

VARIABILIDAD DE LOS RENDIMIENTOS DE SOJA [*Glycine max* (L.)]

Mandl¹, A.

Recibido: 17 de marzo de 2000. Aceptado: 20 de julio de 2000.

RESUMEN

La estimación de los efectos del genotipo y del ambiente sobre los rendimientos de un cultivo permite interpretar su variabilidad y realizar proyecciones de futuro. En base a ensayos de evaluación de cultivares de soja, se analizó el rendimiento de 11 cultivares en 3 localidades durante 11 años. La interacción año x localidad fue la causa del 70 % de la variabilidad total y sería resultante, en buena medida, de la variabilidad en las lluvias estivales. La contribución de la interacción genotipo x ambiente fue sólo de un 5 % y fue casi totalmente explicada por la interacción cultivar x año x localidad. De acuerdo con estos resultados, la combinación más adecuada de recursos para la evaluación de cultivares de soja consistiría en conducir experimentos con 3 repeticiones, durante un máximo de 3 años y en alrededor de 3 localidades.

PALABRAS CLAVE: Soja, rendimiento, variabilidad.

SUMMARY

VARIABILITY OF SOYBEAN [*Glycine max* (L.)] YIELDS

The estimation of genotypic and environmental effects on crop yields, allows to interpret its variability and to make future projections. Based on evaluation trials of soybean cultivars, the yield of 11 cultivars in 3 location during 11 years was analyzed. The year x location interaction caused 70 % of total variability and would be resulting, for the most part, from the variability in summer rainfalls. The contribution of the genotype x environment interaction was only 5 % and was almost fully explained by the interaction cultivar x year x location. Taking into account these results, the most suitable resources combination in order to evaluate soybean cultivars would result of conducting experiments with 3 replications, during a maximum of 3 years and in about 3 locations.

KEY WORDS: Soybean, yield, variability.

INTRODUCCIÓN

La variabilidad en los rendimientos de un cultivo responde a causas genéticas, ambientales y a la interacción entre ambas. A su vez, la variabilidad en el ambiente puede ser dividida en predecible e impredecible (Allard y Bradshaw, 1964). La primera categoría incluye características permanentes como las asociadas a una localidad (fotoperíodo, tipo de suelo, enfermedad endémica, etc.) o aquellas determinadas por el hombre (fecha de siembra, densidad, fertilización, etc.). La segunda categoría incluye principalmente a las fluctuaciones climáticas anuales, tales como la cantidad y distribución de lluvia y temperatura.

En el Uruguay, el cultivo de soja presenta variaciones relativamente altas en los rendimientos, tanto a nivel na-

cional como dentro de regiones contrastantes: litoral sur, noreste y este (Díaz, 1984).

La clave para formular un eficiente programa de evaluación de cultivares la constituye una óptima asignación de recursos en años, localidades y repeticiones, para lo cual es fundamental caracterizar la interacción genotipo x ambiente (Allard y Bradshaw, 1964; Brim, 1973; Johnson *et al.*, 1955; Rasmusson y Lambert, 1961; Schutz y Bernard, 1964; Sprague y Federer, 1951).

Los objetivos de este estudio fueron: (a) analizar la variabilidad en los rendimientos de soja que surge de la siembra de diferentes cultivares a lo largo de distintos años y localidades, y (b) determinar la combinación más adecuada de recursos para la evaluación de cultivares de soja.

MATERIALES Y MÉTODOS

La base de datos estuvo constituida por ensayos de evaluación de rendimiento en cultivares de soja realizados por el ex-CIAAB a lo largo del país durante varios años.

¹ Ing. Agr., M.Sc., INIA La Estanzuela, 70006 Colonia, Uruguay.
E-mail: fmandl@inia.org.uy

Con el criterio de combinar el mayor volumen de datos con el menor desbalance de los mismos, se consideraron 11 cultivares evaluados en 3 localidades durante 11 años (Cuadro 1). Los cultivares pertenecen a los grupos de madurez V, VI y VII. Los ensayos en el INIA Tacuarembó (argisoles) fueron conducidos por el Ing. Agr. Luis Améndola, en el INIA Treinta y Tres (planosoles y brunosoles) por los Ings. Agrs. Enrique Deambrosi y Néstor Saldain, y en el INIA La Estanzuela (brunosoles) por el autor.

Los experimentos fueron sembrados durante noviembre y diciembre, en bloques al azar, con 3 o 4 repeticiones. En general, las parcelas consistieron en 3 o 4 filas de 5 m de largo, a 0.60 m entre filas y con una densidad de siembra entre 25 y 35 semillas viables/m lineal. Previo a la cosecha manual se eliminaron bordes de las parcelas.

Las prácticas culturales se emplearon con el criterio de que el laboreo, la fertilización, las malezas y las plagas, no limitaran la expresión del rendimiento de los cultivares. Los ensayos no fueron regados.

Los efectos localidad, año y cultivar fueron considerados al azar (Matzinger, 1963). Para el análisis de variancia de los resultados se usó el procedimiento GLM y para la estimación de componentes de variancia se usó el procedimiento MIXED con el método REML, mediante el paquete estadístico SAS (1988).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a) Análisis de variancia y estimación de sus componentes

En el Cuadro 2 se presenta el análisis de variancia para rendimiento en grano y la estimación de sus correspon-

dientes componentes de variancia. Dentro de los efectos principales solamente el efecto cultivar fue altamente significativo, mientras que los efectos año y localidad no fueron significativos; similares resultados obtuvieron Walker y Fehr (1978). De todos modos, la contribución de los efectos principales a la variabilidad total fue escasa, no superando el 13 %. La variabilidad entre años puede asignarse casi exclusivamente a la variabilidad climática, ya que el manejo de los experimentos fue similar dentro del período analizado y no se reportaron incidencias relevantes de plagas y enfermedades. En consecuencia, las oscilaciones climáticas anuales, promedio de tres localidades, no tuvieron un efecto importante sobre la variabilidad de los rendimientos de soja. Las diferencias predecibles entre localidades en cuanto a tipo de suelo y fotoperíodo tampoco contribuyeron substancialmente a la variabilidad total. Finalmente hay que tener en cuenta que la variabilidad entre cultivares fue en alguna medida restringida de antemano, ya que dentro de una red de evaluación de cultivares aquellos once que logren permanecer durante once años en evaluación, son los que tienen un comportamiento por lo menos aceptable (Cuadro 1). Análoga observación realizaron Schutz y Bernard (1967).

La interacción año x localidad fue altamente significativa, indicando que los rendimientos relativos de las localidades fueron diferentes entre años. Esta interacción fue responsable de una porción mayoritaria (70 %) y considerable de la variabilidad total, ya que el resto de las fuentes de variación suman en conjunto sólo un 30%. Parecería entonces que, dentro de cada año, los rendimientos de las mejores y peores localidades tenderían a compensarse de modo tal que, al comparar los promedios de años, éstos

Cuadro 1. Rendimiento de soja por año, localidad y cultivar (kg/ha y % de la media).

Año	kg/ha	%	Localidad	kg/ha	%	Cultivar	kg/ha	%
1978/79	1698	81	INIA La Estanzuela	2295	109	Ransom	2239	107
1979/80	1508	72	INIA Tacuarembó	2227	106	IAS 4	2216	106
1981/82	2172	103	INIA Treinta y Tres	1777	85	Planalto	2166	103
1982/83	2288	109				Bragg	2148	102
1983/84	2403	115				IAS 5	2125	101
1984/85	2213	105				Forrest	2116	101
1985/86	2439	116				Davis	2084	99
1986/87	2461	117				Pérola	2068	99
1987/88	2426	116				Paraná	2017	96
1988/89	1938	92				Prata	1972	94
1990/91	1546	74				Estanzuela IPEAS	1944	93

Cuadro 2. Análisis de variancia y estimación de componentes de variancia para rendimiento de soja.

Fuente de variación	g.l.	Cuadrado medio t/ha	Componente de variancia	t/ha	%
Año (A)	10	9.096	σ^2_A	0.018	3
Localidad (L)	2	11.555	σ^2_L	0.048	8
Cultivar (C)	10	0.810 **	σ^2_C	0.010	2
Año x Localidad (AL)	17	9.714 **	σ^2_{AL}	0.392	70
Cultivar x Año (CA)	99	0.169	σ^2_{CA}	0.002	0
Cultivar x Localidad (CL)	20	0.237 *	σ^2_{CL}	0.003	0
Cultivar x Año x Localidad (CAL)	109	0.141 **	σ^2_{CAL}	0.026	5
Error Combinado (E)	1484	0.064	σ^2_E	0.064	11

*, **: Significativo al 5 % y 1 % de probabilidad, respectivamente.

no difieren significativamente entre sí. Los resultados analizados por Díaz (1984), quién observó que el coeficiente de variación del rendimiento nacional de soja es inferior a los obtenidos dentro de tres localidades contrastantes, apuntan en la misma dirección. Lo mismo ocurriría dentro de localidades: los años buenos y malos se compensarían de tal manera que, al comparar los promedios de localidades, éstos tampoco difieren significativamente entre sí. Cada combinación año x localidad genera un ambiente diferente y en definitiva, teniendo en cuenta lo señalado anteriormente en cuanto a manejo y condición de los experimentos, una situación climática diferente. Si bien el clima incluye una diversidad de parámetros, Capurro (1984) en el litoral sur y Saldain (1994) en el este del Uruguay, encon-

traron que las variaciones en rendimiento de soja están relacionadas fundamentalmente a las lluvias ocurridas durante el verano.

Dentro de la interacción genotipo x ambiente, la interacción cultivar x año no fue significativa, la interacción cultivar x localidad fue significativa y la interacción cultivar x año x localidad fue muy significativa (Cuadro 2). Los resultados del Cuadro 3 muestran que si bien al cambiar de localidad, aparecen cambios en el comportamiento relativo de los cultivares, estos cambios no son demasiados grandes ni involucran a todos ellos; por ejemplo, de los 5 mejores cultivares de cada localidad, 4 son comunes (Ransom, IAS 4, Planalto y Bragg). La estimación de componentes de variancia indica que prácticamente la totali-

Cuadro 3. Efecto del cultivar y la localidad sobre el rendimiento de soja (% de la media).

INIA La Estanzuela		INIA Tacuarembó		INIA Treinta y Tres	
Ransom	116	Ransom	113	Ransom	91
IAS 4	115	IAS 4	113	IAS 4	89
Planalto	113	IAS 5	110	Planalto	89
Bragg	111	Bragg	109	Bragg	87
Davis	109	Planalto	108	Forrest	86
IAS 5	109	Forrest	108	IAS 5	85
Forrest	108	Davis	105	Pérola	84
Pérola	108	Pérola	104	Davis	83
Prata	105	Paraná	103	Paraná	81
Paraná	105	Prata	98	Prata	79
Estanzuela IPEAS	103	Estanzuela IPEAS	96	Estanzuela IPEAS	78

dad de la interacción genotipo x ambiente, es explicada por la interacción triple, sugiriendo que el componente cultivar x localidad dentro de un año no fue consistente entre años. En otras palabras, la respuesta diferencial de los cultivares al ambiente se explicaría fundamentalmente por cambios en la combinación año x localidad, mientras que los efectos *per se* del año y la localidad no serían relevantes. Estos resultados son coincidentes con los reportados para rendimiento por Hanson y Brim (1963), Schutz y Bernard (1967), Schutz y Brim (1971) y Walker y Fehr (1978) en soja, y por Matzinger (1963), Miller *et al.* (1962) y Rasmusson y Lambert (1961) en otros cultivos.

b) Asignación de recursos para la evaluación de cultivares

El número más eficiente de repeticiones, años y localidades para un programa de evaluación de cultivares, puede ser estimado determinando sus efectos sobre la variancia de la media de un cultivar, mediante la siguiente fórmula:

$$\sigma_x^2 = \frac{\sigma_{CA}^2}{A} + \frac{\sigma_{CL}^2}{L} + \frac{\sigma_{CAL}^2}{AL} + \frac{\sigma_E^2}{ALR}$$

donde A, L y R representan al número de años, localidades y repeticiones, respectivamente. Sustituyendo en la fórmula precedente por las estimaciones de componentes de variancia que aparecen en el Cuadro 2, así como por diferentes combinaciones de número de repeticiones, años y localidades, se obtienen distintos valores de variancia de la media. En el presente estudio, se analizaron los efectos de valores de A=1,2,3,4,5; L=1,2,3,4,5 y R=1,2,3. A los efectos de su presentación gráfica, los resultados obtenidos en términos de variancia de la media fueron convertidos a desviación típica en kg/ha (Figura 1). Cuando menor es la desviación típica mayor es la sensibilidad del diseño experimental o la precisión con la cual las diferencias entre cultivares son estadísticamente detectadas.

En términos generales, los resultados muestran que al aumentar el número de años o localidades, el incremento en la precisión de los experimentos es similar, dado que σ_{CA}^2 y σ_{CL}^2 son prácticamente iguales. A su vez, dicho incremento es superior al que se obtiene al aumentar el número de repeticiones, coincidiendo con Schutz y Bernard (1962) en soja, y con Miller *et al.*, (1962), Rasmusson y Lambert (1961) y Sprague y Federer (1951) en otros cultivos. Resulta claro entonces que, teniendo en cuenta factores de costo y tiempo, sería preferible aumentar el número de localidades que aumentar el número de años de evaluación. Estos resultados son coincidentes con los obtenidos por Schutz y Bernard (1962) en soja y por Miller *et al.* (1962) en algodón.

nidos por Schutz y Bernard (1962) en soja y por Miller *et al.* (1962) en algodón.

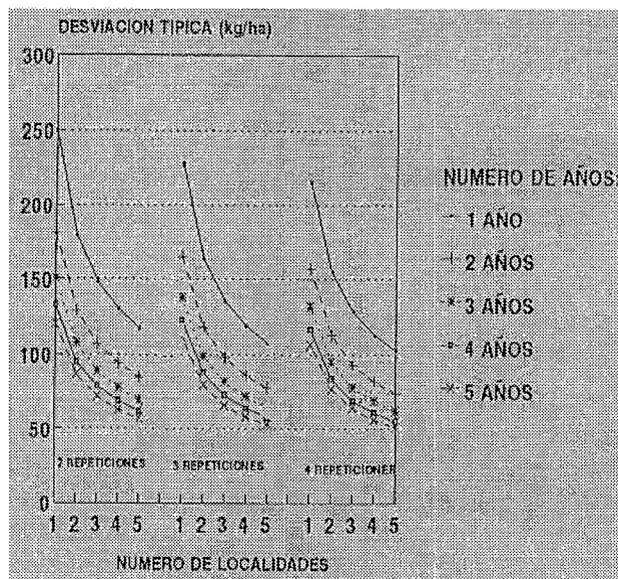


Figura 1. Predicción de la desviación típica (5 % de probabilidad) para rendimiento de soja, según el número de repeticiones, localidades y años de evaluación.

En la Figura 1 puede observarse que al aumentar el número de años de evaluación, la mayor disminución en la desviación típica ocurre entre 1 y 2, y que por encima de 3 años es pequeña. Igualmente en cuanto a número de localidades, el cambio más importante ocurre entre 1 y 2, y que por encima de 3 localidades es pequeño. Finalmente en cuanto al número de repeticiones, el incremento en precisión es mayor cuando se aumenta de 2 a 3, que cuando se aumenta de 3 a 4 repeticiones.

CONCLUSIONES

(a) La contribución de los efectos principales (año, localidad y cultivar) no fue importante, no superando en conjunto el 13 % de la variabilidad total. La interacción año x localidad fue responsable de una porción mayoritaria (70 %) de la variabilidad total y sería consecuencia, en buena medida, de la variabilidad en las precipitaciones estivales. La contribución de la interacción genotipo x ambiente (cultivar x año, cultivar x localidad, y cultivar x año x localidad) tampoco fue importante (5 %). Prácticamente la totalidad de esta interacción fue explicada por la interacción triple (cultivar x año x localidad), por lo que los

cambios en el comportamiento relativo de los cultivares también serían explicados fundamentalmente por la variabilidad en las precipitaciones estivales. De este modo, una deficiencia hídrica en determinado momento del verano afecta en forma diferencial a cultivares de los grupos de madurez V, VI y VII.

(b) Se sugiere que, para las condiciones del Uruguay, los experimentos de evaluación de cultivares de soja tengan 3 repeticiones, se realicen durante un máximo de 3 años y en alrededor de 3 localidades. Obviamente, consideraciones de costos operativos, riesgo de pérdida de experimentos y política institucional determinarán el ajuste final de esta propuesta.

AGRADECIMIENTO

Al Téc. Agr. Vilfredo Ibáñez por su apoyo en el análisis estadístico del banco de datos.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLARD R.W. and BRADSHAW A.D. 1964. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. *Crop Sci.* 4:503-508.
- BRIM C.A. 1973. Quantitative genetics and breeding. **In:** B.E. Caldwell (Ed.) *Soybeans: Improvement, production, and uses.* *Agronomy* 16:155-186.
- CAPURRO E. 1984. Relación con las precipitaciones mensuales y distribución de probabilidades de rendimiento de grano de maíz, sorgo, girasol y soja a nivel experimental en La Estanzuela. *Revista de la AIA*, 3a. época 2(2):87-112.
- DIAZ R. 1984. Potencial y riesgo de producción de cultivos extensivos en Uruguay. *Revista de la AIA*, 3a. época 2(2):62-86.
- HANSON W.D. and BRIM C.A. 1963. Optimum allocation of test material for two-stage testing with an application to evaluation of soybean lines. *Crop Sci.* 3:43-49.
- JOHNSON H.W., ROBINSON H.F. and COMSTOCK R.E. 1955. Estimates of genetic and environmental variability in soybeans. *Agron. J.* 47:314-318.
- MATZINGER D.F. 1963. Experimental estimates of genetics parameters and their applications in self-fertilizing plants. p. 253-279. **In:** W. D. Hanson and H.F. Robinson (Eds.) *Statistical genetics and plant breeding.* Publ. 982. NAS-NRC, Washington, D.C.
- MILLER P.A., ROBINSON H.F. and POPE O.A. 1962. Cotton variety testing: additional information on variety x environment interactions. *Crop Sci.* 2:349-352.
- RASMUSSEN D.C. and LAMBERT J.W. 1961. Variety x environment interactions in barley variety tests. *Crop Sci.* 1:261-262.
- SALDAIN N. 1994. Relación entre déficit hídrico del suelo durante el verano y rendimiento de soja para la zona este. Seminario técnico. INIA Treinta y Tres. (Inédito).
- SAS INSTITUTE. 1988. SAS/STAT user's guide. Release 6.03 edition. Cary, North Carolina, SAS Institute.
- SCHUTZ W.M. and BERNARD R.L. 1962. Genotype x environment interactions in the regional testing of soybean strains. *Crop Sci.* 7:125-130.
- SCHUTZ W.M. and BRIM C.A. 1971. Inter-genotypic competition in soybeans. III. An evaluation of stability in multiline mixtures. *Crop Sci.* 11:684-689.
- SPRAGUE G.E. and FEDERER W.T. 1951. A comparison of variance components in corn yield trials: II. Error, year x variety, location x variety, and variety components. *Agron. J.* 43:535-541.
- WALKER A.K. and FEHR W.R. 1978. Yield stability of soybean mixtures and multiple pure stands. *Crop Sci.* 18:719-723.