

# FITOTECNIA

## COMPORTAMIENTO DE FAMILIAS S<sub>1</sub> DE MAÍZ EN DISTINTOS pH DEL SUELO<sup>(1)</sup>

GUILLERMO CASTAÑÓN NÁJERA<sup>(2)</sup>; LUIS LATOURNERIE MORENO<sup>(3)</sup>

### RESUMEN

La investigación se realizó en tres localidades del Estado de Veracruz, México, durante primavera-verano de 1997. Los objetivos del trabajo fueron medir la respuesta de familias S<sub>1</sub> de maíz (*Zea mays* L.) en localidades con y sin problemas de acidez del suelo, estimar parámetros genéticos en tales familias, y seleccionar familias S<sub>1</sub> con base en su comportamiento medio. Se evaluaron 129 familias S<sub>1</sub> derivadas de la población de maíz SA-6 del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en dos repeticiones por ambiente. Se midieron la floración masculina (FM), la floración femenina (FF), la altura de planta (AP), la altura de mazorca (AM), la sincronía de la floración (ASI), la prolificidad (PRO), el número de mazorcas podridas (MP) y el rendimiento de grano (RG). Se encontraron diferencias entre localidades (L), familias (F) y localidades x familias (L x F) en todos los caracteres estudiados. Las variables medidas fueron más afectadas en el CEPAP (suelo ácido), que en el CBTA # 36 (suelo ligeramente ácido) y CECOT (suelo normal). Los valores de heredabilidad fueron altos: AP (0,65), AM (0,65), RG (0,58) y FM (0,52). Las estimaciones de los límites inferior y superior de los intervalos de confianza para la heredabilidad de cada una de las variables estudiadas fueron diferentes de cero. Los mayores coeficientes de variación genética (CV) fueron observados para RG (18,29%) y MP (20,95 %). Las familias seleccionadas superaron a la media de la población en seis variables, por lo que mediante recombinación de ellas puede continuarse mejorando la población y para tolerancia a la acidez del suelo.

**Palabras clave:** Rendimiento de grano, mejoramiento genético, maíz tropical, suelos ácidos, ganancias genéticas.

### ABSTRACT

#### PERFORMANCE OF S<sub>1</sub> MAIZE (*Zea mays* L.) FAMILIES IN DIFFERENT SOIL pH

This research was carried out in three environments of Vera Cruz State, Mexico, during Spring-Summer 1997. The objectives of the work were to evaluate the response of S<sub>1</sub> families at environments with and without soil acidity, to estimate genetic parameters in these families, and to make a selection of S<sub>1</sub> families based on their performance. A total of 129 S<sub>1</sub> families or lines were evaluated in two replications for each environment. The S<sub>1</sub> families came from the maize SA-6 population of the Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). The traits measured were: days to pollen shed (DPS), days to silking extrusion (DSE), plant height (PH), ear height (EH), anthesis-silking interval (ASI), prolificity (PRO), rotten ears (RE) and grain yield (GY). The results showed differences among

---

<sup>(1)</sup> Recibido para publicación el 2 de abril de 2003 y aceptado en 17 de febrero de 2004.

<sup>(2)</sup> División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, km. 0.5 Carretera Villahermosa-Cárdenas. Villahermosa, Tabasco, México. E-mail: grasputin953@hotmail.com. Ex -investigador de maíz en el Campo Experimental Cotaxtla (CECOT) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

<sup>(3)</sup> Subdirección de Investigación y Graduados Agropecuarios. Instituto Tecnológico Agropecuario # 2. km. 16.3 antigua carretera Mérida-Motul, C.P. 97345 Conkal, Yucatán., México.

environments (E), families (F), and environment x families (E x F) for all traits. The traits were severely affected in the acid soil (Campo Experimental Papaloapan), moderately affected in a less acid soil environment (Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario # 36) and showed normal performance in non-acid soil (Campo Experimental Cotaxtla). The values of heritability were high: 0,65 for PH, 0,65 for EH, 0,58 for GY and 0,52 for DPS. The estimates of low and high limit of the confidence intervals for the heritability of each one of the studied variables were different from zero. The highest genetic coefficients of variation (CV) were for GY (18,29%) and ER (20,95%). The selected families were superior than the population mean for six variables, which means that the selected lines can be recombined in order to improve the population for tolerance to soil acidity.

**key words:** grain yield, breeding, acid soils, tropical maize, genetic gains.

## RESUMO

### COMPORTAMENTO DAS FAMÍLIAS S<sub>1</sub> DE MILHO EM DISTINTOS pH DO SOLO

A pesquisa foi efetuada em três locais do Estado de Veracruz, México durante da época primavera-verão de 1997. Os objetivos deste trabalho foram medir a reação das famílias S<sub>1</sub> de milho (*Zea mays* L.) em locais com e sem acidez no solo, avaliar parâmetros genéticos naquelas famílias e selecionar famílias S<sub>1</sub> com base em seu desempenho. Avaliaram-se 129 famílias S<sub>1</sub> derivadas da população de milho SA-6 do Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo (CIMMYT), em duas repetições por ambiente. Mediram-se o florescimento masculino (FM), o florescimento feminino (FF), a altura da planta (AP), a altura da espiga (AE), a sincronização do florescimento (ASI), a prolificidade (PRO), espigas com dano (ED) e o rendimento de grão (RG). Encontraram-se diferenças entre locais (L), famílias (F) e locais x famílias (LxF) em todos os caracteres estudados. As variáveis medidas foram mais afetadas no CEPAP (solo ácido) do que no CBTA # 36 (solo levemente ácido) e CECOT (solo normal). Os valores de herdabilidade foram altos: AP (0,65), AE (0,65), RG (0,58) e FM (0,52), as estimativas dos limites inferior e superior dos intervalos de confiança para herdabilidade de cada uma das variáveis estudadas foram diferentes de zero. Os maiores coeficientes de variação genética (CV) foram observados para RG (18,29) e EP (20,95). As famílias selecionadas superaram a média da população em seis caracteres, sugerindo que pela combinação pode-se continuar melhorando a população para tolerância à acidez do solo.

**Palavras-chave:** rendimento de grão, melhoramento genético, milho tropical, solos ácidos, ganhos genéticos.

## 1. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L) es el principal alimento del pueblo mexicano. Durante el periodo 1991-2000 se cosecharon alrededor de 8,5 millones de hectáreas por año, con una producción de 17,5 millones de toneladas métricas de grano (<http://www.cea.sagar.gob.mx/diagro/prod.mex>, 2002).

En la región Golfo-Centro, a la que pertenecen los estados de Veracruz y Tabasco, en el año 2000 se cosecharon alrededor de 748 mil hectáreas (SAGARPA, 2002), por lo que se considera a ésa region entre las principales áreas productoras de maíz de México con una media de rendimiento de 1,65 t ha<sup>-1</sup>. La baja producción de maíz en la región referida, es posible que se deba a diferentes factores abióticos como la acidez del suelo y deficiencias de humedad, principalmente (BETANZOS et al., 1996; LOPEZ et al., 1992).

Entre las condiciones que contribuyen al desarrollo de la acidez de los suelos donde se siembra maíz en esta región, están las lluvias intensas e irregulares, la quema anual de residuos de maíz, el uso

continuo de fertilizantes amoniacales, la nula rotación de cultivos y el deficiente control de los escurrimientos (Hibon et al., citado por BETANZOS et al., 1996).

La acidez del suelo puede corregirse si se controla la erosión y se restaura la materia orgánica del suelo, o con la aplicación de cal para neutralizar la acidez e incrementar el pH. Una alternativa viable, económica y ecológicamente limpia para los productores de maíz en los trópicos, es el uso de variedades o híbridos tolerantes a suelos ácidos (NARRO et al., 1995a; BETANZOS et al., 1996). Al respecto, NARRO et al. (1995a) aplicaron los métodos de mazorca por hilera modificada, hermanos completos y familias S<sub>1</sub> para seleccionar germoplasma tolerante a tal acidez; los autores lograron mayores ganancias cuando el método de mejoramiento incluyó la evaluación de progenies en ensayos con repeticiones (HC o S<sub>1</sub>, o ambos) y se pudieron seleccionar las mejores familias. BORRERO et al. (1995) consideran que la selección de genotipos o familias en suelos con y sin problemas de acidez, debiera ser efectiva para mejorar germoplasma de maíz con buena adaptación a ambas condiciones.

El presente trabajo ha sido realizado para medir la respuesta de familias S<sub>1</sub> en localidades con y sin problemas de acidez del suelo, estimar parámetros genéticos en tales familias, y seleccionar familias S<sub>1</sub> con base en su comportamiento medio de las tres localidades de evaluación.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

En el ciclo primavera-verano de 1997 se sembraron 129 familias S<sub>1</sub> derivadas de la población

SA-6 de maíz del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en el Campo Experimental Cotaxtla (CECOT), Campo Experimental Papaloapan (CEPAP) y Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario # 36 (CBTA # 36). Los dos primeros son parte del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y el último de la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria (DGETA). Se eligieron esas localidades por ser contrastantes (Tabla 1), en cuanto al tipo de suelo, pH, precipitación anual y durante el ciclo de cultivo, y fertilidad, principalmente.

**Tabla 1.** Características del suelo de las localidades en donde se evaluaron las familias S<sub>1</sub>. Primavera-Verano, 1997

| Localidad | M.O. | N     | P    | K                   | Al                                  | pp    | pH  | Textura del suelo |
|-----------|------|-------|------|---------------------|-------------------------------------|-------|-----|-------------------|
|           | %    |       |      | kg.ha <sup>-1</sup> | cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> | mm    |     |                   |
| CECOT     | 2,15 | 0,113 | 50,0 | 300                 | N. D                                | 1.400 | 7,6 | Arcilloso         |
| CEPAP     | 1,34 | 0,039 | 36,6 | N. D                | 1,24                                | 1.150 | 4,5 | Arenoso           |
| CBTA # 36 | 2,07 | 0,104 | 7,9  | N. D                | N. D                                | 1.400 | 6,8 | Arcillo-Arenoso   |

CECOT: Campo Experimental Cotaxtla; CEPAP: Campo Experimental Papaloapan; CBTA # 36: Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario # 36. M.O.: Materia orgánica; N: Nitrógeno en 100 g de suelo; P: Fósforo; K: Potasio; pp: Precipitación pluvial anual; Al: Aluminio miliequivalentes meq/100 g de suelo. N. D.: No se determinó este elemento.

La siembra se realizó el 9 de julio en el CEPAP, el 26 de julio en el CBTA # 36, y el 27 de julio en el CECOT. El diseño experimental fue bloques completos al azar con dos repeticiones, con parcela experimental de un surco de 3,0 m de largo, 0,80 m entre surcos y 0,20 m entre plantas. Se establecieron 16 plantas por parcela, para una densidad de 65,000 plantas por hectárea. Los tratamientos consistieron de 129 familias S<sub>1</sub> en cada sitio de evaluación. Se fertilizó con la fórmula 138N-46P-00K. Las malezas se controlaron con herbicida (150 mL de Atrazina + 150 mL de Paraquat) con bomba de mochila en 20 L de agua, y en forma manual. La chicharrita (*Dalbulus maydis*) y gusano trozador (*Agrotis ipsilon*) se controlaron con 25 mL de paratión metílico en 20 L de agua por bomba de mochila.

Las variables medidas fueron: días a floración masculina (FM), días a floración femenina (FF), altura de planta (AP, en m), altura de mazorca (AM, en m), sincronía de floración (ASI, diferencia entre días a FM y FF (transformado a  $\log_e \sqrt{ASI + 10}$ )), prolificidad (PRO, número de mazorcas por planta), mazorcas podridas (MP, en porcentaje), rendimiento de grano (RG) ajustado a 14% de humedad y expresado en toneladas por hectárea (t.ha<sup>-1</sup>).

El análisis de varianza fue realizado como un experimento combinado mediante el modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \mu + L_i + R_{j(i)} + F_k + LF_{ik} + \epsilon_{ijk}$$

donde: Y<sub>ijk</sub> = es la observación de la k-ésima familia de la j-ésima repetición de la i-ésima localidad;  $\mu$  = es la media general; L<sub>i</sub> = efecto de la i-ésima localidad; R<sub>j(i)</sub> = es el efecto anidado de la repetición k-ésima en la i-ésima localidad; F<sub>k</sub> = es el efecto de la k-ésima familia; LF<sub>ik</sub> = es la interacción de la i-ésima localidad por la k-ésima familia; y  $\epsilon_{ijk}$  = es el error experimental. I = 1,2,...,3 localidades; j = 1,...,2 repeticiones; k = 1,2,...,129 familias.

En el modelo se consideraron aleatorios a los factores localidades y familias, en tanto que repeticiones fue un factor fijo. La estimación de la diferencia mínima significativa para la comparación de las medias fenotípicas se realizó con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). Los componentes de varianza y de heredabilidad se estimaron como lo señalan COMPTON (1968) y HALLAUER y MIRANDA (1988).

$$\sigma_G^2 = \frac{M_3 - M_2}{rl}$$

donde:

$\sigma_G^2$  = Varianza genética entre progenies S<sub>1</sub> o familias, considerándose que en progenies S<sub>1</sub> la varianza de dominancia ( $\sigma_D^2$ ) es cero, M<sub>3</sub> = Cuadrado medio de familias; M<sub>2</sub> = Cuadrado medio de familias x localidad; r = repeticiones; l = localidades.

La varianza fenotípica ( $\sigma_f^2$ ) se estimó como:

$$\sigma_f^2 = \frac{\sigma_e^2}{rl} + \frac{\sigma_{LG}^2}{l} + \sigma_G^2$$

donde:  $\sigma_e^2$ =Varianza del error;  $\sigma_{LG}^2$ =Varianza de localidad por progenies  $S_1$ .

La heredabilidad ( $h^2$ ) en sentido estricto se estimó como:

$$h^2 = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_f^2}$$

El intervalo de confianza para los valores de la heredabilidad ( $h^2$ ) fue estimado como lo señala KNAPP et al. (1985).

donde:

LI: Límite inferior, LS: Límite superior para  $1-\alpha=0,95$

El coeficiente de variabilidad genética (CV) se estimó como:

$$CVA = \frac{\sqrt{\sigma_G^2}}{\bar{x}} 100$$

donde:  $\bar{x}$  = Media del carácter estudiado.

La ganancia por ciclo ( $G_c$ ) de selección se presenta en por ciento en relación a la media de cada una de las variables medidas y se estimó como:

$$G_c = \left[ \left( \frac{k(1/2)\sigma_G^2}{\sigma_f^2} \right) / \bar{x} \right] \times 100$$

donde:  $k$ =intensidad de selección (8,5%=1,8313); cuando  $p = q = 0,5$  (HALLAUER y MIRANDA, 1988), se considera que la varianza  $\sigma_G^2$  se debe a efectos aditivos, ésa y la  $G_c$  estarán sobreestimadas por el efecto de  $\sigma_D^2$ , y  $\sigma_f$ : desviación estándar fenotípica.

Las estimaciones de los componentes de varianza y covarianza se obtuvieron como funciones lineales de las esperanzas matemáticas de los cuadrados medios y productos medios cruzados correspondientes para cada variable.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se detectaron diferencias estadísticas ( $p = 0,001$ ) entre localidades (Tabla 2), atribuibles a las diferencias edáficas y climáticas entre los sitios de prueba. Entre familias (F) también se encontraron diferencias significativas ( $p = 0,01$ ) para todas las variables estudiadas. Las diferencias entre familias permitirían seleccionar a las mejores y descartar a las de pobre comportamiento promedio en los sitios de prueba. La respuesta mostrada por las familias, puede deberse a su bajo nivel de endogamia (0,5), correspondiente a la generación  $S_1$ , cuando se eliminan la mayoría de los genes deletéreos que poseen las líneas. La significancia en la interacción localidades x familias (L x F) indicó una respuesta diferencial de las familias al cambiar de localidad de evaluación. Resultados similares a los reportados en este trabajo los presentaron DUQUE-VARGAS et al. (1994), GRANADOS et al. (1993), PANDEY et al. (1994b), con diferente germoplasma de maíz y nivel de endogamia.

El coeficiente de variación fue alto sólo en el carácter mazorcas podridas (MP) (CV=65,30 %); en las demás variables los CV pueden considerarse como aceptables. La alta magnitud del CV de la variable MP, quizá se debió a que en el CEPAP, todas las familias presentaron pudrición de la mazorca. Las familias mostraron menor pudrición de mazorca en el CECOT y CBTA # 36, y esto hace suponer que el ambiente de evaluación influyó en el comportamiento del material evaluado. En base a lo anterior, puede decirse que la pudrición de mazorca en este trabajo explica los bajos rendimientos del germoplasma evaluado en suelo ácido (SALAZAR et al., 1995).

Entre localidades (Tabla 3), se encontró que el sitio CECOT mostró los mejores promedios para las variables medidas en el total de familias evaluadas, sobre todo prolificidad (PRO), con 1,15 mazorcas por planta, mazorcas podridas (MP) con 12,54 y rendimiento de grano (RG) con 4,701 t.ha<sup>-1</sup>; el sitio CBTA # 36 mostró valores intermedios en las variables medidas respecto a los presentados por las otras dos localidades de prueba. Eso es posible que se deba a que en la localidad de CBTA # 36 el suelo es ligeramente ácido. En CEPAP se obtuvieron los peores promedios y las plantas más tardías, con floración masculina (FM) y floración femenina (FF) de 65,18 y 65,95 días, respectivamente. Ello pudo deberse al efecto de la acidez del suelo, a la concentración de aluminio (Al) y a la menor y mal distribuida precipitación durante la evaluación del germoplasma en ese ambiente. CEBALLOS et al. (1992) mostraron resultados semejantes a los aquí presentados cuando evaluaron germoplasma de maíz en suelos ácidos.

**Tabla 2.** Análisis de varianza conjunta para las nueve variables medidas en las familias S<sub>1</sub> evaluadas en tres localidades y sus correspondientes medias ( $\bar{x}$ ) y coeficientes de variación (CV). Primavera-Verano, 1997

| FV          | Gl  | Floración    | Floración   | Sincronía de | Altura de | Altura    | Prolificidad de | Mazorcas    | Rendimiento        |
|-------------|-----|--------------|-------------|--------------|-----------|-----------|-----------------|-------------|--------------------|
|             |     | Masculina    | Femenina    |              |           |           |                 | floración   |                    |
|             |     | días         |             |              | m         |           | n.º             |             | t.ha <sup>-1</sup> |
| L           | 2   | 10059,027 ** | 9525,779 ** | 0,744 **     | 24,823 ** | 10,571 ** | 10,354 **       | 5641,518 ** | 615,323 **         |
| R/L         | 3   | 8,110 ns     | 1,966 ns    | 0,005 **     | 0,015 ns  | 0,006 ns  | 0,070 *         | 18,549 ns   | 0,984 ns           |
| F           | 128 | 10,643 **    | 16,328 **   | 0,004 **     | 0,088 **  | 0,046 **  | 0,127 **        | 310,379 **  | 3,456 **           |
| L x F       | 256 | 5,061 **     | 8,265 **    | 0,003 **     | 0,031 **  | 0,016 **  | 0,085 **        | 249,421 **  | 1,451 **           |
| Error       | 384 | 3,823        | 5,919       | 0,002        | 0,017     | 0,008     | 0,026           | 98,692      | 0,501              |
| $\sigma^2G$ |     | 0,9303       | 1,3438      | 0,0002       | 0,0095    | 0,0050    | 0,0070          | 10,1596     | 0,3342             |
| $\sigma^2f$ |     | 1,7738       | 2,7213      | 0,0008       | 0,0146    | 0,0076    | 0,0211          | 51,7297     | 0,5760             |
| Total       | 773 |              |             |              |           |           |                 |             |                    |
| CV (%)      |     | 3,37         | 4,12        | 3,93         | 8,88      | 12,79     | 17,22           | 65,30       | 22,37              |
| $\bar{x}$   |     | 57,97        | 59,97       | 1,20         | 1,46      | 0,70      | 0,94            | 17,22       | 3,16               |

FV = Fuentes de variación; Gl= Grados de libertad; L= Localidad; R/L=Repetición anidado en localidad; F=Familias; LxF=Localidad x familias; CV= Coeficiente de variación;  $\bar{x}$  =Media del carácter;  $\sigma^2G$ =Varianza genética de familias;  $\sigma^2f$ = Varianza fenotípica.

**Tabla 3.** Promedios de las variables medidas en las familias S<sub>1</sub> evaluadas para cada localidad. Primavera-Verano, 1997

| Variable                  | CECOT   | CEPAP   | CBTA # 36 |
|---------------------------|---------|---------|-----------|
| Floración masculina       | 54,56 b | 65,18 a | 54,28 b   |
| Floración femenina        | 54,51 c | 65,94 a | 56,68 b   |
| Sincronía de la floración | 1,15 c  | 1,18 b  | 1,26 a    |
| Altura de planta          | 1,61 b  | 1,10 c  | 1,66 a    |
| Altura de mazorca         | 0,83 a  | 0,47 b  | 0,81 a    |
| Prolificidad de mazorcas  | 1,15 a  | 0,75 c  | 0,94 b    |
| Mazorcas podridas         | 12,54 b | 20,61 a | 12,48 b   |
| Rendimiento de grano      | 4,70 a  | 1,61 c  | 3,17 b    |

Medias con la misma letra entre columnas son estadísticamente iguales Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). CECOT: Campo Experimental Cotaxtla; CEPAP: Campo Experimental Papaloapan; CBTA # 36: Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario # 36.

La altura de planta y mazorca (1,10 y 0,47 m), también fueron bajas en ese ambiente con suelo ácido y alta concentración de aluminio que equivale a 44 % de saturación y que es superior al nivel crítico (30 %) que causa daño a la planta de maíz. La alta concentración de Al se asocia con deficiencias de fósforo, magnesio, calcio o toxicidad de manganeso, lo que posiblemente provocó el acortamiento de los entrenudos de las plantas y la consecuente reducción en altura. Resultados similares fueron reportados por PEÑALOZA et al. (1982), GOURLEY et al. (1990) y DUQUE-VARGAS et al. (1994).

La escasa producción de mazorcas por planta (0,75) en el CEPAP se atribuye, de acuerdo con DUQUE-VARGAS et al. (1994), a que la expresión de ese carácter se asocia con floración tardía tanto masculina como femenina, causada por la acidez del suelo y saturación de aluminio.

Los valores de heredabilidad más altos basados en las medias de familias S<sub>1</sub> fueron para las variables altura de planta (0,65), altura de mazorca (0,65), rendimiento de grano (0,58), floración masculina (0,52) y floración femenina (0,49). Puede decirse que ese comportamiento se debe a efectos aditivos, por lo que la selección para esos caracteres en las familias S<sub>1</sub> deberá ser efectiva para mejorar la población original, ya que entre más grande sea la heredabilidad y el carácter a que pertenece ésta es controlado por pocos genes, es probable que el ambiente afecte poco esa respuesta. Otra posible explicación a esas estimaciones altas de heredabilidad puede ser la contribución que juega el componente de varianza del error, NARRO et al. (1995b), señalan que los suelos con problemas de acidez se caracterizan por su alta variabilidad, lo que ocasiona obtener grandes errores experimentales, dificultando la precisión para conseguir diferencias genéticas entre progenies durante el proceso de selección.

Las heredabilidades de menor magnitud las reportaron los caracteres sincronía de la floración (0,26), prolificidad (0,33) y mazorcas podridas (0,20). Los valores estimados de heredabilidad de floración masculina (FM) y rendimiento de grano (RG) son altos comparados a los reportados para FM (0,38) y RG (0,24) por DUQUE-VARGAS et al. (1994) y al 0,36 y 0,39 para RG reportado por NARRO et al. (1995b; 1995c). Sin embargo, son similares a los presentados por BORRERO et al. (1995) en FM (0,49), AP (0,69) y PRO (0,46).

Una posible explicación de la discrepancia de las heredabilidades estimadas en este trabajo con las reportadas por DUQUE-VARGAS et al. (1994), NARRO et al. (1995b; 1995c), quizá se deba a que éstos últimos condujeron sus evaluaciones en más ambientes y éstos con mayor problema de acidez y saturación de aluminio. Así, lo reportado en nuestra investigación puede estar sobreestimado, ya que como mencionan NARRO et al. (1995b), los valores de varianza genética y dominancia son inconsistentes para rendimiento de grano, principalmente en evaluaciones conducidas en suelos ácidos.

Las estimaciones del límite inferior y superior del intervalo de confianza para los valores de heredabilidad de cada variable medida (Tabla 4), hacen suponer que los caracteres AP, AM, RG y FM, presentaron longitud corta del intervalo. Ese comportamiento es una propiedad que se desea se cumpla cuando se estiman intervalos de confianza. De longitud intermedia del intervalo de confianza fueron FF y ASI, y de mayor longitud fueron los intervalos de confianza estimados para la heredabilidad de PRO y MP. Los valores de los límites de los intervalos de confianza de las variables estudiadas fueron diferentes de cero, lo que se puede interpretar como presencia de variación genética entre las familias S<sub>1</sub> evaluadas.

Los coeficientes de variación genética (CV) fueron altos para las variables altura de planta (6,68), altura de mazorca (10,10), prolificidad (9,30), mazorcas podridas (20,95) y rendimiento de grano (18,29), similar éste al estimado por HALLAUER et al., (1988) para líneas S<sub>1</sub> evaluadas en suelos sin ningún tipo de estrés. De acuerdo a estos valores puede decirse que existe suficiente variabilidad genética para continuar mejorando la población original. El CV estimado para la variable MP, es alto posiblemente por la contribución que tuvo el ambiente ácido del Campo Experimental Papalopan (CEPAP), donde la media (Tabla 3) del carácter citado fue casi dos veces mayor que la media del mismo carácter en los ambientes Campo Experimental Cotaxtla (CECOT) y Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario # 36 (CBTA # 36). Los valores pequeños de CV que presentaron las variables floración masculina (1,66), floración femenina (1,96), y la sincronía de la floración (1,18), hacen suponer que se pueda mantener el ciclo vital de la población, además que es posible reducir el riesgo de que se presenten plantas estériles por el

efecto que pueden causar los factores abióticos como la precipitación errática, alta temperatura y acidez del suelo sobre los tres caracteres citados.

En concordancia con todo lo anterior, en las ganancias esperadas (Tabla 4) por ciclo de selección (Gc), se observó que las variables RG, MP y AM, fueron las que presentaron las estimaciones más grandes. Eso puede atribuirse al efecto que pudieron tener principalmente los valores de heredabilidad ( $h^2$ ) y desviación fenotípica ( $\sigma_p$ ) de cada carácter. Sin embargo, es necesario tener cuidado en cuanto a la variable mazorcas podridas, cuyo porcentaje debe reducirse en subsecuentes ciclos de selección.

Las ganancias para AP y PRO, se consideran aceptables, en tanto que para FF, FM y ASI, son ganancias insignificantes. En general, los valores estimados en este trabajo son iguales a aquéllos que reportan NARRO et al. (1995b; 1995c), y GRANADOS et al. (1993), con la diferencia de que los autores citados usaron medios hermanos o hermanos completos como métodos para mejorar por tolerancia a suelos ácidos.

**Tabla 4.** Estimaciones de heredabilidad en sentido amplio ( $h^2$ ) de medias de familias combinando ambientes y sus respectivos intervalos de confianza (límite inferior, LI y límite superior, LS), Coeficiente de variación genética (CV) y ganancia por ciclo (Gc) en porcentaje de las variables medidas en las familias S<sub>1</sub>. Primavera-Verano, 1997

| Variable                  | LI     | $h^2$  | LS     | CV(%) | Gc    |
|---------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|
| Floración masculina       | 0,4060 | 0,5245 | 0,6370 | 1,66  | 1,10  |
| Floración femenina        | 0,3670 | 0,4938 | 0,6136 | 1,96  | 1,26  |
| Sincronía de la floración | 0,0620 | 0,2500 | 0,4273 | 1,18  | 0,56  |
| Altura de planta          | 0,5596 | 0,6507 | 0,7311 | 6,68  | 4,93  |
| Altura de mazorca         | 0,5650 | 0,6507 | 0,7345 | 10,10 | 7,44  |
| Prolificidad de mazorcas  | 0,1630 | 0,3318 | 0,4890 | 9,30  | 4,89  |
| Mazorcas podridas         | 0,0050 | 0,1964 | 0,3870 | 20,95 | 8,13  |
| Rendimiento de grano      | 0,4751 | 0,5802 | 0,6790 | 18,29 | 12,75 |

La selección de las mejores familias S<sub>1</sub> se hizo con 8,5 % de presión de selección. El criterio base para elegir a esas familias fue el promedio mostrado por cada una de ellas en las variables PRO y RG (Tabla 5) respecto a la población completa. Lo anterior indica una respuesta favorable a la selección a través de ambientes, donde las familias seleccionadas por su comportamiento medio para RG (42, 28, 81, 68, 26 y 85), sobresalieron tanto en ambientes ácidos como en ambientes normales (sin problemas de acidez) (Datos no mostrados). Las familias seleccionadas se pueden considerar como tolerantes a suelo ácido. SALAZAR et

al. (1995) clasificaron como variedades tolerantes a aquellas que presentaron prolificidad mayor que 0,90.

Las correlaciones genotípicas para los caracteres medidos se presentan en la Tabla 6. De acuerdo a los resultados se puede anotar que la altura y prolificidad de mazorcas (AM y PRO), fueron las variables de mayor importancia en el incremento del rendimiento de grano (RG), es posible que estos caracteres estén gobernados por un mismo grupo de genes. SINGH y VERNA (1977), y DUQUE-VARGAS et al. (1994) reportaron resultados similares para número de mazorcas en maíz.

**Tabla 5.** Medias fenotípicas de los caracteres estudiados en las familias S<sub>1</sub> seleccionadas. Primavera-Verano, 1997.

| N.º F. S. | FM   | FF   | ASI  | AP   | AM   | PRO  | MP    | RG   |
|-----------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| 42        | 55,5 | 56,0 | 1,17 | 1,62 | 0,78 | 1,30 | 23,05 | 6,11 |
| 85        | 56,7 | 57,2 | 1,17 | 1,61 | 0,75 | 1,04 | 21,43 | 5,26 |
| 91        | 56,5 | 57,8 | 1,21 | 1,61 | 0,82 | 1,01 | 22,63 | 4,55 |
| 28        | 56,8 | 57,5 | 1,18 | 1,46 | 0,71 | 1,16 | 8,06  | 4,51 |
| 81        | 57,0 | 57,0 | 1,15 | 1,40 | 0,69 | 1,03 | 17,22 | 4,42 |
| 7         | 58,7 | 59,3 | 1,18 | 1,41 | 0,63 | 1,04 | 15,55 | 4,40 |
| 26        | 56,8 | 57,2 | 1,16 | 1,60 | 0,76 | 1,01 | 17,20 | 4,33 |
| 68        | 58,0 | 58,2 | 1,15 | 1,43 | 0,68 | 0,96 | 9,39  | 4,32 |
| 122       | 58,5 | 60,2 | 1,22 | 1,62 | 0,86 | 1,14 | 7,50  | 4,28 |
| 126       | 57,8 | 58,5 | 1,18 | 1,67 | 0,83 | 1,15 | 17,50 | 4,21 |
| 82        | 58,7 | 59,7 | 1,19 | 1,52 | 0,81 | 1,10 | 19,83 | 4,19 |
| S         | 57,3 | 58,1 | 1,18 | 1,54 | 0,76 | 1,08 | 16,30 | 4,60 |
| DMS       | 5,02 | 6,25 | 0,12 | 33,3 | 22,9 | 0,42 | 25,51 | 1,82 |
| p         | 57,9 | 59,0 | 1,20 | 1,46 | 0,70 | 0,90 | 15,20 | 3,16 |

N.º F. S. = Número de familia seleccionada; FM =Floración masculina; FF =Floración femenina; ASI = Sincronía de la floración; AP = Altura de planta; AM = Altura de mazorca; PRO = Prolificidad; MP = Mazorcas podridas; RG = Rendimiento de grano;  $\bar{x}$  s = promedio de las familias seleccionadas; DMS = Diferencia mínima significativa honesta;  $\bar{x}$  p = promedio de las familias en toda la población.

**Tabla 6.** Correlaciones genotípicas entre las variables evaluadas en las familias S<sub>1</sub>. Primavera-Verano, 1997

|     | FF     | ASI    | AP    | AM     | PRO     | MP      | RG      |
|-----|--------|--------|-------|--------|---------|---------|---------|
| FM  | 1,85** | 0,87** | -0,17 | -0,12  | -0,65** | -0,19   | -0,41** |
| FF  |        | 1,75** | -0,19 | -0,14  | -0,79** | 0,02    | -0,77** |
| ASI |        |        | -0,02 | -0,10  | -0,44** | -0,13   | -0,76** |
| AP  |        |        |       | 1,25** | 0,47**  | -0,37** | 0,08    |
| AM  |        |        |       |        | 0,38**  | -0,53** | 0,77**  |
| PRO |        |        |       |        |         | 0,08    | 1,25**  |
| MP  |        |        |       |        |         |         | -0,13   |

FM =Floración masculina, FF =Floración femenina, ASI =Sincronía de la floración, AP =Altura de planta, AM =Altura de mazorca, PRO = Prolificidad, MP = Mazorcas podridas, RG = Rendimiento de grano. \*\* = Significativa al 0.05 de probabilidad.

La asociación significativa y negativa entre el rendimiento de grano (RG) con la floración femenina (-0,77) y la floración masculina (-0,41), puede interpretarse como que las familias precoces fueron más eficientes para formar grano o quizá que las familias tardías tuvieron menos oportunidad de ser fecundadas debido a la menor cantidad de polen en el ambiente. Ese tipo de correlación encontrado entre las variables mencionadas es contradictorio a lo que se observa en condiciones de no estrés, donde la correlación entre el rendimiento de grano y madurez tardía están correlacionadas positivamente (HALLAUER et al., 1988).

Es frecuente que ocurra lo reportado en nuestra investigación en condiciones de temporal (siembra en época de lluvias), donde la precocidad y el alto rendimiento que presentaron las familias en las condiciones de evaluación, es un indicio de que el germoplasma evaluado en este trabajo, posee cierto grado de tolerancia a la acidez del suelo, ya que aparentemente la condición de estrés no influyó en la floración femenina y masculina de los materiales probados. CEBALLOS et al. (1992) mencionan que el germoplasma de maíz, susceptible a la acidez del suelo, muestran demora a la floración femenina (FF) como masculina (FM).

En la Tabla 6 se observan valores de correlación mayores que 1,0 entre las variables FM-FF (1,85), FF-ASI (1,75), AP-AM (1,25) y PRO-RG (1,25), es decir fueradel rango de magnitud que adquieren las correlaciones. Esos resultados pudieron deberse a error de estimación o al error de muestreo para estimar cada variable por familia. Otra posible explicación de esos resultados se debe a la influencia que tuvo el ambiente y la interacción familia x ambiente para determinar la relación entre los pares de caracteres señalados, o también al efecto que tuvo el valor de la covarianza entre los pares de caracteres y sus respectivas varianzas individuales que presentaron valores pequeños.

#### 4. CONCLUSIÓN

Las diferencias entre las localidades de prueba permitieron que las familias expresaran su potencial genético. Los valores de los coeficientes de variación genética (CV), heredabilidad y la ganancia por ciclo, permiten suponer que se puede mejorar la población para aumentar la frecuencia de alelos favorables de caracteres importantes como PRO y RG, y que estos son los caracteres más importantes para seleccionar germoplasma que tenga buena respuesta a suelos ácidos o normales.

Se seleccionaron 11 familias con mejores promedios en todas las características, y para la selección de éstas se aplicó el criterio de que una familia es tolerante a suelos ácidos y alta concentración de aluminio, si muestra un medio de PRO igual o mayor que 0,90. Un programa de fitomejoramiento para factores adversos como la acidez del suelo debe incluir evaluación del germoplasma en suelos con y sin problemas de acidez y alta concentración de aluminio. De esa forma es posible mejorar para ambas condiciones e incrementar la probabilidad de seleccionar familias con capacidad de adaptación a condiciones de acidez y buenas características agronómicas.

#### REFERENCIAS

BETANZOS, M.E.; PANDEY, S.; RAMÍREZ, F.A. **Mejoramiento genético de maíces tropicales tolerantes a suelos ácidos**. Proyecto de Investigación Interno Campo Experimental Centro de Chiapas, Ocozacoautla, Chis. México: SAGAR-INIFAP-CIMMYT. 1996. p. 60-73. (mimeografiado).

BORRERO, J.C.; PANDEY, S.; CEBALLOS, H.; MAGNAVACA, R.; BAHÍA FILHO, A.F.C. Genetic variances for tolerance to soil acidity in a tropical maize population. **Maydica**, Bergamo, v. 40, p. 283-288, Jan. 1995.

CEBALLOS, H.; PANDEY, S.; KNAPP, B.E.; DUQUE, J. Respuesta de la selección para tolerancia a suelos ácidos en cinco poblaciones tropicales de maíz. In: REUNIÓN DE MAICEROS DE LA REGIÓN ANDINA, 15., 1992, Pergamino, Argentina. Texcoco, México: CIMMYT, 1992. p.1-9. (mimeografiado)

COMPTON, A.W. **Notes on basic concepts of statistical genetics**. English versión with Revision. Lima, Perú: Universidad Agraria Facultad de Ciencias, 1968. 79p.

DUQUE-VARGAS, J.; PANDEY, S.; GRANADOS, G.; CEBALLOS, H.; KNAPP, B.E. Inheritance of tolerance to soil acidity in tropical maize. **Crop Science**, Madison, v.34, p.50-54, 1994.

GOURLEY, L. M.; RUÍZ, C.; ROGERS, S.A. Aspectos genéticos de la tolerancia al Aluminio en sorgo (*Shorgum bicolor* (L) Moench). **Revista Instituto Colombiano Agropecuario**, Bogotá, v. 25, n.1, p. 15-25, 1990.

GRANADOS, G.; PANDEY, S.; CEBALLOS, H. Response to selection for tolerance to acid soil in a tropical maize population. **Crop Science**, Madison, v. 33, p. 936-940, Sept.-Oct. 1993.

HALLAUER, A.R.; MIRANDA FILHO, J.B. **Quantitative genetics in maize breeding**. Second edition. Ames: Iowa State University Press, 1988. p.89-204.

HALLAUER, A.R.; RUSSELL, W.; LAMKEY, K.R. Corn Breeding. In: SPRAGUE, G.F.; DUDLEY, J.W. (Eds.). **Corn and Corn Improvement**. Third Edition. Madison, Wiconsin: ASSA/CSSA/SSSA, 1988. p.495-507.

SUPERFICIE de maíz sembrada y cosechada en México durante 1991 a 2000. Disponible em: <http://www.cea.sagar.gob.mx/diagro/prod.mex/prinssea.htm>. 2002. (Revisado 03/05/2002).

KNAPP, S.J.; STROUP, N.W.; ROSS, W.M. Exact confidence intervals for heritability on a progeny mean basis. **Crop Science**, Madison, v.25, p. 192-194, 1985.

LIMA, M.; FURLANI, P.R.; MIRANDA FILHO, J.B. Divergent selection for aluminum tolerance in a maize (*Zea Mays* L.) Population. **Maydica**, Bergamo, v. 37, p. 123-132, 1992.

LÓPEZ, G. V.O.; VÁZQUEZ, H. A.; RUIZ, J.; PASTRANA, A. L. Los suelos ácidos de Veracruz y Tabasco, México: Informe de Investigación Interno. Ver., México: Campo Experimental Cotaxtla (CECOT), SARH-INIFAP-CIRGOC. 1992. 65p. (mimeografiado)

NARRO, L.; PANDEY, S.; LEÓN, A.; PÉREZ, J.C.; SALAZAR, F. Investigación en maíz para suelos ácidos realizado por el CIMMYT. In: TALLER AGROPASTORIL PARA SUELOS ÁCIDOS DE LAS SABANAS Y TALLER METODOLÓGICO AGROPASTORIL. 4., 1995, Santa Cruz, Bolivia. Texcoco, México: CIMMYT, 1995a. 25p.

NARRO, L.; PANDEY, S.; PÉREZ, J.C.; SALAZAR, F. **Compendio de mejoramiento de maíz para suelos ácidos realizado por el CIMMYT**. In: REUNIÓN LATINOAMERICANA, 3., y REUNIÓN DE LA ZONA ANDINA DE INVESTIGADORES DE MAÍZ, 16., 1995, Cochabamba, Bolivia. Texcoco, México: CIMMYT, 1995b. p.47-64. (mimeografiado)

NARRO, L.; PANDEY, S.; PÉREZ, J.C. **Compendio de la tolerancia del maíz a suelos ácidos**. In: CONGRESO NACIONAL SOCIEDAD COLOMBIANA DE FITOMEJORAMIENTO y PRODUCCIÓN DE CULTIVOS, 4., 1995, Chinchiná, Caldas, Colombia. Texcoco, México: CIMMYT, 1995c. 10 p. (mimeografiado)

NÚÑEZ, E. R. **Efecto de la acidez del suelo sobre la producción de cultivos y su corrección mediante el encalado**. Chapingo, México: Colegio de Postgraduados, 1985. 25p. (Serie Cuadernos de Edafología, 2)

PANDEY, S.; CEBALLOS, H.; MAGNAVACA, R.; BAHÍA FILHO, A.F.C.; DUQUE-VARGAS, J.; VINASCO, L.E. Genetics of tolerance to soil acidity in tropical maize. **Crop Science**, Madison, v.34, p.1511-1514, 1994.

PEÑALOZA, G.A.J.; PUENTE, C.J.A.; AGUDELO, D.O. Comportamiento de variedades y/o líneas de soya (*Glycine max* L. Merrill) en suelos ácidos, neutros y sódicos del Valle Geográfico del Río Cauca. **Revista Instituto Colombiano Agropecuario**, Bogotá, Colombia. v.XVII, n.4, p.149-156, 1982.

SALAZAR, F.; PANDEY, S.; NARRO, L.; CEBALLOS, H. Herencia de la tolerancia a suelos ácidos en ocho poblaciones de maíz tropicales del CIMMYT. In: REUNIÓN LATINOAMERICANA, 3., y Reunión de la Zona Andina de investigadores de maíz, 16., 1995, Cochabamba, Bolivia. Texcoco, México: CIMMYT, 1995. p.173-184. (mimeografiado)

SECRETARÍA DE AGRICULTURA GANADERÍA DESARROLLO RURAL PESCA Y ALIMENTACIÓN (SAGARPA). Indicadores económicos. Superficie de maíz cosechada por entidad federativa. Disponible em: <http://www.inegi.gob.mx>. (Revisado 4/5/2002). 2002.

SINGH, S. P; VERNA, S. P.H. Genetic studies on yield components in maize (*Zea mays* L.). **Indian Journal of Agricultural Reserch**, Karnal, v.11, n.4, p.235-237. 1977.