

Evaluación agronómica y parámetros genéticos en soya para consumo humano directo en Puerto Rico^{1,2}

Fausto Camacho-Chacón,³ Silvia R. Cianzio⁴ y James S. Beaver⁵

J. Agric. Univ. P.R. 83(3-4):153-167 (1999)

RESUMEN

En las regiones tropicales del hemisferio occidental, el alto contenido de proteína de la soya [*Glycine max* (L.) Merrill] puede mejorar la dieta de la población. Para este propósito, sería necesario desarrollar cultivares adaptados a la región y con semillas de tamaño adecuado para consumo humano. Los objetivos del estudio fueron estimar la heredabilidad de algunas características agronómicas, las correlaciones genéticas y fenotípicas entre ellas y la comparación de las características agronómicas y reproductivas de las líneas, sembradas en distintas fechas en Puerto Rico. En diciembre de 1992 se evaluaron 89 plantas individuales F_{4.5} del cruzamiento de IAC-8 [Grupo de Madurez (GM) IX, no adaptado para consumo humano, con semilla de tamaño mediano] × Kanto-101 (GM III, adaptado para consumo humano, con semilla de tamaño grande), los padres y líneas controles. Las líneas F_{4.6} se evaluaron en ensayos replicados en junio y agosto de 1993. Las características consideradas fueron fecha de la floración completa (R2), fecha del llenado de las vainas (R6), fecha de la madurez completa (R8), altura de las plantas, ancho de las vainas y peso de 100 semillas. Las heredabilidades expresadas a base del promedio de las líneas fueron de intermedias (0.56) a altas (0.96). Las correlaciones fenotípicas y genotípicas variaron de cero a altas (0.96). Las correlaciones de rango fueron intermedias, positivas y significativas, variando desde 0.41 a 0.79. Para todas las características, los genotipos que fueron seleccionados en el 10% superior durante las siembras de junio y agosto, a base del promedio de las líneas, también fueron seleccionados en diciembre, a base de las medidas en plantas individuales. En el trópico, la selección de genotipos de soya con tamaño de semilla ade-

¹Manuscrito sometido a la junta editorial el 14 de octubre de 1998.

²Contribución en conjunto de Iowa Agricultural and Home Economics Experiment Station, Ames, IA, Project 3107, No. J17971, de la Universidad de Costa Rica y de la Estación Experimental Agrícola, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico. La investigación fue financiada en parte por el Consejo para Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT) de Costa Rica.

³Profesor Investigador, Departamento de Agronomía, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

⁴Profesora, Departamento de Agronomía de Iowa State University, Ames, IA 50011, U.S.A., y Profesora *Ad Honorem*, Departamento de Agronomía y Suelos, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, PR 00681.

⁵Investigador, Departamento de Agronomía y Suelos, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico.

cuado para consumo humano directo se puede realizar en distintas épocas de siembra durante el mismo año, en plantas individuales en las etapas iniciales del programa y en ensayos replicados posteriormente.

ABSTRACT

Agronomic traits and genetic parameters in vegetable soybean evaluated in Puerto Rico

In tropical regions of the Western Hemisphere, consumption of high-protein soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] could improve the human diet. It would be necessary however, to develop adapted cultivars of appropriate seed size. The objectives of this study were to estimate heritability and phenotypic and genotypic correlations of agronomic traits, and to compare agronomic and reproductive traits of soybeans grown at different planting dates in Puerto Rico. Eighty-nine F_{4:5} individual plants from the cross of IAC-8 [Maturity Group (MG) IX, not adapted for human consumption, and intermediate seed size] × Kanto-101 (MG III, large-seeded cultivar developed for human consumption), the parents, and checks were planted in December 1992. F_{4:6} lines were evaluated in replicated tests in June and August 1993. Dates of full bloom (R2), of full seed (R6), and of full maturity (R8), plant height, pod width, and 100-seed weight were recorded. On an entry-mean basis, heritability values of all traits were moderately high (0.56) to high (0.96). Phenotypic and genotypic correlations ranged from zero to high (0.96). Rank correlations were moderately high, positive and significant, ranging from 0.41 to 0.79. In general for all traits, genotypes selected in the top 10% in the plantings of June and August, on the basis of entry means, would also have been selected as individual plants in the December planting. These results suggest that in the tropics genotypes may be selected in different planting seasons within the year, initially on the basis of individual plant performance, and later in replicated experiments.

Key words: breeding, heritability estimates, large-seeded soybean

INTRODUCCION

En las regiones tropicales del hemisferio occidental, el alto contenido de proteína de la soya [*Glycine max* (L.) Merrill] puede mejorar la dieta de la población y complementar otras leguminosas en grano que representan un componente importante de la alimentación. Con este propósito, es necesario desarrollar cultivares, adaptados a la región, con tamaño de semilla adecuado para consumo humano. La característica principal a considerar es el tamaño de la semilla, que para estos fines es, generalmente, más grande que las semillas de los cultivares desarrollados para la extracción de aceite. Actualmente, la mayoría de los cultivares disponibles con tamaño de semilla grande pertenecen a los grupos de madurez (GM) adaptados a climas templados (Carter, 1988; Kuwahara, 1987; Mounts et al., 1987). Estos cultivares sembrados en condiciones tropicales son precoces y no desarrollan las características agronómicas que permiten altos rendimientos (Minor, 1978). El desarrollo de cultivares adaptados al trópico conllevará cruzamientos entre cultivares para consumo humano no

adaptados al trópico (GM I al V) y cultivares de los GM tardíos (GM VIII y más tardíos). La estrategia de fitomejoramiento a utilizarse, dependerá en parte de los estimadores de parámetros genéticos tal como la heredabilidad de las características agronómicas.

En las zonas tropicales es posible realizar hasta cuatro siembras de soya por año (Cianzio et al., 1991a, 1991b; Esperanza, 1976; Silva et al., 1972), lo que contribuye a acelerar el desarrollo de los cultivares. Las investigaciones realizadas con genotipos de los GM tempranos indican que en Puerto Rico algunas características agronómicas se pueden seleccionar en siembras realizadas durante cualquier época del año (Cianzio et al., 1985; Cianzio et al., 1991a; Esperanza, 1976; Silva et al., 1972). Sin embargo, esta información no está disponible para poblaciones segregantes obtenidas de cruces entre genotipos divergentes en GM. El objetivo principal de este estudio fue estimar la heredabilidad de características agronómicas importantes para el desarrollo de variedades de soya aptas para consumo humano y las correlaciones genéticas y fenotípicas entre ellas. Otro objetivo fue comparar las características agronómicas y reproductivas de las líneas segregantes sembradas en distintas épocas del año en Puerto Rico.

MATERIALES Y METODOS

Los progenitores de la población fueron los cultivares IAC-8 (Montero, 1987) y Kanto-101 (Chushin Agricultural Experiment Station, 1988). IAC-8, un cultivar del GM IX desarrollado en Brasil, tiene alto rendimiento y está adaptado al trópico. En los trópicos las plantas alcanzan una altura promedio de 91 cm, el peso de 100 semillas es de 19.1 g y el contenido de proteína en la semilla es de 39% (expresado a base del peso seco de la semilla). Kanto-101, desarrollado en Japón y adaptado a latitudes altas, pertenece al GM III. En los trópicos la altura promedio de las plantas es de 27 cm, el peso de 100 semillas es de 27 g y el contenido de proteína es de 40% (expresado a base del peso seco de la semilla).

El cruce de IAC-8 x Kanto-101 se realizó en 1989 en la Estación Experimental Agrícola de Chushin, Nagano, Japón, situada a 37°7' latitud norte, 135°55' longitud oeste, y a 740 m sobre el nivel del mar. Las siembras para obtener las plantas de la generación F_1 y para adelantar las generaciones se realizaron en la Estación Experimental Fabio Baudrit de la Universidad de Costa Rica, ubicada en Alajuela, Costa Rica, a 10° latitud norte, 84° longitud oeste y a 800 m sobre el nivel del mar. La semilla F_1 se sembró en diciembre de 1989; las plantas individuales se cosecharon en abril de 1990. En agosto de 1990 se sembraron todas las semillas F_2 obtenidas, y en noviembre del mismo año se cosecharon dos vainas por planta, utilizando una modificación del método de descendencia única

por semilla (Fehr, 1987). En febrero de 1991, se sembraron las semillas F_3 y se cosecharon dos vainas por planta (semilla en la generación F_4).

Las líneas derivadas en F_4 utilizadas en este estudio se obtuvieron en la Subestación de Isabela, Universidad de Puerto Rico, Isabela, Puerto Rico, ubicada a $18^{\circ}30'$ latitud norte, 67° longitud oeste y a 128 m sobre el nivel del mar. En diciembre de 1992 se sembraron cuatro semillas F_4 por cada planta F_3 . En febrero de 1993 se cosechó una planta F_4 al azar, para un total de 89 plantas individuales en F_4 (o líneas derivadas en $F_{4.5}$). En esta misma siembra se identificaron al azar dos plantas F_4 por cada planta F_3 , a las que se les determinó individualmente medidas de desarrollo reproductivo, altura de planta y características de las semillas (ancho de las vainas y peso de 100 semillas). Los progenitores de la población también se incluyeron en la siembra.

Las líneas $F_{4.5}$ se usaron en dos experimentos replicados que se sembraron en Isabela el 1 de junio y el 2 de agosto de 1993. En cada experimento se evaluaron 114 genotipos: 89 líneas $F_{4.5}$, los progenitores Kanto-101, IAC-8, y 23 líneas controles. Para cada experimento se utilizó un diseño de bloques completos al azar con dos replicaciones. De cada genotipo se sembraron 12 semillas en un surco individual de 60 cm de largo. El espacio entre semillas fue 5 cm y la separación entre surcos fue 60 cm. La evaluación de las características se realizó en dos plantas individuales de cada genotipo, que fueron elegidas al azar e identificadas 15 días después de la emergencia.

En los dos experimentos replicados y en la siembra realizada en diciembre de 1992 se evaluaron las características reproductivas, la altura de las plantas, el ancho de la vaina y el peso de 100 semillas. Las características reproductivas fueron la fecha de la floración completa (etapa R2), la fecha del llenado de las vainas (etapa R6), y la fecha de madurez (etapa R8), según las definiciones de Fehr y Caviness (1977). Se calculó el número de días desde la siembra hasta cada una de las etapas reproductivas. La altura de las plantas se midió desde el suelo hasta el ápice, el día en que las plantas alcanzaron la etapa R8, y se expresó en centímetros. Previo al desgrane se midió el ancho de la vaina en 10 vainas (cada una con tres semillas) de tres plantas por parcela. Las medidas se hicieron con un micrómetro, de sutura a sutura en la parte distal de la vaina, y se expresaron en milímetros. Después del desgrane se obtuvo el peso de 100 semillas, que se expresó en gramos.

Los análisis de varianza para cada época de siembra y combinado sobre épocas se realizaron según Steel y Torrie (1980). Las épocas de siembra o ambientes, los genotipos y las replicaciones se consideraron efectos aleatorios. La suma de cuadrados debida a genotipos se dividió entre la variación correspondiente a las líneas $F_{4.5}$, a los padres, a las líneas versus los padres y el residual.

La heredabilidad de las características se estimó a base de los promedios de las líneas, de los promedios de dos plantas individuales en la parcela y a base de las plantas individuales utilizando los componentes de varianzas según Hanson et al. (1956). El error estándar de la varianza genotípica y de la heredabilidad se estimó de acuerdo a Hallauer y Miranda (1981). Se obtuvieron los coeficientes de correlación genotípica, fenotípica y de rangos entre las características.

RESULTADOS Y DISCUSION

Se observaron diferencias significativas entre las épocas de siembra y entre los genotipos en el número de días a la floración (R2), número de días al llenado de las vainas (R6), número de días a la madurez (R8), y en la altura de las plantas (Cuadro 1). El efecto de la interacción de genotipo \times época de siembra también fue significativo para las mismas características. Se detectaron diferencias significativas entre los genotipos en el ancho de las vainas y en el peso de 100 semillas. La interacción genotipo \times época de siembra resultó significativa en el ancho de las vainas. Se observaron diferencias significativas para todas las características entre las líneas $F_{4,6}$, entre los padres y entre las líneas seleccionadas. En la comparación de las líneas $F_{4,6}$ vs. los padres, se observaron diferencias significativas en el número de días a la madurez (R8), en el ancho de las vainas y en el peso de las 100 semillas.

En general para las tres características reproductivas, tanto las líneas como los padres fueron más tardíos cuando la siembra se realizó en junio, que cuando se hizo en agosto (Cuadro 2). El promedio de las líneas $F_{4,6}$ para floración fue seis días más tarde en junio que en agosto; IAC-8 floreció ocho días más tarde mientras Kanto-101 lo hizo un día más tarde. Los días durante el mes de junio son, en promedio, una hora más largos que los días en agosto. En soya el número de días a la floración depende de la longitud de la noche (Parker y Borthwick, 1951) y las diferencias que se observaron en las dos épocas probablemente ocurrieron como respuesta a la duración distinta de la noche. Observaciones similares también han sido informadas para los genotipos de otros grupos de madurez (Cianzio et al., 1991a; Pfeiffer y Pilcher, 1987).

La altura de las plantas fue mayor en la siembra realizada en junio que en la siembra de agosto. Este resultado también está asociado a la duración distinta del fotoperíodo entre las épocas de siembra (Minor, 1978). El ancho de las vainas y el peso de 100 semillas fueron similares en las dos épocas de siembra para todos los genotipos.

En la población no se observó segregación transgresiva en las líneas para ninguna de las características consideradas (Cuadro 2). En general los promedios de la progenie para las etapas R2, R6 y R8, la altura de la

CUADRO 1.—Análisis de varianza combinado para las características reproductivas (R2, R6, y R8), la altura de las plantas, el ancho de las vainas y el peso de 100 semillas de las líneas $F_{4,6}$ del cruce de IAC-8 × Kanto-101, padres y controles evaluados en dos épocas de siembra en Puerto Rico en 1993.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios					
		R2 ¹	R6 ¹	R8 ¹	Altura planta	Ancho vaina	100 semillas
		días			cm	mm	g
Epoca de siembra (S)	1	9732.1**	2148.1**	34484.3**	140606.3**	4.6	55.3
Repeticiones (R)/S	2	20.2*	34.7	4.4	294.7	4.3**	45.8**
Genotipos (G)	113	114.8**	201.3**	237.2**	1065.8**	3.2**	60.4**
Entre líneas	88	58.4**	134.9**	138.0**	716.1**	1.3**	21.3**
Entre padres	1	1296.0**	2025.0**	930.2**	16256.2**	7.0**	18.4*
Líneas vs. padres	1	6.5	40.9	596.2**	87.4	1.5*	50.8*
Entre controles	22	269.6**	306.5**	333.4**	1629.5**	8.5**	176.8**
Controles vs. líneas	1	593.1**	2096.2**	3490.8**	5229.8**	47.8**	1013.5**
G × S	113	14.1**	38.3**	81.2**	213.4**	0.3 ^o	10.6
Error experimental	226	6.6**	17.90**	35.8**	118.1**	0.2**	8.7**
Error de submuestro	456	1.2	0.9	14.6	41.0	0.1	3.7
C.V. (%)		2.4	1.2	1.7	1.1	3.4	10.0

*,**Significativo al nivel de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

¹R2 = floración completa; R6 - llenado de las vainas; R8 - madurez completa (Fehr y Caviness, 1977).

CUADRO 2.— Promedio de las características reproductivas (R2, R6, y R8), la altura de las plantas el ancho de las vainas y el peso de 100 semillas de la progenie del cruce entre IAC-8 × Kanto-101, y de los padres evaluados en dos épocas de siembra en Puerto Rico en 1993.

	Siembra de junio	Siembra de agosto	Combinado sobre épocas de siembra
	Promedio ± I.C. ¹	Promedio ± I.C. ¹	Promedio ± I.C. ¹
Número de días a R2 ²			
IAC-8	58 ± 2.24	50 ± 0.00	54 ± 6.05
Kanto-101	37 ± 1.19	36 ± 2.69	36 ± 1.44
Líneas F _{4,6}	49 ± 0.68	43 ± 0.52	47 ± 0.57
D.M.S. ³	4.1	3.0	2.5
Número de días a R6 ²			
IAC-8	98 ± 0.00	80 ± 1.19	89 ± 12.01
Kanto-101	69 ± 2.08	64 ± 2.95	66 ± 3.08
Líneas F _{4,6}	81 ± 1.12	71 ± 0.75	79 ± 0.86
D.M.S. ³	7.4	3.9	3.7
Número de días a R8 ²			
IAC-8	122 ± 0.00	100 ± 3.18	111 ± 13.37
Kanto-101	105 ± 6.26	87 ± 2.99	96 ± 12.81
Líneas F _{4,6}	103 ± 1.27	92 ± 0.65	97 ± 0.88
D.M.S. ³	8.3	4.8	4.8
Altura de la planta (cm)			
IAC-8	107 ± 3.85	74 ± 3.97	91 ± 21.78
Kanto-101	32 ± 3.47	21 ± 1.94	27 ± 10.03
Líneas F _{4,6}	69 ± 2.76	44 ± 1.57	56 ± 2.00
D.M.S. ³	19.3	9.5	10.2
Ancho de las vainas (mm)			
IAC-8	10.6 ± 0.68	10.2 ± 0.71	10.4 ± 0.39
Kanto-101	11.5 ± 1.18	11.9 ± 0.99	11.6 ± 0.27
Líneas F _{4,6}	10.6 ± 0.09	10.8 ± 0.09	10.7 ± 0.09
D.M.S. ³	0.7	3.8	2.7

¹I.C. = Intervalo de confianza calculado a la probabilidad de 0.05.

²R2 = floración completa; R6 = llenado de las vainas; R8 = madurez completa (Fehr y Caviness, 1977).

³D.M.S. = Diferencia Mínima Significativa al nivel de probabilidad de 0.05.

CUADRO 2.—(Continuación) Promedio de las características reproductivas (R2, R6, y R8), la altura de las plantas el ancho de las vainas y el peso de 100 semillas de la progenie del cruce entre IAC-8 × Kanto-101, y de los padres evaluados en dos épocas de siembra en Puerto Rico en 1993.

	Siembra de junio	Siembra de agosto	Combinado sobre épocas de siembra
	Promedio ± I.C. ¹	Promedio ± I.C. ¹	Promedio ± I.C. ¹
	Peso de 100 semillas (g)		
IAC-8	19.9 ± 2.40	17.0 ± 2.40	19.1 ± 1.58
Kanto-101	21.3 ± 1.29	22.7 ± 2.65	21.3 ± 1.86
Líneas F _{4,6}	18.6 ± 0.45	18.3 ± 0.37	18.4 ± 0.35
D.M.S. ³	4.4	3.8	2.7

¹I.C. = Intervalo de confianza calculado a la probabilidad de 0.05.

²R2 = floración completa; R6 = llenado de las vainas; R8 = madurez completa (Fehr y Caviness, 1977).

³D.M.S. = Diferencia Mínima Significativa al nivel de probabilidad de 0.05.

planta, el ancho de la vaina y el peso de 100 semillas no fueron significativamente diferentes al promedio de las mismas calculado entre los padres, indicando que la expresión de estas características depende fundamentalmente del efecto de acción génica de tipo aditivo. Brim y Cockerham (1961) observaron resultados similares en progenies de cruzamientos entre progenitores que pertenecían al mismo grupo de madurez.

La heredabilidad de todas las características, expresada a base del promedio de las líneas, fue más alta que las heredabilidades expresadas a base de plantas individuales, sugiriendo la importancia de medir estas características en ensayos replicados (Cuadro 3). De las características reproductivas, el número de días a la floración tuvo la heredabilidad más alta (0.86), cuando se expresó a base del promedio de las líneas, y el número de días a la madurez tuvo la más baja. La heredabilidad de la altura de la planta, expresada a base del promedio de las líneas fue de mediana a alta (0.75). De las dos características asociadas a la semilla, el ancho de la vaina tuvo la heredabilidad más alta (0.96), siendo el estimador de mayor valor entre todas las características medidas. La heredabilidad del ancho de la vaina fue también el estimador más alto cuando se expresó a base de plantas individuales así como al promedio de dos plantas.

Los valores de correlación fenotípica y genotípica entre las características reproductivas y la altura de las plantas fueron positivos, similares en magnitud y altamente significativos (Cuadro 4). Las correlaciones entre el ancho de la vaina y las características reproductivas

CUADRO 3.—*Estimados de la heredabilidad en el sentido amplio para las características reproductivas (R2, R6, y R8), la altura de las plantas, el ancho de las vainas y el peso de 100 semillas, expresados a base de la planta individual, del promedio de dos plantas en la parcela y del promedio de las líneas F_{4,5} del cruce de IAC-8 × Kanto-101, evaluadas en Puerto Rico en 1992-93.*

Características	Heredabilidad ± F.E. ¹		
	Promedios de		
	Planta individual	Dos plantas	Líneas F _{4,5}
Reproductivas ²			
R2	0.28 ± 0.10	0.63 ± 0.22	0.86 ± 0.30
R6	0.28 ± 0.11	0.54 ± 0.21	0.77 ± 0.30
R8	0.24 ± 0.11	0.39 ± 0.18	0.66 ± 0.31
Altura de la planta	0.25 ± 0.10	0.49 ± 0.20	0.75 ± 0.30
Ancho de la vaina	0.31 ± 0.10	0.87 ± 0.27	0.96 ± 0.30
Peso de 100 semillas	0.15 ± 0.09	0.26 ± 0.15	0.56 ± 0.32

¹Heredabilidad en el sentido amplio ± error estándar.

²R2 = floración completa; R6 = llenado de las vainas; R8 = madurez completa (Fehr y Caviness, 1977).

fueron negativas, bajas en valores absolutos y en su mayoría no diferentes a cero, sugiriendo que sería posible seleccionar genotipos con tamaños de vaina adecuados, con distintas longitudes de crecimiento y de maduración. El peso de 100 semillas se correlacionó negativamente con las características reproductivas y con la altura de las plantas. Los valores fueron bajos en valor absoluto aunque en su mayoría las correlaciones fueron significativas. La correlación entre el peso de 100 semillas y el ancho de la vaina fue positiva y altamente significativa.

Los coeficientes de correlación fenotípica y de rangos entre las siembras de junio y agosto fueron positivos, altamente significativos para todas las características y similares en valor absoluto, fluctuando entre 0.41 y 0.79 (Cuadro 5). Estos resultados indican que la posición relativa ocupada por las líneas para cada una de las características en las dos épocas de siembra fue similar.

También se comparó el comportamiento de las líneas en la siembra del mes de diciembre, en la que se evaluaron plantas individuales, con el comportamiento de las mismas líneas en los experimentos replicados que se sembraron en junio y agosto (Cuadro 6). Para esto se seleccionó, en la siembra de diciembre, el 10% de las líneas con las características más deseables para el número de días a la etapa R2, a R8, para la altura de las plantas, el ancho de las vainas y el peso de 100 semillas y se les asignó un número de rango para cada característica. Por ejemplo, a la

CUADRO 4.—*Coefficientes de correlación fenotípica y genotípica (en paréntesis) calculados a base del promedio de las líneas F_{4,6} del cruce de IAC-8 × Kanto-101 entre las características reproductivas (R2, R6, y R8), la altura de las plantas, el ancho de las vainas y el peso de 100 semillas, evaluadas en Puerto Rico en 1993.*

Característica	Característica					
	Reproductiva ¹			Altura de la planta	Ancho de la vaina	Peso de 100 semillas
R2	R6	R8				
Reproductiva ¹						
R2	0.92** (0.96**)	0.81** (0.89**)	0.63** (0.68**)	-0.22* (-0.23*)	-0.20 (-0.27**)	
R6		0.89** (0.96**)	0.66** (0.73**)	-0.15 (-0.15)	-0.18 (-0.28*)	
R8			0.52** (0.58**)	-0.20 (-0.29**)	-0.30** (-0.27*)	
Altura de la planta				-0.03 (-0.04)	-0.23* (-0.29**)	
Ancho de la vaina					0.44** (0.39**)	

* **Significativo al nivel de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

¹R2 = floración completa; R6 = llenado de las vainas; R8 = madurez completa (Febr y Caviness, 1977).

línea más deseable para cada característica se le asignó la posición 1, a la siguiente se le asignó la posición 2, y así sucesivamente. Se determinó la posición relativa que las mismas líneas ocuparon cuando las siembras se realizaron en junio y agosto. Cuando la selección se realizó a base del número de días a R2, la línea más deseable en diciembre ocupó la posición 21 en la siembra de junio, y la posición 7 en la siembra de agosto. Las diferencias observadas en la fecha de floración en las tres fechas de siembra son una respuesta a la variación en fotoperíodo que se observa durante el año. Cuando las líneas se seleccionaron a base de la fecha de maduración (R8), la línea con la longitud de crecimiento más apropiada en diciembre fue también la mejor en junio y en agosto. Estos resultados sugieren que de las dos características reproductivas, la fecha de floración es más sensible a los cambios en fotoperíodo que la fecha de maduración. Si la selección de genotipos se realiza a base de la fecha de floración, es aconsejable que ésta se realice durante la época en que posteriormente se realizará la siembra comercial. Para el ancho de la vaina, la mejor línea seleccionada en diciembre ocupó las posiciones 4 y 6 en las siembras de junio y agosto, respectivamente. En general

CUADRO 5.—*Coefficientes de correlación de rango de datos ordenados de las líneas F_{4,6} del cruce de IAC-8 × Kanto-101 en la siembra de junio con respecto a la posición que ocuparon en la siembra de agosto y coeficientes de correlación fenotípica de la mismas líneas entre las dos épocas de siembra, evaluadas en Puerto Rico en 1993.*

Características	Correlación	
	de Rango ¹	Fenotípica
Días a R2 (floración completa)	0.79**	0.79**
Días a R6 (llenado de vainas)	0.78**	0.69**
Días a R8 (madurez)	0.63**	0.63**
Altura de la planta	0.65**	0.69**
Ancho de la vaina	0.58**	0.64**
Peso de 100 semillas	0.41**	0.41**

**Significativo al nivel de probabilidad de 0.05.

¹Líneas F_{4,6} ordenadas de acuerdo a su comportamiento en la siembra de junio vs. la posición que ocuparon las mismas líneas en la siembra de agosto.

para cada característica, las líneas seleccionadas en el 10% superior en las siembras de junio y agosto resultaron también seleccionadas por las mismas características en la siembra de diciembre.

Los resultados obtenidos indican que en el trópico la selección de genotipos de soya con tamaños de semilla adecuados para consumo humano directo es posible y se puede lograr en forma eficiente. En la población segregante que se utilizó en este estudio, desarrollada del cruzamiento entre dos padres de grupos de madurez diferentes, se identificaron genotipos con las características deseables en cuanto a tipo de planta y tamaño de la semilla. Los genotipos se pueden seleccionar en distintas épocas de siembra durante el mismo año, en plantas individuales en la etapa inicial y en ensayos replicados posteriormente, lo que aumenta la eficiencia del proceso de fitomejoramiento y facilita el desarrollo de genotipos deseados.

Los estimadores de heredabilidad indican que aunque la selección será más efectiva cuando se evalúen las características en ensayos replicados, donde los genotipos se seleccionen a base del promedio de repeticiones, también es posible seleccionar a nivel de planta individual, particularmente cuando se selecciona por el ancho de las vainas. Cuando la heredabilidad de todas las características se expresó a base del promedio de las líneas, los estimadores aumentaron por lo menos 2.5 veces. Este resultado sugiere que, de haber recursos disponibles, el realizar ensayos replicados aumenta la eficiencia de selección. Cabe destacar que las heredabilidades obtenidas podrían estar sobrevaloradas ya que los experimentos se realizaron en una sola localidad. La interacción genotipo ×

CUADRO 6.—Plantas individuales en la generación F_4 del cruce de IAC-8 \times Kanto-101 seleccionadas en el 10% superior según las características reproductivas (R2 y R8), la altura de las plantas, el ancho de las vainas y el peso de 100 semillas durante la siembra realizada en diciembre y la posición relativa que las líneas $F_{4,6}$ derivadas de estas plantas individuales ocuparon en las siembras de junio y agosto a base del promedio de cada línea, evaluadas en Puerto Rico en 1992-93.

Posición en la siembra de diciembre	Característica									
	R2 ¹		R8 ¹		Altura de la planta		Ancho de la vaina		Peso de 100 semillas	
	J ²	A ²	J	A	J	A	J	A	J	A
1	21	7	1	1	62	31	4	6	74	4
2	18	15	29	46	26	16	45	2	37	41
3	43	31	23	22	3	4	17	44	44	1
4	9	10	26	40	6	1	3	1	33	3
5	2	12	10	26	10	26	11	9	18	22
6	15	11	3	31	19	6	44	33	58	68
7	11	5	34	19	9	5	46	15	2	18
8	19	1	60	50	24	12	12	57	12	19
9	1	2	17	7	43	7	10	4	22	44

¹R2 = floración completa; R8 = madurez completa (Fehr y Caviness, 1977).

²J = siembra del mes de junio; A = siembra del mes de agosto.

localidad y su correspondiente cuadrado medio esperado aumentan en estos casos el estimador de la varianza genética entre las líneas.

La ausencia de líneas segregantes transgresivas en esta población, unido a la observación de que la acción génica predominante en la expresión de las características es de tipo aditivo, sugiere que cuanto mayores son las diferencias entre los padres utilizados en el cruzamiento y mayor el número de características deseables a combinar en un mismo genotipo, mayor debe ser el número de líneas a evaluar para así aumentar la probabilidad de identificar los genotipos deseados.

La alta correlación entre el número de días a la floración y a la madurez permitirá la selección de genotipos con el ciclo de desarrollo deseado, sin que sea necesario esperar a la madurez para realizar esta selección. La correlación positiva y alta entre el ancho de las vainas y el peso de 100 semillas también facilitará la identificación temprana de los genotipos que tienen una mayor probabilidad de producir semillas del tamaño deseado. Bravo et al. (1980) encontraron resultados similares entre el ancho de la vaina y el peso de 100 semillas, llevándoles a proponer que la selección por tamaño de semilla se puede realizar en forma indirecta midiendo y seleccionando por el ancho de las vainas. El ancho de las vainas se puede medir directamente en las plantas después de la etapa reproductiva R6, cuando la relación del ancho de la vaina al ancho de la semilla haya llegado a su máximo, como fuera sugerido por Cianzio et al. (1982). Estas observaciones y los resultados del presente estudio indican que las determinaciones realizadas previo a la madurez y a la cosecha de las plantas, permitirán que se descarten genotipos con vainas de ancho menor al deseado, los cuales se espera posean semillas de menor tamaño. La medida del peso de 100 semillas sería la evaluación final de la característica luego de la cosecha, que sólo se realizaría en las líneas previamente seleccionadas a base de la fecha de floración y al ancho de las vainas.

Los resultados de esta investigación también indican que es posible la selección de plantas individuales por ciertas características, disminuyendo así el número de individuos que serán posteriormente evaluados en ensayos replicados. En este caso, se podrían utilizar como criterios de selección, el número de días a la floración y a la madurez, y el ancho de las vainas. Los resultados sugieren, sin embargo, que a nivel de plantas individuales el número de días a la madurez es un criterio de selección y de predicción del comportamiento de las líneas en siembras futuras, más eficiente que el número de días a la floración.

Los resultados además sugieren que en las condiciones tropicales de Puerto Rico, donde es posible realizar siembras de soya en cualquier época del año, la selección de los genotipos deseados es posible en más de una época de siembra al año. La posición relativa ocupada por las

líneas $F_{4,6}$ fue similar entre las siembras realizadas en junio y las siembras de agosto, sugiriendo que el grupo de individuos que hubiera sido seleccionado en la siembra de junio, también hubiera sido seleccionado en la siembra realizada en agosto. La estrategia a seguir para la selección de soya de grano para consumo humano en cuanto a la realización de ensayos replicados y a las fechas de siembra a utilizar dependerá de los recursos disponibles para el programa de fitomejoramiento.

LITERATURA CITADA

- Bravo, J. A., W. R. Fehr and S. R. Cianzio, 1980. Use of pod width for indirect selection of seed weight in soybeans. *Crop Sci.* 20:507-510.
- Brim, C. A. and C. C. Cockerham, 1961. Inheritance of quantitative characters in soybeans. *Crop Sci.* 1:187-190.
- Carter, T. E. Jr., 1988. Genetic alteration of soybean seed size: Breeding strategies and market potential. *Proc. Am. Seed Trade Assoc.* 17:33-45.
- Cianzio, S. R., J. F. Cavins and W. R. Fehr, 1985. Protein and oil percentage of temperate soybean genotypes evaluated in tropical environments. *Crop Sci.* 25:602-606.
- Cianzio, S. R., S. J. Frank and W. R. Fehr, 1982. Seed width to pod width ratio for the identification of green soybean pods that have attained maximum length and width. *Crop Sci.* 22:463-466.
- Cianzio, S. R., D. Green, C. Chan and R. Shibles, 1991a. Developmental periods in soybean: Photoperiod-sensitive x insensitive crosses evaluated at diverse latitudes. *Crop Sci.* 31:8-13.
- Cianzio, S. R., E. C. Schroder and C. T. Ramirez, 1991b. Response of soybeans of different maturity groups to sowing date in tropical locations in Puerto Rico. *Trop. Agric. (Trinidad)* 68: 306-312.
- Chushin Agricultural Experiment Station, 1988. Soybean breeding section. Annual Report. Shiojiri, Nagano, Japan. 150 pp.
- Esperanza, R. Y. L., 1976. Efecto de siembras estacionales y localidades en el comportamiento agronómico y composición química de tres variedades de soya. M.S. Tesis, Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez, Mayagüez, PR.
- Fehr, W. R., 1987. Principles of Cultivar Development. Macmillian Publishing Company, New York.
- Fehr, W. R. and C. E. Caviness, 1977. Stages of soybean development, Iowa Agric. Home Econ. Exp. Stn., Iowa Coop. Ext. Ser. Spec. Rept. 80.
- Hallauer, A. R. and J. B. Miranda, 1981. Quantitative Genetics in Maize Breeding. Iowa State Univ. Press, Ames, IA, USA. pp. 80-92.
- Hanson, C. H., H. F. Robinson and R. E. Comstock, 1956. Biometrical studies of yield in segregating populations of Korean lespedeza. *Agron. J.* 48:268-272.
- Kawahara, M., 1987. Soybean production in Japan: Present condition and cultivation technology. *Farming Japan* 21:15-21.
- Parker, M. W. and H. A. Borthwick, 1951. Photoperiod response of soybean varieties. *Soybean Dig.* 11:26-30.
- Pfeiffer, T. W. and D. Pilcher, 1987. Effect of early and late flowering on agronomic traits of soybean at different planting dates. *Crop Sci.* 27:108-112.
- Minor, H. C., 1978. Características agronómicas en relación con el estrés ambiental. En A. G. Norman (ed.), Fisiología, mejoramiento, cultivo y utilización de la soya. Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires, Argentina. pp. 79-118.

- Montero, R. A., 1987. Variedad IAC-8 de soya (*Glycine max*): una alternativa para el litoral pacífico de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 12:107-111.
- Mounts, T. L., W. J. Wolf and W. H. Martinez, 1987. Processing and utilization. In J. R. Wilcox, (ed.), Soybeans: Improvement, production and uses. pp. 819-866. ASA, CSSA, SSA, Inc. Publishers, Madison, Wis. U.S.A.
- Silva, S., J. Vicente-Chandler, F. Abruña and J. A. Rodríguez, 1972. Effect of season and plant spacing on yields of intensively managed soybean under tropical conditions. *J. Agric. Univ. P.R.* 56:365-369.
- Steel, R. D. and J. H. Torrie, 1980. Principles and procedures of statistics: A biometrical approach. 2nd Edition. McGraw-Hill, Inc., pp. 172-180.