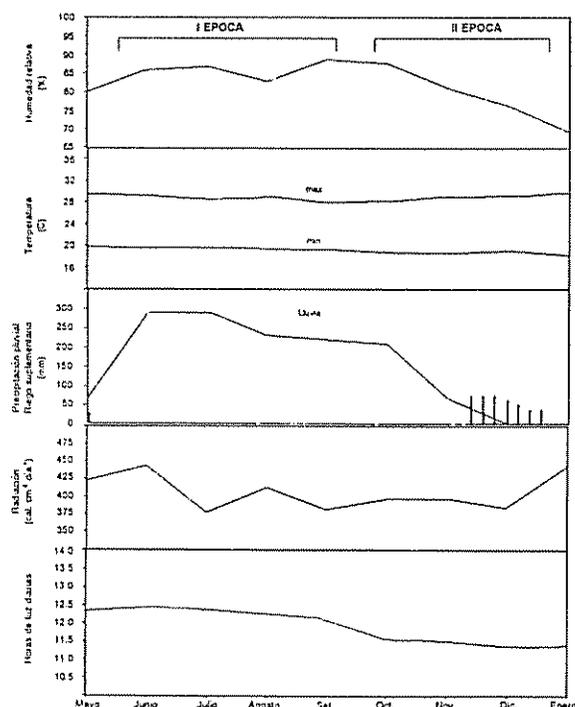


Fig 1. Datos climáticos prevalecientes en la Estación Experimental Fabio Baudrit durante el período del estudio (mayo de 1987 a enero de 1988).

En la segunda época de siembra, se aplicó agua abundante para mantener la humedad del suelo en condiciones similares al primer experimento. No obstante, con el fin de evitar la escorrentía excesiva, y

debido a la mayor precocidad que mostraron los materiales en el segundo experimento, la cantidad de agua aplicada a partir de los 54 días de la siembra fue menor que la lluvia que cayó a partir de ese momento, en la primera época (Fig. 1). Sin embargo, el contenido de humedad del suelo fue cercano a la capacidad de campo. Esto permitió minimizar la influencia del agua en el desarrollo y en la producción de semilla entre las dos épocas de siembra, y atribuir las diferencias principalmente al fotoperíodo.

El suelo de la parcela experimental fue un Typic Ustropept, de origen coluvial y de depósitos de cenizas volcánicas, con 7% de materia orgánica y contenidos de K, Ca y Mg de 0.5, 5.6 y 1.0 mEq/100 ml suelo, respectivamente. Sus contenidos de arena, limo, arcilla y agua disponible fueron del 33%, 45%, 22% y 16%, en ese orden.

La fertilización y la inoculación fueron similares en los dos experimentos. Se aplicaron 18.2 kg/ha N; 54.6 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 18.2 kg/ha K<sub>2</sub>O, mediante el uso de la fórmula comercial 10-30-10. Inmediatamente antes de la siembra, se aplicaron aproximadamente 4 g de un inoculante granulada (Nitragin), a cada surco de 5 metros.

En cada siembra se aplicó una mezcla de herbicidas alaclor (Lazo) con linurón (Afalón), en preemergencia, a razón de 1.5 l/ha y 1 kg/ha de producto comercial, respectivamente. Esta mezcla ejerció un buen control de malezas monocotiledóneas y dicotiledóneas. El control químico de malezas se complementó con dos deshierbas manuales en cada experimento.

También se logró un control eficaz de insectos al realizar seis y cinco aplicaciones alternas de acefato (Orthene), metomil (Lannate) y metamidofos (Tamaron) a las dosis comerciales, en el primer y segundo experimento, respectivamente. Se pretendió así minimizar el daño por insectos para evitar alterar un análisis de crecimiento, el que se hizo como un estudio complementario (1). Tampoco se presentaron ataques significativos de bacterias, virus u hongos durante el ciclo de cultivo.

Se evaluaron la producción de semilla, el índice de cosecha [(peso seco semillas/peso seco total) x 100], el "grado de indeterminación" [(nudos después de la floración/total de nudos) x 100] (24), la altura de la planta, el número de nudos a la floración y a la cosecha, y el acame.

Muestras aleatorias que incluyeron las plantas en 0.5 m de los surcos destinados para ese propósito, se usaron para calcular el índice de área foliar máximo (IAF max.), la duración del área foliar (DAF), el peso seco total y de las ramas, y la proporción del peso seco de las ramas respecto del peso seco total. El peso seco de

las partes de la planta se obtuvo al secar las muestras por tres días consecutivos a 60°C, en una estufa con flujo de aire.

La estimación del área foliar (AF), requerida para calcular el IAF y la DAF, se logró al obtener un factor de conversión de peso seco en área, de una muestra foliar representativa de los diferentes estratos del dosel. Este factor, calculado cada vez que se hizo un muestreo, se usó para transformar en área el peso seco del follaje total, obtenido de los 0.5 m del surco.

Durante la primera y la segunda época de siembra, se hicieron siete y seis mediciones del AF, a intervalos de 14 d después de la siembra, excepto el último muestreo, hecho 22 y 10 d después del penúltimo, en la primera y en la segunda siembra, respectivamente. Estos valores de AF se emplearon para estimar la DAF, que es una integración del AF en el tiempo. La DAF se obtuvo calculando y sumando el área de los trapecios que se forman al graficar el AF (eje y) en el tiempo

(eje x), según lo proponen Kvet *et al.* (13). El valor máximo de IAF (metro cuadrado de follaje/metro cuadrado de suelo) coincidió con la época del llenado de vainas y se analizó como una variable independiente.

El peso seco del tallo y ramas se obtuvo en el momento en que se hizo el último muestreo foliar. El peso de la semilla se corrigió al 12% de humedad. Los estados del desarrollo de la planta se identificaron mediante el procedimiento propuesto por Fehr y Caviness (12).

Además del análisis estadístico individual de cada experimento, se hizo un análisis combinado de los dos experimentos, para comparar el comportamiento agronómico de los genótipos en las dos épocas de siembra, previa confirmación de la homogeneidad de las variancias. Para comparar las medias de los tratamientos en cada época de siembra, se usó la prueba de la diferencia mínima significativa.

**Cuadro 1.** Días entre estados del desarrollo vegetativo en genótipos determinados e indeterminados de soja, en respuesta a la época de siembra (I=18 mayo II=24 setiembre)<sup>1</sup>

Genótipos	Siembra — VI		VI — V2		V2 — V3		V3 — V4		V4 — V5		V5 — V6	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
<b>Determinados</b>												
IAC-8	11	9	4	7	6	6	3	4	4	4	4	5
Júpiter-R	11	9	4	7	7	5	5	5	4	4	4	4
L-108-4	11	9	4	7	6	5	3	5	4	4	4	4
L-2	11	9	4	7	6	5	3	4	4	4	5	5
<b>Medias</b>	11	9	4	7	6.2	5.2	3.5	4.5	4	4	4.2	4.5
<b>Indeterminados</b>												
L-40	11	9	4	7	6	5	6	4	4	4	3	4
L-79	11	9	4	7	6	5	3	5	4	4	3	4
L-75-10	11	9	4	7	7	6	5	4	4	4	4	4
L-108-7	11	9	4	7	6	5	3	4	5	4	3	4
L-1	11	9	4	7	6	5	3	5	4	4	5	4
Siatsa-194	11	9	4	7	6	6	3	3	4	4	4	4
<b>Medias</b>	11	9	4	7	6	5.3	3.8	4.2	4.2	4	3.7	4

Cuadro 1. (Continuación)

Genótipos	V6 - V7		V7 - V8		V8 - V9		V9 - RI		Siembra - RI	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
<b>Determinados</b>										
IAC-8	5	5	3	—	3	—	—	—	43	40
Júpiter-R	3	5	4	4	3	—	7	—	52	43
L-108-4	4	5	4	7	3	—	11	—	54	46
L-2	4	5	3	3	3	4	10	—	53	46
<b>Medias</b>	4	5	3.5	4.7	3	—	9.3	—	51	44
<b>Indeterminados</b>										
L-40	4	—	4	—	—	—	—	—	42	33
L-79	4	5	4	—	3	—	6	—	48	39
L-75-10	2	5	3	—	3	—	4	—	47	39
L-108-7	4	6	3	—	3	—	5	—	46	39
L-1	4	5	3	—	3	—	2	—	45	39
Siatsa-194	4	4	3	—	3	—	5	—	46	37
<b>Medias</b>	3.7	4.2	3.3	—	3	—	3.7	—	46	38

1 Los estados de desarrollo vegetativo se determinaron de acuerdo con el procedimiento propuesto por Fehr y Caviness (12).

## RESULTADOS Y DISCUSION

La reducción progresiva del fotoperíodo que ocurrió cuando la soja se sembró el 24 de setiembre (Fig. 1), indujo una merma en promedio del período vegetativo en 7 d y 8 d con respecto a la siembra de mayo, en los genótipos dt<sub>1</sub> y Dt<sub>1</sub>, respectivamente. Por otra parte, en la segunda época de siembra, el período de floración a madurez temprana (R<sub>2</sub> a R<sub>7</sub>) disminuyó en un promedio aproximado de 12 d, en ambos genótipos (Cuadros 1 y 2). Otros investigadores (21), en condiciones tropicales y en latitudes mayores (14, 16), también han observado una reducción en el período vegetativo y reproductivo de la soja entre genótipos con diferente hábito de crecimiento, en respuesta al fotoperíodo descendente.

La duración de intervalos entre estados específicos del desarrollo vegetativo, entre los genótipos dt<sub>1</sub> y Dt<sub>1</sub>, fue muy similar en cada una de las épocas de siembra. Las diferencias en precocidad entre los dos grupos de genótipos ocurrieron básicamente después del estado V<sub>9</sub> en la primera época y después del V<sub>7</sub> en la segunda

(Cuadro 1), y no en el período en que los genótipos tardaron en alcanzar esos estados de desarrollo. Por el contrario, hubo más diferencias entre los dos grupos de genótipos, en la duración en promedio de los intervalos entre estados de desarrollo reproductivo, que en la duración entre estados específicos del desarrollo vegetativo (Cuadro 2). Sin embargo, esas diferencias no fueron consistentes en las dos épocas de siembra. En la primera época, los genótipos dt<sub>1</sub> tendieron a prolongar la duración del período R<sub>7</sub> a R<sub>8</sub>, razón por la que se decidió aplicar paraquat en el estado R<sub>7.5</sub>, para proceder a la segunda etapa de la investigación (Cuadro 2). En algunos casos, inclusive, hubo más diferencias entre genótipos con el mismo hábito de crecimiento, que entre el promedio de ambos grupos.

Debe considerarse que la duración entre estados específicos del desarrollo es afectada por otros factores ambientales, además del fotoperíodo y del genótipo (10, 11, 12). La temperatura tiene una gran influencia en el desarrollo vegetativo, especialmente en los estados iniciales (12), por lo que pueden esperarse cambios considerables en la duración de un estado

vegetativo al otro. Así por ejemplo, un incremento de tres días en la duración del estado V<sub>1</sub> al V<sub>2</sub>, presente en todos los genótipos en la segunda época de siembra, con respecto a la primera, probablemente se debió a una ligera disminución en la temperatura promedio máxima que ocurrió en setiembre y octubre (Fig. 1).

Como consecuencia de la precocidad inducida en la segunda época de siembra en todos los genótipos, se dio una disminución en la materia seca total, en la ramificación, en la altura de la planta, en el número de nudos en el tallo principal, en el IAF, en la DAF y en la producción de semilla (Cuadro 3). La reducción promedio en la producción de semilla fue de aproximadamente un 17% en los genótipos Dt<sub>1</sub> y dt<sub>1</sub> que se evaluaron en las dos épocas de siembra, contrario a las observaciones de otros investigadores (26,27), quienes han determinado una mayor estabilidad en los genótipos Dt<sub>1</sub>, en situaciones climáticas variables.

Además, hay dos aspectos negativos, desde el punto de vista de la productividad, que estuvieron asociados con el tipo de crecimiento indeterminado. En primer lugar, los genótipos Dt<sub>1</sub> iniciaron la floración más temprano que los dt<sub>1</sub> (cinco y seis días en la primera y en la segunda época de siembra, respectivamente), lo cual coincide con otras investigaciones realizadas con genótipos tropicales (26).

Este aspecto resulta indeseable, porque obliga a la planta a entrar en el desarrollo reproductivo, cuando aún no ha alcanzado un desarrollo vegetativo y un área foliar suficientes, para dar una producción de semilla aceptable (9, 15). De hecho, esto ha limitado la adaptación en el trópico de cultivares provenientes de otras latitudes (9). En segundo lugar, los Dt<sub>1</sub> mostraron un alto índice de volcamiento en la primera época de siembra, lo cual resulta contraproducente para la producción (5). Ese alto grado de volcamiento, probablemente habría imposibilitado la cosecha mecánica de esos genótipos.

**Cuadro 2.** Días entre estados de desarrollo reproductivo en genótipos determinados e indeterminados de soja, en respuesta a la época de siembra (I=18 mayo y II=24 setiembre)<sup>1</sup>.

Genótipos	R2 — R3		R3 — R4		R4 — R5		R5 — R6		R6 — R7	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
<b>Determinados</b>										
IAC-8	14	5	4	8	6	4	26	21	12	9
Júpiter-R	10	4	4	5	7	5	28	21	8	10
L-108-4	9	3	4	7	5	4	28	21	8	9
L-2	10	3	7	6	5	5	19	20	13	10
<b>Medias</b>	10.8	3.8	4.8	6.5	5.8	4.5	25.2	20.8	10.2	9.5
<b>Indeterminados</b>										
L-40	14	7	4	4	7	4	19	20	16	16
L-79	11	6	9	4	5	4	19	19	12	15
L-75-10	15	6	6	4	5	4	23	19	10	15
L-108-7	15	6	5	4	4	4	22	19	14	15
L-1	14	6	3	4	6	4	20	19	16	15
Siatsa-194	12	6	7	4	5	4	23	19	10	15
<b>Medias</b>	13.5	6.2	5.7	4	5.3	4	21	19.2	13	15.2

Cuadro 2. (Continuación)

Genótipos	R2 — R7		R7 — R8		Nudos a R1		Nudos a R8		G.I. (%)	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
<b>Determinados</b>										
IAC-8	62	47	1	7	9	7	10	9	0.1	0.2
Júpiter-R	57	45	7	8	11	8	11	9	0.0	0.1
L-108-4	54	44	*	8	11	8	—	9	—	0.1
L-2	54	44	*	8	12	9	—	9	—	0.0
<b>Medias</b>	56.8	45	—	8	11	8	—	9	—	0.1
<b>Indeterminados</b>										
L-40	60	51	8	7	8	6	16	9	50	33
L-79	56	48	9	7	11	7	21	11	48	36
L-75-10	59	48	9	7	10	7	19	10	47	30
L-108-7	60	48	9	7	11	7	18	10	39	30
L-1	59	48	9	7	10	7	18	11	44	36
Siatsa-194	57	48	9	7	11	7	—	10	—	30
<b>Medias</b>	58.5	46.8	9	7	10	7	—	10	46	32

1 Simbología: G.I. = Grado de indeterminación según Thseng y Hosokawa (24). Los estados de desarrollo reproductivo se determinaron de acuerdo con el procedimiento propuesto por Fehr y Caviness (12).

\* Se aplicó paraquat (1 l/ha) en el estado R<sub>7,5</sub> para facilitar la cosecha.

Otros investigadores (25) han encontrado que los genótipos Dt<sub>1</sub> logran recuperarse del efecto negativo de la floración temprana, al prolongar el período reproductivo por varios días. En esta investigación, este aspecto no fue importante ya que la duración del período de la floración a la madurez temprana (R<sub>2</sub> a R<sub>7</sub>), en los genótipos Dt<sub>1</sub>, fue, en promedio, poco menos de dos días mayor que en los dt<sub>1</sub> (Cuadro 2). Por el contrario, la producción de nudos en el tallo principal (ocho y tres en la primera y segunda época, respectivamente) y en las ramas secundarias, si influyó positivamente en que los genótipos Dt<sub>1</sub> lograran contrarrestar el efecto negativo de la fotoinducción y del volcamiento, y alcanzar una producción en promedio de 2 t a 8 t en la primera siembra (Cuadro 3). Esa producción, si bien es inferior a la producción promedio de los cultivares mejorados dt<sub>1</sub>, es aceptable en condiciones tropicales.

En la segunda época de siembra se dio una reducción de la altura de la planta a la cosecha, evidentemente

mayor en los genótipos Dt<sub>1</sub> (57% versus 17%, en los cultivares dt<sub>1</sub>), lo cual concuerda con los resultados obtenidos por Wilcox y Frankenberger (28), aunque la reducción en la altura de la planta, encontrada por estos investigadores en los cultivares Dt<sub>1</sub>, fue de menor magnitud. Esta reducción en la altura de la planta evitó el acame en los dos grupos (Cuadro 3). De igual forma, el número de nudos en el estado R<sub>1</sub> y en el R<sub>7</sub> se redujo en todos los genótipos, pero esa merma fue mayor en los genótipos Dt<sub>1</sub>, similar a lo observado por Wilcox y Frankenberger (28), en cultivares Dt<sub>1</sub> del norte de EE.UU. en respuesta a la siembra tardía. En los genótipos Dt<sub>1</sub> también disminuyó la producción de nudos después de la floración y, en consecuencia, se redujo su "grado de indeterminación" (Cuadro 2), como ha sido observado en otras ocasiones (3, 27).

En términos generales, los genótipos dt<sub>1</sub>, y particularmente el cultivar IAC-8, mostraron un IAF y una DAF mayores que los Dt<sub>1</sub>. Esto puede explicar, en

parte, las diferencias en la producción de semilla que se encontraron en los genótipos incluidos en el estudio, especialmente la mayor productividad del cultivar mencionado. A pesar de que no hubo diferencias marcadas en la producción de semilla, especialmente en la segunda época de siembra, la correlación del IAF y la DAF con la producción fue de 0.67\*\* y 0.63\*\*, respectivamente. Es evidente que la cantidad de superficie asimilatoria y su duración son elementos importantes para que un genótipo de soja pueda alcanzar una adecuada producción de semilla. La DAF es un buen indicador, en otras especies, de una alta productividad (23).

Es importante señalar que el IAF máximo de los genótipos que se incluyeron en esta investigación, aun en la primera época de siembra, fue muy bajo, en relación con los índices que se alcanzan en las principales regiones productoras de soja en el mundo (19, 22). Un IAF máximo de tres, como el que alcanzaron

la mayoría de los genótipos en la segunda época de siembra (Cuadro 3), puede incluso alcanzar la saturación de luz (22). Esta observación es preocupante, si se toma en cuenta que el cultivo de la soja en Costa Rica resulta más apropiado al final de la época lluviosa (julio a octubre, según la región), ya que de esta forma se hace coincidir la cosecha con la época seca y se obtiene una semilla de mejor calidad. Para esta época de siembra, debería procurarse el desarrollo de cultivares mejorados, que muestren una precocidad comparable con la de los genótipos usados en este estudio, durante la primera época de siembra (Cuadros 1 y 2). Esta observación coincide con la opinión de algunos investigadores (9, 15), quienes han estudiado la adaptación de la soja en condiciones tropicales.

El índice de cosecha disminuyó considerablemente en los cultivares dt<sub>1</sub>, y aumentó ligeramente en los genótipos Dt<sub>1</sub> en la segunda época de siembra (Cuadro 3). El pequeño aumento del índice de cosecha en

Cuadro 3. Comportamiento agronómico de genótipos de soja con diferente hábito de crecimiento en dos épocas de siembra (I=18 mayo y II=24 setiembre), en Alajuela, Costa Rica<sup>a</sup>.

Genótipos	Producción (kg.ha <sup>-1</sup> )		I.C. (%)		P.S. total P.S. ramas (g.m <sup>-2</sup> )				Relación peso seco (ramas/total)	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
<b>Determinados</b>										
IAC-8	3 740	2 791	44	26	1 193	693	130	33	0.105	0.040
Júpiter-R	3 000	2 794	40	34	1 052	694	88	20	0.080	0.025
L-108-4	—	2 525	—	31	—	565	—	13	—	0.027
L-2	—	2 523	—	30	—	666	—	33	—	0.047
Medias	3 370	2 658	42	30	1 122	654	109	25	0.092	0.035
<b>Indeterminados</b>										
L-40	3 081	2 453	41	42	1 022	592	36	12	0.032	0.017
L-79	2 710	2 467	35	39	1 076	564	80	17	0.070	0.030
L-75-10	2 838	2 313	38	43	1 039	520	66	12	0.063	0.020
L-108-7	2 671	2 232	39	42	993	458	60	13	0.058	0.022
L-1	2 937	2 275	39	39	939	545	48	12	0.047	0.017
Siatsa-194	—	2 577	—	41	—	495	—	27	—	0.050
Medias	2 847	2 386	38	41	1 014	529	58	16	0.054	0.026
DMS( $\alpha=0.05$ ) <sup>a</sup>	470	605	7	5	256	173	22	9	0.017	0.011
<b>ANDEVA<sup>c</sup></b>										
Epoca (E)	**		ns		**		**		**	
Genótipo (G)										
HC	**		**		**		**		**	
G(HC)	ns		ns		ns		**		**	
HC * E	ns		**		ns		**		**	
G(HC) * E	ns		*		ns		**		**	

Cuadro 3. (Continuación)

Genótipos	IAF máximo (m <sup>2</sup> . m <sup>-2</sup> )		Altura de la planta floración cosecha (cm)				Duración área foliar (d.m <sup>2</sup> . m <sup>-2</sup> )		Acame	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
<b>Determinados</b>										
IAC-8	4.1	2.7	69	51	84	65	228	107	2.5	1.0
Júpiter-R	3.5	2.1	64	48	70	62	184	100	1.0	1.0
L-108-4	—	2.5	—	51	—	62	—	99	—	1.0
L-2	—	2.5	—	53	—	60	—	109	—	1.0
Medias	3.8	2.5	67	51	77	62	206	104	1.8	1.0
<b>Indeterminados</b>										
L-40	3.3	2.1	61	40	126	66	171	86	3.2	1.0
L-79	3.8	2.0	65	38	163	64	199	85	3.8	1.0
L-75-10	3.3	1.7	49	36	134	54	187	77	3.0	1.0
L-108-7	3.2	1.7	51	34	125	53	185	82	2.5	1.0
L-1	2.8	1.6	66	38	146	65	176	79	2.5	1.0
Siatsa-194	—	1.8	—	40	—	56	—	89	—	1.0
Medias	3.3	1.8	58	38	139	60	184	83	3.0	1.0
DMS( $\alpha=0.05$ ) <sup>b</sup>	0.9	0.6	8	4	18	8	32	16	1.4	—
<b>ANDEVA<sup>c</sup></b>										
Epoca (E)	**		**		**		**		**	
Genótipo (G)										
HC	**		**		**		**		**	
G(HC)	*		**		**		**		**	
HC * E	ns		ns		**		ns		**	
G(HC) * E	ns		*		**		ns		ns	

a Simbología: LC =Índice de cosecha; PS =Peso seco; IAF=Índice de área foliar; HC=Hábito de crecimiento.

b La prueba estadística de la diferencia mínima significativa (DMS  $\alpha=0.05$ ) está basada en los análisis independientes, y permite comparar valores dentro de una misma época (columna)

c En el análisis combinado sólo se incluyeron los siete genótipos comunes a los dos experimentos; \*\* =  $\alpha < 0.01$ ; \* =  $\alpha < 0.05$ ; ns =  $\alpha > 0.05$ .

los cultivares Dt<sub>1</sub> se debió a que en la segunda época de siembra no ocurrió el crecimiento desmedido del tejido de sostén que se presentó en la primera época.

No hubo correlación entre el índice de cosecha y la producción. Los coeficientes de correlación entre estas dos características, para los genótipos dt<sub>1</sub> en la primera y en la segunda época de siembra fueron 0.55<sup>n3</sup> y 0.13<sup>n3</sup>, y para los genótipos, Dt<sub>1</sub> -0.07<sup>n3</sup> y -0.18<sup>n3</sup>, respectivamente. En otras investigaciones (2, 20), esta asociación ha sido errática e incluso negativa (4). Tampoco se encontró una relación consistente entre el índice de cosecha y el hábito de crecimiento (Cuadro 3), lo que concuerda con Schapaugh y Wilcox (20). En la primera época, el índice de cosecha fue mayor en los genótipos dt<sub>1</sub>, similar a los resultados obtenidos por

Beaver *et al.* (2) y por Wilcox y Frankenberger (28), pero en la segunda época se encontró una relación inversa (Cuadro 3).

### CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación ponen en evidencia la importancia del fotoperíodo y del hábito de crecimiento, en la adaptación de la soja en el trópico. Evidentemente, los genótipos Dt<sub>1</sub> son inapropiados para la siembra en condiciones fotoperiódicas ascendentes y de alta precipitación, debido al alto grado de volcamiento que alcanzan. En su lugar, los cultivares dt<sub>1</sub>, incluso más precoces que los que se usaron en esta investigación, podrían adaptarse mejor a las con-

diciones climáticas que imperan en los primeros meses de la época lluviosa. De esta forma, se podría adelantar la siembra utilizando riego inicialmente, y se haría coincidir la cosecha con un período de menor humedad, que se presenta generalmente a finales de julio y principios de agosto. En condiciones fotoperiódicas decrecientes, el hábito de crecimiento pierde importancia como característica varietal. En estas condiciones, los cultivares Dt<sub>1</sub> ó dt<sub>1</sub>, más tardíos que los que se emplearon en esta investigación, deben mostrar un mejor desarrollo y potencial productivo. Sin embargo, es prácticamente imposible lograr estos fines mediante la simple introducción de material genético adaptado a latitudes mayores. Estas observaciones señalan la necesidad de implementar programas locales de mejoramiento genético, tendentes a desarrollar cultivares de soja que se adapten a las condiciones agroclimáticas específicas que prevalecen en diferentes regiones del país y en diferentes épocas del año.

#### LITERATURA CITADA

1. AVILA, G. 1989. Desarrollo y comportamiento agronómico de genótipos de soja con diferente hábito de crecimiento, en condiciones fotoperiódicas crecientes y decrecientes. Tesis Ing. Agr. San Pedro de Montes de Oca, C.R., Universidad de Costa Rica. 52 p.
2. BEAVER, J.S.; COOPER, R.L.; MARTIN, R.J. 1985. Dry matter accumulation and seed yield of determinate and indeterminate soybeans. *Agronomy Journal* (EE.UU.) 77(5):675-679.
3. BERNARD, R. 1972. Two genes affecting stem termination in soybean. *Crop Science* (EE.UU.) 12:235-239.
4. BUZZELL, R.I.; BUTTERY, B.R. 1977. Soybean harvest index in hill-plots. *Crop Science* (EE.UU.) 17:968-970.
5. COOPER, R.L. 1971. Influence of early lodging on yield of soybean (*Glycine max* (L.) Merr). *Agronomy Journal* (EE.UU.) 63:449-450.
6. FLORIDA AGRICULTURAL EXPERIMENT STATION (EE.UU.). 1972. Jupiter: A new soybean variety for tropical latitudes. Circular S-127. 12 p.
7. FRANCIS, C.A. 1972. Natural daylengths for photoperiod sensitive plants. CIAT. Technical Bulletin 2:1-32.
8. GARNER, W.W.; ALLARD, H.A. 1920. Effect of the relative length of day and night and other factors of the environment on growth and reproduction of plants. *Journal Agricultural Research* (EE.UU.) 18:553-606.
9. HARTWIG, E.E. 1970. Growth and reproductive characteristics of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) grown under short day conditions. *Tropical Science* (G.B.) 12:47-53.
10. HESKETH, J.D.; MYHRE, D.I.; WILLEY, C.R. 1973. Temperature control of time intervals between vegetative and reproductive events in soybeans. *Crop Science* (EE.UU.) 13:250-254.
11. HUXLEY, P.A.; SUMMERFIELD, R.J.; HUGHES, A.P. 1976. Growth and development of soybean cv. TK5 as affected by tropical daylengths, day/night temperatures and nitrogen nutrition. *Annals of Applied Biology* (U.K.) 82:117-133.
12. IOWA COOPERATIVE EXTENSION SERVICE. 1977. Stages of soybean development. Special Report no 80. 11 p.
13. KVEI, J.; ONDOK, J.P.; NECAS, J.; JARVIS, P.G. 1971. Methods of growth analysis. In Plant photosynthetic production: Manual of methods. Z. Sestak; J. Catsky; P.G. Jarvis (Eds.) La Haya, Holanda, W. Junk Pub. p. 343-391.
14. JOHNSON, H.W.; BORTHWICK, H.A.; LEFFEL, R.T. 1960. Effect of photoperiod and time of planting on rates of development of the soybean in various stages of the life cycle. *Botanical Gazette* (EE.UU.) 122:77-95.
15. LEAKEY, C.L.; BUBAIHAYO, P.R. 1970. Soybean as a potentially valuable crop for agricultural diversification in Uganda. *East African Agriculture and Forestry Journal* (Kenia) 36:39-44.
16. NAGATA, T. 1960. Agronomic studies on the genealogical differentiation of soybeans in Japan and the world. Scientific Report Hyogo University of Agriculture (Japón) 4:96-122-14.
17. NAGATA, T. 1960. Morphological, physiological and genetic aspects of the summer vs. autumn soybean habit, the plant habit and interrelation between them in soybeans. Scientific Report Hyogo University of Agriculture (Japón) 4:71-95.
18. NISSLY, C.R.; BERNARD, R.L.; HITTLE, C.N. 1981. Variation in photoperiod sensitivity for time of flowering and maturity among soybean strains of maturity group. III. *Crop Science* (EE.UU.) 21:833-836.
19. PEDRO, M.J.; MASCARENHAS, H.A.; TISSELI, O.; ANGELOCCI, L.R. 1984. Análise de crescimento em soja. *Turrialba* (C.R.) 35:323-327.
20. SCHAPAUGH, W.T.; WILCOX, J.R. 1980. Relationship between harvest index and other plant characteristics in soybeans. *Crop Science* (EE.UU.) 20:529-533.
21. SHANMUGASUNDARAM, S. 1979. Variation in the photoperiodic response on several characters in soybean, (*Glycine max* (L.) Merrill). *Annals of Botany* (U.K.) 42:213-222.
22. SHIBLES, R.M.; ANDERSON, I.C.; GIBSON, A.H. 1975. Soybean. In *Crop physiology*. L.T. Evans (Ed.) New York, Cambridge University Press. p. 151-189.

23. SPIERTZ, J.H.; TEN HAG B.A.; KUPERS, L.J. 1971. Relation between leaf area duration and grain yield in some varieties of spring wheat. *Netherland Journal of Agricultural Science (Holanda)* 19:211-222
24. THSENG, F.; HOSOKAWA, S. 1972. Significance of growth habit in soybean breeding. I. Varietal differences in characteristics of growth habit. *Japanese Journal of Breeding (Japón)* 22(5):261-268.
25. THSENG, F. 1975. Significance of growth habit in soybean breeding. IV. Progeny characteristic differences in growth habit of a cross between determinate and indeterminate varieties. *Journal of the Agriculture Association of China (China)* 90:44-53.
26. THSENG, F.; HUANG, P. 1976. Significance of growth habit in soybean breeding. V. Variabilities of several characters in determinate and indeterminate varieties in various cultural environments. *Journal of the Agriculture Association of China (China)* 93:43-54
27. VILLALOBOS, E.; SHIBLES, R. 1985. Response of determinate and indeterminate tropical soybean cultivars to water stress. *Field Crop Research (Holanda)* 59:45-52.
28. WILCOX, J.R.; FRANKENBERGER, E.M. 1987. Indeterminate and determinate soybean responses to planting date. *Agronomy Journal (EE.UU.)* 79:1074-1078.

## LIBRO RECOMENDADO

ECOLOGÍA  
basada en zonas de vida  
L.R. Holdridge



*Ecología Basada en Zonas de Vida* L.R. Holdridge. 3a. reimpr. 1987. 216 p. ISBN 92-9039-131 6.

Esta obra, traducción de *Life Zones Ecology* (1966), presenta un sistema objetivo para clasificar los ecosistemas terrestres en unidades ecológicas básicas, denominadas zonas de vida, con base en los factores climáticos mayores: temperatura, precipitación y humedad. El texto está dirigido principalmente a ecólogos, dasónomos y otros profesionales y estudiosos de los recursos naturales.

US\$8.00

Ver lista de publicaciones disponibles para la venta y boleta de solicitud en la última sección de la revista Turrialba.