

ESTIMACION DE LA GANANCIA GENETICA POR SELECCION EN SOYA Glycine max MERRILL, EN LOS ENSAYOS DE RENDIMIENTO REALIZADOS POR EL CNIA - PALMIRA*Horacio Carmen C.***Diosdado Baena G.****Gilberto Bastidas R.******COMPENDIO**

De los libros de campo de la Sección de Oleaginosas Anuales del CNIA - Palmira, se tomó información del período 1980-1991 sobre rendimiento (kg/ha), días a floración, altura de planta (cm), altura de carga (cm) y volcamiento de la soya (Glycine max). La ganancia genética promedio fue de 93.18 (3.4%) y de 71.58 kg/ha (2.9%) para los semestres A y B. Estos resultados demuestran que los recursos destinados a la búsqueda y obtención de cultivares de alto desempeño productivo y de buena adaptación, reportaron un ingreso neto adicional de 10.885.507 millones de pesos, lo cual se considera un retorno económico altamente satisfactorio, si se tiene en cuenta que el período de evaluación solo considera 12 años de actividad del Programa.

ABSTRACT**ESTIMATION OF GENETIC GAINS FOR SELECTION IN SOYBEAN Glycine max (L) MERRILL USING YIELD TRIALS DATA OF CNIA - PALMIRA**

A estimation was made using data from the yield tests of lines and varieties, realized for the Section of Oleaginosas Anuales at the CNIA - Palmira (Colombia) from 1980-1991. The following variables were taken at harvested time: yield (kg/ha), plant height (beginning maturity), height of the first pod (cm) and lodging. Genetic gains average were 93.18 (3.4%) and 71.58 kg/ha (2.9%) for semesters A and B respectively. This results indicate that all resources inverted in the search and obtainment of high yield performance and adequate adaptability, have produced an additional economic revenue of 14.591.832 dollars, highest satisfactory, in only twelve years of Program activity.

INTRODUCCION

La estimación del progreso genético es uno de los factores de importancia en el juzgamiento de la eficiencia de un programa de Fitomejoramiento.

Los Programas de Mejoramiento Genético de Cultivos liderados por el Instituto Colombiano Agropecuario - ICA, si bien tienen amplia trayectoria en cuanto a producción y distribución de cultivares mejorados, carecen de información sobre los progresos genéticos alcanzados durante el tiempo de funcionamiento.

Para el caso particular del mejoramiento genético en soya, otros países como Brasil y Estados Unidos de reconocida trayectoria investigativa, reportan ganancias promedio anuales que fluc-

túan entre 1.3 y 1.8%, dependiendo de la localidad y del grupo de maduración. En casos excepcionales el progreso genético anual superó el margen del 3% (Martin, 1989, Toledo, 1990).

Con base en las consideraciones anteriores, se planteó como objetivo principal del trabajo estimar el progreso genético en rendimiento de soya, durante 12 años de actividad (1980-1991) de la Sección de Oleaginosas Anuales del CNIA en Palmira.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se realizó a partir de los datos consignados en los libros de campo de 48 ensayos avanzados de rendimiento, adelantados tanto en

* Estudiante del Postgrado en Producción Vegetal. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. A.A. 237

** Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. A.A. 237.

*** Instituto Colombiano Agropecuario - ICA. A.A. 233. Palmira

el semestre A como en el B, que cumplieran con los siguientes requisitos: diseño experimental en bloques completos al azar, cuatro repeticiones y un número de cultivares de soya fluctuando entre 12 y 25 (líneas avanzadas, variedades y testigos). En todos los casos la unidad experimental estuvo constituida por cuatro sùrcos de 6.0 m de largo, 0.5 m entre surcos y cinco cm entre plantas para una parcela útil de 6m² (cosecha de los surcos centrales).

Se recopiló información sobre las variables de respuesta:

- días a floración;
- altura de planta a madurez fisiológica (cm);
- altura de carga (cm),
- volcamiento-medido en una escala de 1 (100% de plantas erectas) a 5 (50% de plantas volcadas o acamadas).

El análisis se centró en la estimación del progreso genético con base en el rendimiento (kg/ha).

El efecto de semestre se probó a través de un análisis de varianza combinado. Puesto que la metodología propuesta por Vencovsky *et al* (1986) para la estimación de la ganancia genética, supone no interacción año x cultivar, su efecto hubo de probarse mediante un análisis de varianza dentro de semestre, considerando solo los cultivares testigos.

Para remover los efectos de año, se consideró el rendimiento de los cultivares testigos en años consecutivos, conforme el siguiente modelo lineal:

$$\bar{Y}_1 = m + a_1 + \bar{g}_1 + a_1\bar{g}_1 + \bar{e}_1$$

\bar{Y}_1 : Media del ensayo dado. En el año 1

m : Media general

a_1 : Efecto del año 1. común a todos los tratamientos

\bar{g}_1 : Potencial genotípico medio de todos los materiales (excepto los testigos). Probados en el año 1.

$a_1\bar{g}_1$: Media de las interacciones de los genotipos comunes al año 1.

\bar{e}_1 : Error experimental asociado a la media Y_1

De la misma forma, se consideró para el año 2.

$$\bar{Y}_2 = m + a_2 + \bar{g}_2 + a_2\bar{g}_2 + \bar{e}_2$$

Lo ideal es que no exista interacción significativa entre cultivar (testigo) x año para que puedan considerarse los siguientes modelos lineales.

$$\bar{Y}_1 = m + a_1 + \bar{g}_1 + \bar{e}_1 \quad \text{y} \quad \bar{Y}_2 = m + a_2 + \bar{g}_2 + \bar{e}_2$$

El contraste de:

$$\bar{Y}_2 - \bar{Y}_1 = (a_2 - a_1) + (\bar{g}_2 - \bar{g}_1) + (\bar{e}_2 - \bar{e}_1)$$

estima las diferencias entre años y genotipos conjuntamente. El contraste entre tratamientos comunes se estima de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \bar{Y}_2c - \bar{Y}_1c &= (m + a_2 + \bar{g}c + \bar{e}_2) - (m + a_1 + gc + \bar{e}_1) \\ &= (a_2 - a_1) + (\bar{e}_2 - \bar{e}_1) \end{aligned}$$

La ganancia genética entre los años 1 y 2 ($gg_{2,1}$) se obtiene por la diferencia entre los dos contrastes.

$$gg_{2,1} = [(\bar{Y}_2 - \bar{Y}_1) - (\bar{Y}_2c - \bar{Y}_1c)] = \bar{g}_2 - \bar{g}_1$$

pues los errores experimentales son aleatorios y se supone que se distribuyen normalmente (0, σ^2g). Por lo tanto, $gg_{2,1}$ es un estimador de la ganancia genética, resultado de la introducción de nuevos cultivares en el año 2 en comparación con el año 1. Para cada dos años consecutivos (i, i-1) se obtiene la ganancia genética anual ($gg_{i,i-1}$).

El promedio de ganancia genética anual no puede calcularse como un promedio simple, puesto que podría cancelarse la información de los años intermedios del período. Para solucio-

nar este problema la metodología supone que evaluaciones de la ganancia genética realizada en años consecutivos están correlacionados, lo cual es razonable desde el punto de vista biológico si se tiene en cuenta que la influencia de ciertas condiciones de clima pueden traslaparse entre años (o semestres) consecutivos. Del mismo modo, cultivares de alto desempeño en un año (o semestre) con toda seguridad se someterán a nuevas evaluaciones en los ensayos que se realicen en el siguiente año (o semestre). El cálculo de la ganancia media anual o semestral se estima por el método de mínimos cuadrados.

Según Toledo *et al* (1990), la matriz de ponderación es la inversa de la matriz de varianzas y covarianzas (V) de las ganancias genéticas anuales, la cual se construye teniendo en cuenta los siguientes criterios:

$$\begin{aligned} \text{Var}(gg_{i,i-1}) &= 2\sigma_g^2 \\ \text{Var}(gg_{i,i-1}, gg_{j,j-1}) &= 0 \quad \text{si } i-j > 1 \\ \text{Var}(gg_{i,i-1}, gg_{j,j-1}) &= -\sigma_g^2 \quad \text{si } i-j = 1 \end{aligned}$$

donde σ_g^2 es la varianza genética de las líneas evaluadas. La matriz de ponderación V presenta la siguiente estructura:

$$\text{donde } \sigma_g^2 = \frac{\bar{Q}M \text{ residuo}}{r}$$

$\bar{Q}M$ = Cuadrado medio del residuo o error en el análisis de varianza para cada semestre.

r = Número de repeticiones de los experimentos

ESTRUCTURA DE LA MATRIZ DE VARIANZAS Y COVARIANZAS

| PERIODO | 80 | 81 | 82 | | 90 | 91 |
|---------|----|----|----|-------|----|----|
| 80 | 2 | -1 | 0 | | 0 | 0 |
| 81 | -1 | 2 | -1 | | 0 | 0 |
| 82 | 0 | -1 | 2 | | 0 | 0 |
| . | . | . | . | . | . | .. |
| . | . | . | . | . | . | .. |
| 90 | 0 | 0 | 0 | | 2 | -1 |
| 92 | 0 | 0 | 0 | | -1 | 2 |

$V = \sigma_g^2$

Esta matriz de ponderación se utiliza para el cálculo de la ganancia genética media anual, por el método de mínimos cuadrados ponderados.

Para K años, el vector Z que contiene las k-1 ganancias genéticas, se define como sigue:

$$Z = \begin{bmatrix} G(1.2) \\ G(2.3) \\ . \\ . \\ . \\ G(k-1, k) \end{bmatrix} = \text{Conjunto de progresos genéticos realizados.}$$

Considerése el modelo $Z = X\beta + E$, en donde β representa el vector de parámetros en este caso tiene dimensiones (1 x 1) y X un vector columna de dimensiones (k-1, 1)

El vector β , que contiene la media de \bar{G} se puede estimar por el método de los mínimos cuadrados ponderados.

$$\begin{aligned} \hat{\beta} &= \text{media ponderada de los valores de } G \\ \hat{\beta} &= \bar{G} = [(X' V^{-1} X)^{-1} (X' V^{-1} Z)] \end{aligned}$$

Donde: X' = vector traspuesto de X
 V^{-1} = inversa de V

Con este método, se obtiene la media ponderada de los efectos genéticos anuales.

El progreso genético porcentual para cada semestre y clase de experimento, se estimó a través de la relación entre el incremento medio anual y la media general de los ensayos durante el período de evaluación.

ANALISIS ECONOMICO

Para el análisis económico se recolectó información sobre área sembrada, costos de producción, precios de sustentación e índice de precios para el consumidor en las siguientes entidades oficiales: URPA, CVC, IDEMA, BANCO DE LA REPUBLICA e ICA.

El cálculo de la producción adicional por mejoramiento genético por semestre, se obtuvo de multiplicar el área de siembra por la ganancia genética media para cada semestre.

El total de la producción adicional, se estimó como la sumatoria de la producción adicional de

cada semestre en cada año y se multiplicó por el precio de venta de la tonelada, para obtener el valor total de la producción adicional por mejoramiento genético. Con base en los costos totales de producción se calcularon los costos de cosecha por tonelada, los cuales para las condiciones del Valle del Cauca se estima que representan el 10% de los costos totales de producción. Este razonamiento es válido si se supone que dos cultivares de diferente desempeño productivo sembrados en condiciones similares de manejo agronómico tienen costos similares de producción, excepto los costos en los cuales se incurre por cosechar el exceso de producción de uno sobre otro.

El ingreso neto adicional por mejoramiento genético se estimó restando del ingreso adicional, los costos de cosecha de la producción adicional.

El ingreso neto adicional por año, tomando 1991 como base, se obtuvo deflactando los valores corrientes por el índice de precios al consumidor. Los valores acumulados durante el período 1980 - 1991 reflejan el impacto económico del mejoramiento genético en soya, para las condiciones del Valle del Cauca.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se registran los promedios de rendimiento (Kg/ha) para los cultivares testigos lo mismo que para las líneas y variedades consideradas en los ensayos. Debido a que se detectaron diferencias altamente significativas en rendimiento, entre semestres A y B (Cuadro 2), se decidió estimar la ganancia genética considerando el grupo de experimentos realizados en el semestre A, independiente del grupo correspondiente al semestre B.

La ganancia genética promedio para el semestre A fue de 93.18 Kg/ha (Cuadro 3), la cual representa un 3.4% del rendimiento promedio alcanzado en el grupo de experimentos respectivos (2715.2 Kg/ha). Toledo (1990) comunica para las condiciones de Ponta Grossa (Brazil), valores relativamente similares (88.6 Kg/ha) ó 3.5%, para el grupo de maduración precoz. Para el

semestre B la ganancia promedio fue de 71.58 Kg/ha, la cual en términos relativos representa un 2.8% del rendimiento promedio (2452.5 Kg/ha).

Al consolidar los resultados obtenidos en los dos semestres, se obtuvo una ganancia promedio anual de 82.58 Kg/ha (3.2%), producto de la selección hacia los mejores genotipos en rendimiento y adaptación, labor que por su continuidad ha contribuido al éxito del Programa de Oleaginosas Anuales, medido en términos del número de cultivares mejorados liberados en los últimos años (Soyicas: P-31, P-32, P-33 y P-34.

El éxito del Programa es atribuible en buena parte al uso de la variabilidad genética disponible en la colección que posee, a los planes de hibridación utilizando padres contrastantes y a la utilización de líneas avanzadas con buen potencial de rendimiento, adaptación, características agronómicas deseables y origen genético diferente. A estas consideraciones se suma el elevado número de poblaciones segregantes y líneas avanzadas que permanentemente se evalúan en ensayos de rendimiento y al esquema de cruza-mientos múltiples como alternativa para aumentar el número de genes favorables.

En términos económicos (Cuadro 4) el éxito del Programa se midió en función del ingreso neto adicional por mejoramiento genético, cuyo valor se estimó en 10.885.51 millones de pesos entre 1980 y 1981.

BIBLIOGRAFIA

- MARTIN, K.S. Genetic gain by stages in regional soybean tests. *Soybean Genetics Newsletter*. 16: 205-207. 1989.
- SPECHT, J.E. and WILLIAM, J.J. Contribution of genetic technology to soybean productivity-retrospect and prospect. In: ASA, CSSA. Genetic contribution to yield gains of live major crops planta. Madison, 1984. p. 49-74.
- TOLEDO, F.J. *et al.* Ganho genético en soja no estado do Paraná via melhoramento, *Pesquisa Agropecuaria*. 29: 1365-1371. 1990.
- VENCOVSKY, R. *et al.* In: EMBRAPA. Congreso Nacional de Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 1988. p. 300-307.

CUADRO 1. Media de rendimiento de líneas y/o variedades y testigos en soya, en dos experimentos y dos semestres de evaluación durante el período 1980 a 1991 C.I., Palmira. ICA. 1992.

| EXP/TO | CULTIVAR | S/TRE | PERIODO DE EVALUACION | | | | | |
|--------|--------------|-------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| | | | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 |
| | | | kg/ha | | | | | |
| 1 | ICA TUNIA | | 3081 (1) | 3970 (1) | 2972 (1) | 3007 (1) | 3400 (1) | 1962 (1) |
| | SOYICA P33 | A | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| | LINEA Y/O V. | | 2914 (24) | 3521 (24) | 3129 (24) | 2615 (24) | 3200 (11) | 1893(24) |
| | RDTO X̄. | | 2921 | 3539 | 3123 | 2631 | 3217 | 1896 |
| 2 | ICA TUNIA | | 3195 (1) | 3690 (1) | 2667 (1) | 3007 (1) | 3400 (1) | 2212 (1) |
| | SOYICA P33 | A | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| | LINEA Y/O V. | | 3132 (24) | 3473 (24) | 3023 (24) | 2171 (24) | 3321 (19) | 2182(24) |
| | RDTO X̄. | | 3134 | 3481 | 3009 | 2203 | 3325 | 2183 |
| 1 | ICA TUNIA | | 2991 (1) | 2937 (1) | 3114 (1) | 2243 (1) | 2299 (1) | 2299 (1) |
| | SOYICA P33 | B | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| | LINEA Y/O V. | | 2759 (24) | 2900 (24) | 2943 (24) | 2015 (24) | 2735 (19) | 2502(24) |
| | RDTO X̄. | | 2769 | 2901 | 2950 | 2024 | 2711 (24) | 2494 |
| 2 | ICA TUNIA | | 2496 (1) | 2805 (1) | 3000 (1) | 2451 (1) | 2300 (1) | 1850 (1) |
| | SOYICA P33 | B | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| | LINEA Y/O V. | | 2612 (24) | 3042 (24) | 3167 (24) | 2274 (24) | 2400 (13) | 2193(24) |
| | RDTO X̄. | | 2607 | 3033 | 3160 | 2281 | 2393 | 2179 |

RDTO = Rendimiento en Kg / ha.

Media de rendimiento de líneas y/o variedades y testigos en soya, en dos experimentos y dos semestres de evaluación en el período 1980 a 1991 C.I. Palmira. ICA. 1992.

... Continuación

| Exp/to | Cultivar | S/tre | PERIODO DE EVALUACION | | | | | | |
|--------|--------------|-------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----|
| | | | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | |
| | | | kg./ha | | | | | | |
| 1 | ICA TUNIA | | 2488 (1) | 2052 (1) | -- | -- | -- | -- | -- |
| | SOYICA P33 | A | -- | 2375 (1) | 3373 (1) | 3199 (1) | 2046 (1) | 2215 (1) | |
| | LINEA Y/O V. | | 2403 (24) | 2129 (23) | 3172 (24) | 3168 (24) | 2219 (24) | 2143(24) | |
| | RDTO. X̄. | | 2410 | 2136 | 3180 | 3170 | 2212 | 2146 | |
| 2 | ICA TUNIA | | 2715 (1) | 1771 (1) | -- | -- | -- | -- | |
| | SOYICA P33 | A | 2871 (1) | 2607 (1) | 3355 (1) | 3053 (1) | 1412 (1) | 2292 (1) | |
| | LINEA Y/O V. | | 2359 (23) | 2066 (23) | 3073 (24) | 3318 (24) | 2398 (24) | 2145(24) | |
| | RDTO. X̄. | | 2394 | 2075 | 3084 | 3307 | 2358 | 2151 | |
| 1 | ICA TUNIA | | 1679 (1) | -- | -- | -- | -- | -- | |
| | SOYICA P33 | B | -- | 1365 (1) | 2928 (1) | 2123 (1) | 2601 (1) | 2389 (1) | |
| | LINEA Y/O V. | | 1797 (24) | 1353 (24) | 3003 (24) | 2378 (24) | 2677 (24) | 2145(24) | |
| | RDTO. X̄. | | 1792 | 1353 | 3000 | 2367 | 2674 | 2461 | |
| 2 | ICA TUNIA | | 1706 (1) | -- | -- | -- | -- | -- | |
| | SOYICA P33 | B | 2241 (1) | 1840 (1) | 3050 (1) | 2123 (1) | 2740 (1) | 2569 (1) | |
| | LINEA Y/O V. | | 1753 (23) | 1560 (24) | 3181 (24) | 2111 (24) | 2500 (24) | 2536 (24) | |
| | RTO X̄. | | 1770 | 1571 | 3176 | 2111 | 2509 | 2538 | |

RDTO = Rendimiento en kg/ha

CUADRO 2. Análisis de varianza para rendimiento (kg/ha) para el semestre A, a través de años (A), repeticiones (R), experimentos (E) y cultivares comunes (testigos) (T), de ensayos avanzados de líneas y/o variedades de Soya. En el período 1980 a 1991. CI. Palmira ICA. 1992.

| F.V. | G.L. | O.M. | F _c |
|-----------------|------|-------------|----------------|
| A | 11 | 55111271.49 | 284.89** |
| R (A) | 36 | 336568.16 | 1.74* |
| E | 1 | 265544.26 | 1.37 H.S. |
| A x E | 11 | 1754878.34 | 9.07** |
| T (E) | 2 | 141056.98 | 0.73 H.S. |
| A x T (E) | 22 | 506209.93 | 2.62* |
| Modelo | 83 | 7823233.48 | 40.44** |
| Error | 2248 | 193450.44 | |
| Total corregido | 2331 | | |

N.S. Indica no significativo, * y ** Indican significativo y altamente significativo al 5%.

C.V. = 16.3

CUADRO 3. Aumento del rendimiento de grano de líneas y/o variedades de Soya, en dos experimentos y dos semestres de evaluación, debido a mejoramiento genético en el período 1980 a 1991. CI. Palmira, ICA. 1992.

| AÑO | SEMESTRE - A | | | | SEMESTRE - B | | | | MEDIA | |
|--------------------------------|--------------|--|----------|--|--------------|--|----------|--|------------|------------|
| | ENSAYO 1 | | ENSAYO 2 | | ENSAYO 1 | | ENSAYO 2 | | SEMESTRE A | SEMESTRE B |
| | | | | | | | | | | |
| 1980 a 1981 | 199 | | 102 | | 13 | | -138 | | 150.5 | -62.5 |
| 1981 a 1982 | 201 | | 551 | | 86 | | -68 | | 376.0 | 9.0 |
| 1982 a 1983 | 36 | | 68 | | 13 | | -108 | | 52.0 | -47.5 |
| 1983 a 1984 | 140 | | 117 | | 531 | | 263 | | 128.5 | 397.0 |
| 1984 a 1985 | -47 | | -39 | | -52 | | -57 | | -43.0 | -54.5 |
| 1985 a 1986 | 188 | | -124 | | 134 | | -15 | | 32.0 | 59.5 |
| 1986 a 1987 | 0 | | 0 | | 69 | | 357 | | 0.0 | 213.0 |
| 1987 a 1988 | -19 | | 29 | | 19 | | 9 | | 5.0 | 14.0 |
| 1988 a 1989 | 43 | | 3 | | -170 | | -65 | | 23.0 | -117.5 |
| 1989 a 1990 | 443 | | 744 | | 149 | | 150 | | 593.5 | 149.5 |
| 1990 a 1991 | 112 | | -185 | | 149 | | 184 | | -36.5 | 166.5 |
| Ganancia \bar{X}_p Semestral | 97.50 | | 88.86 | | 83.48 | | 59.69 | | 93.18 | 71.58 |
| Media de Productividad | 2708.8 | | 2721.7 | | 2460.5 | | 2444.1 | | 2715.2 | 2452.3 |
| Ganancia Media Semestral (%) | 3.6% | | 3.3% | | 3.4% | | 2.4% | | 3.4% | 2.9% |

\bar{X}_p = Media Ponderada y corresponde a $\hat{\beta}$ del modelo de ponderación.

CUADRO 4. Ingreso neto adicional de Soya a pesos de 1991, valor del ingreso adicional generado por mejoramiento genético, período 1980 - 1991. Valle del Cauca. CI Palmira. ICA. 1992.

| AÑO | INGRESO NETO ADICIONAL (MILLONES DE PESOS) | INDICE DE PRECIOS AL PRODUCTOR* | VALOR DEL INGRESO NETO ADICIONAL A PESOS DE 1991 (MILLONES) |
|--------------------|---|--|--|
| 1980 | 79'929 | 9.13 | 875.455 |
| 1981 | 83'349 | 11.27 | 739.565 |
| 1982 | 100'729 | 14.03 | 717.954 |
| 1983 | 121'175 | 16.57 | 731.291 |
| 1984 | 167'404 | 20.09 | 833.270 |
| 1985 | 274'846 | 24.70 | 1.112.737 |
| 1986 | 371'944 | 30.72 | 1.210.755 |
| 1987 | 293'233 | 38.45 | 762.635 |
| 1988 | 445'373 | 49.80 | 894.323 |
| 1989 | 771'012 | 62.55 | 1.232.633 |
| 1990 | 1004'770 | 81.26 | 1.236.488 |
| 1991 | 538.401 | 100.00 | 538.401 |
| Gran Total: | | | 10.885.507 |

* Año base 1991

Fuente: BANCO DE LA REPUBLICA