

## NOTA TÉCNICA

# SELECCIÓN DE LÍNEAS DE MAÍZ POR RESISTENCIA A SEQUÍA <sup>1</sup>

Guillermo Castañón<sup>2</sup>, Ricardo Cruz<sup>3</sup>, Roberto Del Pino<sup>3</sup>, Eleuterio Panzo<sup>3</sup>, Miguel Montiel<sup>3</sup>, Lorena Filobello<sup>3</sup>

### RESUMEN

**Selección de las líneas de maíz por resistencia a sequía.** La sequía es un factor abiótico importante en ambientes donde el cultivo de maíz es de temporal. Se evaluaron en condiciones de riego ( $S_0$ ) y sequía ( $S_1$ ) a 77 líneas S5 del programa de maíz del Campo Experimental Cotaxtla (CE-COT) y cuatro CML's tolerantes a sequía del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Se utilizaron cinco índices de clasificación para seleccionar a las líneas tolerantes a sequía. Cuatro de los índices basan la selección en el rendimiento de grano, éstos son, IS (índice de sequía), MA (media aritmética), MG (Media geométrica) e ITS (índice de tolerancia a sequía). El último índice, G+GxS (índice de tolerancia a sequía), involucra en su construcción a todos los caracteres evaluados. En general, todas las características evaluadas se vieron afectadas por el efecto de la sequía impuesta. El IS difirió del resto de índices en las líneas seleccionadas, éste índice selecciona germoplasma de menor promedio de rendimiento, mientras que los índices MA, MG, ITS y G+GxS, mostraron similitud al seleccionar a las mismas líneas y con rendimiento promedio superior a aquellas que seleccionó el IS. Del 10% de líneas seleccionadas por cada índice, cinco de ellas y los testigos CML 273 y CML 274 (tolerantes a sequía) fueron seleccionados con mayor frecuencia. En base a los resultados, seleccionar utilizando el índice G+GxS es mejor opción para mejorar por resistencia a sequía.

### ABSTRACT

**Selection of drought resistant maize lines.** Drought is an important abiotic factor where maize is grown under rainfall conditions. In order to identify drought resistant lines, 77 S5 maize lines from the breeding program at Cotaxtla, Veracruz and four CML maize lines from CIMMYT were evaluated under irrigation ( $S_0$ ) and drought stress ( $S_1$ ). Five indexes were applied to select drought tolerant lines. Four indexes use the grain yield as criteria for selection, these are, the drought index (DI), the arithmetic mean (AM), the geometric mean (GM), and the stress tolerance index (STI). The last index, (G+GxS), takes into consideration all the traits evaluated in the trial. In general, all measured characteristics were affected by the drought treatment. The DI the other indexes. DI selects germplasm with the lowest yields, while, AM, GM, STI and G+Gxs indexes selected the same lines and all of these displayed a superior mean yield in comparison to those that were selected by the DI index. Among the best 10%, five lines and the checks CML 273 y CML 274, were selected by most of the indexes. According with the results, the best option to select drought resistance material will be with the use of the G+GxS index.



### INTRODUCCIÓN

Alrededor de tres millones de hectáreas las que se siembran con maíz en la zona sur de México. La condi-

ción en que crece y se desarrolla el cultivo de maíz en la región mencionada y la mayor superficie sembrada se da bajo temporal, un pequeño porcentaje se siembra en tonalmil (lluvias invernales) y riego. La distribución

<sup>1</sup> Presentado en la XLV Reunión Anual del PCCMCA. Guatemala, 1999.

<sup>2</sup> Fitomejorador de maíz. Av. Rosario Andrade 1010. France. Villa Rica, Veracruz, Ver, México. Tel. 29-24-45-21. E mail: camemo@ver1.telmex.net.mx

<sup>3</sup> Instituto Tecnológico Agropecuario N°18, Villa Ursulo Galván, Ver., México.

de la precipitación durante la estación lluviosa es errática año con año, y en el ciclo de cultivo del maíz se presentan periodos prolongados de sequía (Paliwal y Sprague, 1981). Por lo tanto, el maíz sufre por falta de agua en diferentes etapas de su ciclo. Lo anterior se hace más crítico en suelos con baja capacidad de retención de humedad, ésta es una de las características principales de los suelos tropicales en donde se siembra maíz.

Es probable que lo antes indicado sea la causa principal de que el rendimiento promedio por unidad de superficie sea de apenas dos t/ha. Rendimiento muy bajo, si se compara con el producido en el norte de México, donde el sistema de siembra es con alta tecnología, riego y buenos suelos. En los últimos años, se quiere cambiar el sistema de producción de un millón de hectáreas de maíz de temporal a riego en el trópico. Pero se olvida, que no se cuenta con infraestructura hidráulica y que los problemas de manejo del suelo tropical cuando se somete éste a irrigación se incrementan.

Puede decirse, que fue Smith (1936) quién estableció las bases para la selección de plantas mediante el uso de índices de selección. El autor las llamó funciones discriminantes, éstas consisten en representar el valor de una planta como una función lineal de sus caracteres. Henderson (1963), a la selección mediante índices la llamó combinación lineal de los caracteres.

Mejorar para déficit hídrico no es una tarea fácil, ya que éste se considera como un carácter de herencia cuantitativa. Por lo que para tener mayor avance en el mejoramiento por resistencia a sequía, se han aplicado diferentes índices de selección, Así se tiene el propuesto por Fischer, Johnson y Edmeades (1984); Fischer y Maurer (1978); Fernández (1992); Muñoz y Rodríguez (1988), entre otros.

Diferentes propuestas se han vertido para tener avances más rápidos en mejoramiento por deficiencia de humedad. Ludlow y Muchow (1990), Bolaños y Edmeades (1996) sugirieron usar caracteres secundarios como criterio de selección, de esta forma se contribuye en el mejoramiento de la respuesta de las plantas al déficit hídrico. Respecto al uso de caracteres secundarios para mejorar para sequía, Peña y Martín del Campo (1993) encontraron al índice de cosecha y mazorcas por planta, como las características más asociadas con el rendimiento de grano en condición de temporal y sequía, por lo que los autores consideran esos caracteres como variables útiles de selección. Guei y Wassom (1992), reportaron más caracteres asociados a la floración masculina, intervalo entre floración masculina y femenina, y número de mazorcas por planta con el rendimiento de grano en sequía que en riego.

Kitbamroong y Chantachume (1992), usaron el índice de sequía (ID) propuesto por Fischer, Johnson y Edmeades (1984) para seleccionar líneas S1 de maíz evaluadas éstas en riego y sequía. Los autores señalan, que el ID parece ser un criterio útil para mejorar para sequía y/o buena adaptabilidad a la población de donde se derivaron las líneas. En la evaluación compuestos de maíz en tres niveles de humedad. Se encontraron mayor avance genético para rendimiento de grano en condiciones intermedias y drásticas de sequía que en riego (Gutiérrez y Flores (1989).

Por la importancia social que tiene el grano de maíz en la dieta diaria de la población mexicana, y de aquella que vive en el área rural, donde el maíz se siembra con el objetivo primario de usarse en autoconsumo humano y como forraje animal. Se planeó la presente investigación con los objetivos siguientes: elegir a las mejores líneas de maíz usando para ello índices de selección; determinar la similitud entre los índices, considerando los promedios del resto de los caracteres evaluados; de los resultados de este trabajo, en futuras investigaciones para mejorar por resistencia a sequía se usará el mejor índice de selección.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material genético

Se evaluaron 77 líneas S5 y cuatro líneas liberadas (CML 273, tolerante a sequía; CML 274, tolerante a sequía; CML 247, susceptible a sequía y CML 254, intermedia en su tolerancia a sequía) de los programas de maíz del Campo Experimental Cotaxtla (CECOT, INIFAP) y del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), en riego - sequía durante el ciclo agrícola de 1998A. Las líneas del CECOT se han probado antes bajo el mismo sistema de riego-sequía en dos ocasiones y las de CIMMYT ya se tienen identificadas en su respuesta a condiciones deficientes de humedad.

### Diseño experimental

El germoplasma se sorteó con alpha latice. La parcela experimental fue un surco de tres metros de longitud, 0,80 metros entre surcos y 0,20 m entre plantas, con dos repeticiones por condición de humedad. El experimento se sembró el 30 de enero de 1998 en el Instituto Tecnológico Agropecuario # 18 (ITA 18) sito Úrsulo Galván, Ver., México.

### Manejo del cultivo

El experimento se condujo como maíz comercial. La maleza se controló en forma manual. Para la fertili-

zación se aplicaron 138-46-00 unidades de nitrógeno y fósforo. La mitad de la urea y todo el super fosfato de calcio triple se aplicaron a los 12 días de edad del cultivo y la segunda mitad a los 30 dds.

En riego se aplicó agua al cultivo cada semana, para evitar que las plantas sufrieran por estrés hídrico. En sequía, se dejó de regar el cultivo a los 35 días después de la siembra y se volvió a aplicar agua hasta los 80 días. Para entonces, las líneas habían floreado (floración masculina y femenina) e iniciaban el llenado de grano. Posteriormente, el manejo del experimento fue igual en ambas condiciones de humedad hasta la cosecha.

### Caracteres medidos

Fueron 15 las características consideradas en el estudio: **floración masculina (FM)**: En días, contados desde la siembra hasta que el 50% de las plantas en la parcela llegaron a antesis; **floración femenina (FF)**: En días, contados desde la siembra hasta que el 50% de las plantas en la parcela presentaban estigmas receptivos; sincronía de la floración (ASI): Como la diferencia entre FF y FM. El ASI se transformó a  $\log_e \sqrt{Rs + Rr}$ ; **altura de planta (AP)**: En m, medida desde la base de la planta hasta las ramas primarias de la espiga; altura de mazorca (AM): En metros, medida desde la base de la planta hasta el nudo de inserción de la mazorca principal; **clorofila (CL)**: Promedio de dos lecturas medidas con el Chlorophyll meter, en cinco plantas por lectura a los 70 y 75 días de edad; **fogueo (FO)**= Calificación visual de 1,0 a 5,0, de las plantas que presentan el dosel vegetal seco o quemado por efecto de la sequía, valores pequeños corresponden a plantas no fogueadas. Calificaciones altas son para plantas fogueadas; **enrollamiento de las hojas (EH)**: Calificación visual de 1,0 a 5,0, el 1,0 es para plantas no hojas enrolladas y 5,0 para las plantas con hojas totalmente enrolladas; **arreglo del dosel (AD)**: Calificada de 1,0 a 5,0, el 1,0 es para plantas con el dosel a 45°. La calificación 5,0 para plantas con hojas laxas; **prolificidad (NM)**: Relación entre el número de mazorcas cosechadas y número de plantas en cada parcela; **rendimiento de grano (RG)**: Se cosecharon todas las plantas en cada parcela. El rendimiento por parcela se corrigió con la fórmula de la Universidad Estatal de Iowa y se expresó en t/ha; **humedad del grano (HG)**: Corresponde al porcentaje de humedad del grano determinado a la cosecha; **peso de 200 granos (P200G)**: Promedio en gramos de cinco muestras de 200 granos por parcela; **longitud de mazorca (LM)**: Medida en cm de la base a la punta de la mazorca; **diámetro de la mazorca (DM)**: Promedio en cm del ancho de las mismas mazorcas a las que se les determinó la LM.

### Análisis estadístico

Sólo se consideró la información de 13 caracteres de los 15 medidos, el análisis se hizo como bloques incompletos. El enrollamiento de las hojas (EH) y fogueo (FO), importantes caracteres para mejorar por resistencia a sequía, no fueron analizados por no encontrar diferencias en el material evaluado.

#### *Índices de selección aplicados en el estudio*

Media geométrica:  $MG = \sqrt{Rs + Rr}$

donde:

Rs= Rendimiento de una familia en sequía.

Rr= Rendimiento de una familia en riego.

La MG es menos sensitiva a valores extremos grandes y es mejor indicador que la media aritmética (MA) para separar a las familias superiores en condiciones de estrés y no-estrés.

#### *El índice de sequía (ID o IS):*

$$ID = \frac{Rs_1}{Rs_0} \times \frac{R\bar{s}_1}{R\bar{s}_0}$$

donde:

Rs<sub>1</sub>= Media de rendimiento de grano de cada familia en sequía.

Rs<sub>0</sub> = Media de rendimiento de grano de cada familia en riego.

Rs<sub>1</sub> = Media de rendimiento de grano de todas las familias en sequía.

Rs<sub>0</sub> = Media de rendimiento de grano de todas las familias en riego.

Un índice >1.0 y/o <1.0, sugiere relativa tolerancia y/o susceptibilidad a la sequía.

Fernández (1992), estableció el índice de tolerancia a la sequía (ITS) como:

$$ITS = \frac{Y_p \times Y_s}{(\bar{Y}_p)^2}$$

donde:

ITS= Índice de tolerancia a la sequía.

Y<sub>p</sub>= Rendimiento potencial de una familia en riego.

Y<sub>s</sub>= Rendimiento de una familia en sequía.

(Y<sub>p</sub>)<sup>2</sup>= Cuadrado del promedio de rendimiento de todas las familias en riego.

Al Seleccionar por valores altos de ITS, se escoge indirectamente para mayor tolerancia al estrés y potencial de rendimiento alto. En ITS está incorporado la intensidad del estrés de Fishcher y Maurer (1978).

Media aritmética:

$$MA = \frac{Rs_0 + Rs_1}{2}$$

donde:

MA= Productividad media.

Rs<sub>0</sub>= Rendimiento de una familia en sequía.

Rs<sub>1</sub>= Rendimiento de una familia en riego.

Con la MA se favorece el comportamiento promedio de las familias en sequía y riego.

Con el modelo uno de Muñoz y Rodríguez (1988), se estimaron los índices  $\bar{G}_i$  y  $\bar{D}_i$ . La estimación de productos medios cruzados (PMC), se realizó con PROC GLM Manova. Con esta información (PMC), se calcularon los coeficientes de correlación genotípica (rg) y fenotípica (rf) del RG contra el resto de características. Los rg se multiplicaron por los  $\bar{G}_i$  y los rf por los  $\bar{D}_i$ , sumados éstos fueron los índices de selección I(G+GxS). Con éstos las familias se ordenaron en forma decreciente, escogiéndose las nueve familias superiores.

El efecto de la sequía en porciento sobre los caracteres estudiados se estimó como:

$$D = \frac{S_1 - S_0}{S_0} \times 100$$

donde:

D= Diferencia en porciento.

S<sub>0</sub>= Promedio de cada carácter en riego.

S<sub>1</sub>= promedio de cada carácter en sequía.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de variación se presentan en el Cuadro 1. En él se aprecia, que en CH (Condición de humedad) se encontró significancia en el 76,9% de las variables. Es decir el riego y la sequía permitieron una respuesta diferencial al efecto del estrés hídrico sobre el comportamiento de los caracteres evaluados.

Repeticiones dentro de condiciones de humedad (R/CH), señala la existencia de significancia en FM, FF, AP, AM, NM, AH, CL, LM y DM, en tanto que para ASI, HG, PG y RG, no hubo efecto significativo.

Para familias (F), se encontró significación en todas las características, lo anterior manifiesta la variabilidad genética que existe en las líneas evaluadas. Ello hace suponer que de recombinarlas o cruzarlas con otras líneas de comportamiento similar se puede formar variedades o híbridos tolerantes a sequía, de hacer esto se tendrá mayor éxito en el mejoramiento genético para sequía (Fischer, Johnson y Edmeades, 1984).

En la interacción condiciones de humedad x familias (CHxF), se observó significancia sólo en LM y RG, hubo entrecruzamiento en el comportamiento de las líneas para estas características al pasar de riego a sequía o también pudo ser a que un grupo de líneas respondió en forma particular a cada condición de humedad.

Los coeficientes de variación (Cuadro 1) se pueden considerar aceptables. Los más altos los mostraron, NM (22,5%), HG(35,5%) y RG(27,7%), lo alto de ellos

**Cuadro 1.** Significación en los cuadrados medios, coeficientes de variación y medias de las líneas de maíz evaluadas en riego-sequía. Veracruz, México. 1998A.

| FV  | CH        | R/CH     | F         | F x CH   | EE    | CV   | X    |
|-----|-----------|----------|-----------|----------|-------|------|------|
| GI  | 1         | 2        | 80        | 80       | 160   |      |      |
| FM  | 732,00 ** | 22,41 *  | 17,89 **  | 4,28 ns  | 5,8   | 3,3  | 73,8 |
| FF  | 876,82 ** | 33,23 ** | 25,77 **  | 4,56 ns  | 5,6   | 3,2  | 73,9 |
| ASI | 1,2-2 ns  | 8,3-3 ns | 1,3-2 **  | 4,8-3 ns | 3,7-3 | 5,3  | 1,2  |
| AP  | 0,83 **   | 4,9-2 *  | 0,19 **   | 1,5-2 ns | 1,3-2 | 7,8  | 1,5  |
| AM  | 0,46 **   | 3,3-2 *  | 9,9-2 **  | 1,1-2 ns | 1,0-2 | 12,7 | 0,8  |
| NM  | 9,6-2 ns  | 0,19 ns  | 0,17 **   | 6,8-2 ns | 6,5-2 | 22,5 | 1,1  |
| AD  | 1,06 *    | 1,25 **  | 0,33 **   | 0,12 ns  | 0,2   | 15,7 | 2,5  |
| CL  | 6,79 ns   | 70,97 ** | 15,42 **  | 5,26 ns  | 5,1   | 4,5  | 49,6 |
| HG  | 58,95 **  | 3,57 ns  | 4,48 **   | 2,37 ns  | 2,4   | 35,5 | 16,2 |
| LM  | 107,24 ** | 14,50 ** | 5,22 **   | 2,11 *   | 1,5   | 8,7  | 14,2 |
| DM  | 4,96 **   | 0,30 *   | 0,23 **   | 8,0-2 ns | 7,8-2 | 8,8  | 3,2  |
| PG  | 821,78**  | 6,42 ns  | 263,27 ** | 43,90 ns | 37,1  | 11,9 | 50,9 |
| RG  | 17,26 **  | 2,96 ns  | 5,50 **   | 1,98 **  | 1,2   | 27,7 | 3,9  |

puede deberse a lo variable de las líneas y no a una mala conducción del experimento o medición de éstas.

Los promedios de cada carácter en riego, sequía y el porcentaje en que la sequía afectó a cada uno de ellos se dan en el Cuadro 2. Obsérvese, que el 76,9% de las variables presentó significación. Las características no significativas fueron: ASI, NM y CL. Cabañas, Muñoz y Kohashi (1988) reportaron resultados similares para RG, días a floración y altura de planta en trigo conducido en riego y sequía.

**Cuadro 2.** Promedios de los caracteres estudiados por condición de humedad, diferencia ( $D=S_1-S_0$ ) y efecto de la sequía ( $I=D*100/S_0$ ) sobre cada uno de ellos. Veracruz, México. 1998A.

|     | $S_0$   | $S_1$   | $D$   | $I$    |
|-----|---------|---------|-------|--------|
| FM  | 75,33 a | 72,33 b | -3,00 | -3,98  |
| FF  | 75,61 a | 72,32 b | -3,29 | -4,35  |
| ASI | 1,16 a  | 1,15 a  | -0,01 | -0,86  |
| AP  | 1,53 a  | 1,43 b  | -0,10 | -6,54  |
| AM  | 0,83 a  | 0,76 b  | -0,07 | -8,43  |
| NM  | 1,15 a  | 1,12 a  | -0,03 | -2,61  |
| AH  | 2,45 b  | 2,56 a  | 0,11  | 4,49   |
| CL  | 49,79 a | 49,50 a | -0,29 | -0,58  |
| HG  | 16,61 a | 15,76 b | -0,85 | -5,12  |
| LM  | 14,73 a | 13,58 b | -1,15 | -7,81  |
| DM  | 3,29 a  | 3,04 b  | -0,25 | -7,59  |
| PG  | 52,57 a | 49,38 b | -3,19 | -6,07  |
| RG  | 4,16 a  | 3,70 b  | -0,46 | -11,05 |

La FF y FM se redujeron en 3,90 y 4,35, es decir el déficit hídrico provocó que las líneas llegaran a FM y FF más pronto en sequía que en riego. Hernández y Muñoz (1988), Kitbamroong y Chantachume (1992), encontraron retraso en la floración de tres y ocho días. Esta discrepancia se debió posiblemente al origen del material y las evaluaciones previas para resistencia a sequía a las que se sometieron las líneas en generaciones anteriores de endocría.

La AP y AM, se redujeron en 6,53 y 8,43% por efecto de la sequía impuesta a las líneas. Medina y Muñoz (1984) en arroz, Cabañas, Muñoz y Kohashi (1988) en trigo, y Wong, Muñoz y Mendoza (1983) en sorgo, encontraron promedios similares de reducción.

El arreglo del dosel (AD) fue mejor en riego que en sequía, la falta de agua en el follaje de la planta causó que en la condición S1 las hojas fueran más laxas. Bolaños y Edmeades (1996) anotan que este carácter puede estar asociado con mayor rendimiento en el ambiente de estrés, debido al incremento de la eficiencia del uso de agua y un posible decremento en la fotooxidación.

El contenido de clorofila (CL) no mostró diferencias en riego-sequía, lo anterior es resultado quizá a que el ciclo anterior había estado sembrado cacahuete en el terreno donde se estableció el experimento. Lo que provocó que en condición de sequía no hubiera deficiencia de ese elemento. Otra posible explicación de los resultados encontrados para esta variable, es que las líneas pueden tener igual capacidad para responder al suministro de nitrógeno en forma química o al que se encuentra en el suelo, Cabrera, Nuñez y San Vicente (1996) mencionan que el contenido de clorofila y la absorción de nitrógeno mostraron correlación en sus cultivos evaluados. La HG fue menor en sequía que en riego, esto en cierto modo pudo estar asociado con el periodo más corto de las líneas para llegar a floración (FM y FF) en la condición de humedad deficiente que en la normal. Esto en cierta medida es obvio por el menor tiempo que necesitan en sequía las líneas para alcanzar la FM y FF. Kitbamroong y Chantachume (1992) encontraron resultados similares en líneas S1 de maíz evaluadas en condiciones de humedad deficiente.

Los componentes de rendimiento NM, LM, DM y PG, presentaron reducciones de magnitud considerable al pasar de uno otro ambiente de prueba. Pero los resultados encontrados aquí, fueron menos severos que los de Hernández y Muñoz (1988) en maíz, similares a los dados por Wong, Muñoz y Mendoza (1983) en sorgo, y Cabañas *et al.* (1988) en trigo. Medina y Muñoz (1984) observaron que en arroz el peso de 1000 semillas fue más afectado que en trigo en la condición de sequía.

El RG, carácter de mayor importancia económica, presentó una reducción considerable, pero menor a la reportada por Hernández y Muñoz (1988) y Wong *et al.* (1983). Zea *et al.* citados por Brizuela *et al.* (1996) encontraron reducciones del rendimiento de grano de 36% en líneas de maíz de PRM. Hall (1981) anota que la reducción del rendimiento de grano puede deberse a que disminuye el número de granos y el peso de estos en plantas sometidas a sequía.

Al aplicar los índices de selección descritos en materiales y métodos, se encontró (Cuadro 3), que IS fue diferente a los otros (MA, MG, ITS y GxGS) para clasificar a las líneas. Por los resultados de IS, se confirmó que éste selecciona como germoplasma tolerante a sequía a los menos productivo o de promedio más bajo de rendimiento de grano.

Resultados similares los reportaron Fernández (1992), Kitbamroong y Chantachume (1992) en maíz. Lo anterior pudo deberse, a que selecciona genotipos con poca reducción en su rendimiento al pasar de riego a sequía. Así se tiene, que las líneas seleccionadas por MA, MG, ITS y G+GxS, fueron las más productivas en

**Cuadro 3.** Líneas seleccionadas y frecuencia en que aparecen elegidas por los índices. Veracruz, México. 1998A.

| Línea | IS | MA | MG | STI | G+GS | Frec. |
|-------|----|----|----|-----|------|-------|
| 11    | ☐  |    |    |     |      | 1     |
| 53    | ☐  |    |    |     |      | 1     |
| 78    | ☐  | ☐  | ☐  | ☐   |      | 4     |
| 28    | ☐  |    |    |     |      | 1     |
| 52    | ☐  |    |    |     |      | 1     |
| 67    | ☐  |    |    |     |      | 1     |
| 1     | ☐  |    |    |     |      | 1     |
| 35    | ☐  |    |    |     |      | 1     |
| 41    | ☐  |    |    |     |      | 1     |
| 22    |    | ☐  | ☐  | ☐   | ☐    | 4     |
| 17    |    | ☐  | ☐  | ☐   | ☐    | 4     |
| 46    |    | ☐  | ☐  | ☐   |      | 3     |
| 79    |    | ☐  | ☐  | ☐   | ☐    | 4     |
| 31    |    | ☐  | ☐  | ☐   | ☐    | 4     |
| 23    |    | ☐  | ☐  | ☐   | ☐    | 4     |
| 18    |    | ☐  | ☐  | ☐   | ☐    | 4     |
| 81    |    | ☐  |    |     | ☐    | 2     |
| 19    |    |    | ☐  | ☐   |      | 2     |
| 10    |    |    |    |     | ☐    | 1     |
| 15    |    |    |    |     | ☐    | 1     |

promedio de las dos condiciones de humedad (Cuadro 4). Así también, sus medias en el resto de las características evaluadas también superaron a los de aquellas seleccionadas como tolerantes por IS.

Las líneas superiores en RG no fueron seleccionadas por IS. Por lo que toma mayor importancia lo establecido por Hall (1981), de que al seleccionar para resistencia a sequía debe usarse un índice que involucre al mayor número de los caracteres evaluados.

Se puede indicar que hubo líneas con buen nivel de resistencia a sequía, ya que se ubicaron mejor o entre los testigos (CML 273 y CML 274).

## CONCLUSIONES

La evaluación de líneas S5 en riego-sequía y comparadas con genotipos tolerantes a la sequía, permitió seleccionar el 10% de las líneas con buena capacidad para tolerar la sequía. De las nueve líneas escogidas como tolerantes por cada índice, cinco de ellas fueron clasificadas igual por cuatro de los índices utilizados en este trabajo.

El índice de susceptibilidad (IS), difirió a los otros cuatro en la clasificación de las líneas. El IS seleccionó líneas con promedio de rendimiento bajo.

De medirse un mayor número de caracteres en evaluaciones de riego-sequía, sería mejor usar un índice de selección que los involucre a todos, para incrementar las posibilidades de seleccionar a germoplasma con tolerancia a sequía.

**Cuadro 4.** Promedios de los caracteres evaluados en las líneas seleccionadas. Veracruz, México. 1998A.

| Lín. | fm   | ff   | asi  | ap   | am   | nm  | aD  | CL   | HG   | LM   | dm  | PG   | RG   |
|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|
| 11   | 76,0 | 75,0 | 1,10 | 1,35 | 0,65 | 1,2 | 2,2 | 49,3 | 17,0 | 13,9 | 3,0 | 54,0 | 3,43 |
| 53   | 78,3 | 78,5 | 1,16 | 1,40 | 0,81 | 1,3 | 2,5 | 48,8 | 16,6 | 14,7 | 3,1 | 56,0 | 3,81 |
| 78   | 75,8 | 75,8 | 1,15 | 1,73 | 0,97 | 1,2 | 2,9 | 51,3 | 17,1 | 16,8 | 3,7 | 56,0 | 5,66 |
| 28   | 76,3 | 76,0 | 1,13 | 1,49 | 0,78 | 0,9 | 2,2 | 48,6 | 15,3 | 13,7 | 3,3 | 59,0 | 3,44 |
| 52   | 72,3 | 72,8 | 1,15 | 1,47 | 0,83 | 1,2 | 2,4 | 50,3 | 15,5 | 15,8 | 3,4 | 61,0 | 5,12 |
| 67   | 75,0 | 74,5 | 1,12 | 1,51 | 0,69 | 1,0 | 2,6 | 49,9 | 15,6 | 13,0 | 3,0 | 37,0 | 3,10 |
| 1    | 77,0 | 78,3 | 1,21 | 1,29 | 0,65 | 1,0 | 2,0 | 48,8 | 17,5 | 13,8 | 2,8 | 44,5 | 2,88 |
| 35   | 70,5 | 70,3 | 1,14 | 1,36 | 0,63 | 1,1 | 2,1 | 49,1 | 15,3 | 12,8 | 3,3 | 45,0 | 4,21 |
| 41   | 73,0 | 72,3 | 1,11 | 1,40 | 1,00 | 1,1 | 2,2 | 47,6 | 16,1 | 14,1 | 3,8 | 54,0 | 5,00 |
| 22   | 72,5 | 72,5 | 1,15 | 2,00 | 1,03 | 1,5 | 2,7 | 50,6 | 15,1 | 16,5 | 3,5 | 64,0 | 7,32 |
| 17   | 70,5 | 71,0 | 1,17 | 1,88 | 1,04 | 1,6 | 3,0 | 51,5 | 14,6 | 14,8 | 3,5 | 63,5 | 7,31 |
| 46   | 74,8 | 74,5 | 1,14 | 1,69 | 0,97 | 1,3 | 2,6 | 51,8 | 16,0 | 14,2 | 2,9 | 58,0 | 6,94 |
| 79   | 75,3 | 76,8 | 1,22 | 1,77 | 0,95 | 1,2 | 3,2 | 49,0 | 15,3 | 16,4 | 3,6 | 52,0 | 6,63 |
| 31   | 71,5 | 70,3 | 1,08 | 1,44 | 0,79 | 1,6 | 2,9 | 50,8 | 16,4 | 13,3 | 3,5 | 51,5 | 6,52 |
| 23   | 71,5 | 71,0 | 1,12 | 1,83 | 1,11 | 1,5 | 2,1 | 50,0 | 14,7 | 15,3 | 3,4 | 65,0 | 6,01 |
| 18   | 73,3 | 72,8 | 1,12 | 1,84 | 1,04 | 1,3 | 2,9 | 50,7 | 15,6 | 14,7 | 3,5 | 68,0 | 5,96 |
| 81   | 76,0 | 77,0 | 1,19 | 1,71 | 0,98 | 1,5 | 2,6 | 51,1 | 17,2 | 13,6 | 3,3 | 57,5 | 5,73 |
| 19   | 73,3 | 73,8 | 1,17 | 1,81 | 0,94 | 1,4 | 2,1 | 49,8 | 15,8 | 15,1 | 3,3 | 63,5 | 5,23 |
| 10   | 76,0 | 75,0 | 1,09 | 1,31 | 0,63 | 1,2 | 2,2 | 52,8 | 17,0 | 16,4 | 3,0 | 45,5 | 4,63 |
| 15   | 73,5 | 75,0 | 1,22 | 2,05 | 1,02 | 1,1 | 2,2 | 47,7 | 14,6 | 15,9 | 3,2 | 59,0 | 4,49 |

Lín=Línea.

**LITERATURA CITADA**

- BOLAÑOS, J.; EDMEADES, G. 1996. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. Developing drought- and low N-tolerant maize. Proceedings of a Symposium. CIMMYT, El Batán, México. G. O. Technical Editors. pp. 355-368.
- BRIZUELA, L.; BOLAÑOS, J.; CÓRDOVA, H. 1996. Desarrollo y mejoramiento de germoplasma de maíz con tolerancia a sequía para las zonas tropicales de América Central. Developing drought- and low N-tolerant maize. Proceedings of a Symposium. March 25-29, CIMMYT, El Batán, México. G. O. Edmeades, M. Banzinger, H. R. Mickelson, and C. B. Peña-Valdivia. Technical Editors. pp. 442-446.
- CABAÑAS, C. B.; MUÑOZ, A.; KOHASHI, J. 1988. Sequía y caracteres fenológicos, morfológicos y fisiológicos en trigo. *Agrociencia* 74:259-268.
- CABRERA, DE B. E.; NUÑEZ, M.; SAN VICENTE, F. 1996. Caracterización fisiológica de cultivares tropicales de maíz en Venezuela. Developing drought- and low N-tolerant maize. Proceedings of a Symposium. CIMMYT, El Batán, México. G. O. Edmeades, M. Banzinger, H. R. Mickelson, and C. B. Peña-Valdivia. Technical Editors. pp. 249-253.
- FERNÁNDEZ, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant tolerance. Adaptation of food crops to temperature and water stress. Proceedings of an International Symposium. Taiwan, C. George Kuo, Editor pp. 257-270.
- FISCHER, K. S.; JOHNSON, E.; EDMEADES, G. 1984. Mejoramiento y selección de maíz tropical para incrementar su resistencia a la sequía. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), El Batán, México. 20 p.
- FISCHER, R. A.; MAURER, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.* 29:897-912. Guei, R. G. and C. E. Wassom (1992). Inheritance of some drought adaptative traits in maize: I. Interrelationships between Yield, flowering and ears per plant. *Maydica* 37:157-164.
- GUTIERREZ, S.; LUNA, M. 1989. Selección para resistencia a sequía en un compuesto de maíz en Zacatecas. *rev. Fitot. Mex.* 12(2): 94-104.
- HALL, A. E. 1981. Adaptation for annual plants to drought in relation to improvements in cultivars. *HortScience* 16(1):15-16.
- HENDERSON, C. R. 1963. Selection index and expected genetic advance. Statistical genetics and plant breeding. Nas-Nrc. Publication. 982:141-163.
- HERNÁNDEZ, S. H.; MUÑOZ, A. 1988. Selección familiar bajo Sequía en tres Fuentes Genéticas de Maíz en la Región de Chiautla, Puebla. *Agrociencia* 74: 283-295.
- KITBAMROONG, CH.; CHANTACHUME, Y. 1992. Corn improvement for drought tolerance. Adaptation of food crops to temperature and water stress. Proceedings of an international symposium. Taiwan. C. George Kuo, Editor pp. 354-359.
- LUDLOW, M. M.; MUCHOW, R. 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in a water-limited environments. *Adv. Agron.* 43:107-153.
- MEDINA, CH. S.; MUÑOZ, A. O. 1984. Respuestas de variedades de arroz y trigo bajo el sistema riego-sequía. *Agrociencia* 58:11-28.
- MUÑOZ, A.; RODRÍGUEZ, J. L. 1988. Models to evaluate drought resistance. Abstracts international conference on dryland farming, Amarillo/Bushland, Texas. U. S. A. p. 60.
- PALIWAL, R. L.; SPARGUE, E. W. 1981. Mejoramiento de la adaptación y de la confiabilidad de los rendimientos de maíz en el mundo en desarrollo. Programa de Maíz del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). p. 14.
- PEÑA, R. A.; MARTÍN DEL CAMPO, S. V. 1993. Selección de líneas y respuesta de variedades de maíz bajo condiciones ambientales diferentes. *Rev. Fitot. Mex.* 16(1):47-56.
- SMITH, H. F. A. 1936. Discriminant function for plant selection. Papers on quantitative genetics and related topics. Dep. of Genetics, North Carolina State University. 12<sup>a</sup>. press.
- WONG, R. R.; MUÑOZ, A. O.; MENDOZA, L. O. 1983. Efecto de la sequía sobre características vegetativas, reproductivas y de eficiencia de variedades de sorgo. *Agrociencia* 51:101-114.