

TOLERANCIA DE GENOTIPOS DE MAIZ (*Zea mays* L.) A SEQUIA EN EL CERRITO, VALLE

Eduardo Villegas de los R.*
Jose J. Aragon Correa *
Samuel Muñoz **

COMPENDIO

Deficiencias hídricas en los períodos críticos de prefloración y llenado de grano en maíz (*Zea mays* L.), conllevan a reducciones drásticas en el rendimiento debidas principalmente a una alta esterilidad de las mazorcas, por retardo en la aparición de los estigmas, reportándose variabilidad genética en la respuesta a este carácter. El objetivo de este trabajo fue seleccionar materiales que toleren sequía, partiendo de 15 genotipos básicos. Se descartaron materiales sensibles al retardo de la aparición de estigmas (I_{tf}) y se seleccionaron aquellos que no sufrieron detrimento marcado en el rendimiento (I_{tr}). El material VBM C-21 fue la mejor fuente genética de tolerancia a sequía.

ABSTRACT

Water deficits in critical periods of pre-flowering and grain filling in maize (*Zea mays* L.) reduce yield due to cob sterility, mainly because of a delaying in silking; genetic variability in the response to this character has been reported. The objective of this study was to select cultivar with drought tolerance, using 15 basic genotypes of maize. An index (I_{tf}), to discard materials with sensibility to silking delay and an Index (I_{tr}), to select those wich didn't have high yield decrease, were use. The material VBM C-21 was selected as the best genetic source to drought tolerance.

* Estudiante de pre-grado. Universidad Nacional de Colombia. Palmira.

** Universidad Nacional de Colombia. Palmira.

1. INTRODUCCION

Uno de los factores limitantes de la producción de grano en maíz es la oferta de agua suficiente, de acuerdo con los requerimientos de la planta en sus diferentes fases de desarrollo. Deficiencias hídricas en los períodos críticos de prefloración y llenado de grano, reducen drásticamente el rendimiento, debido a alteraciones fisiológicas, cambios en la dinámica de floración y alta esterilidad en las mazorcas (Fischer, Johnson y Edmeades, 3; Hall *et al*, 4; Moss y Downey, 7; Salvioli, 8).

Al someter la planta a sequía se distinguen varios efectos: a nivel fisiológico, disminuye la apertura estomática (Baker y Musgrave, 1), se reducen la elongación celular y la producción de materia seca, que se correlacionan positivamente con la evapotranspiración acumulada. La reducción en el área foliar y en el porte de la planta, unidos a la disminución en la apertura estomática, limitan la actividad fotosintética (Verasan y Phillips, 9). La translocación de nutrientes parece tener una menor sensibilidad al estrés hídrico que la fotosíntesis; de esta manera, si la sequía inhibe la fotosíntesis, los fotosintatos acumulados en el tallo suplirían las exigencias durante el llenado de grano (Claassen y Shaw, 2; Mc Pherson y Boyer, 6; Jurgens, Johnson y Boyer, 5).

A nivel reproductivo se altera la dinámica de la floración: se retarda el proceso de aparición de estigmas y puede ocurrir un alto porcentaje de aborto de los embriosacos (Moss y Downey, 7); se reduce la producción de granos de polen, no su viabilidad (Hall *et al*, 4), disminuyendo el tiempo efectivo de receptividad de los estigmas al grano de polen, esto es, se reduce el número de granos disponibles por mazorca (Fischer, Johnson y Edmeades, 3; Hall *et al*, 4; Moss y Downey, 7).

Se ha reportado respuesta diferencial entre genotipos al estrés por sequía, por ejemplo, no todos los materiales sufren un retardo similar en la aparición de estigmas, por ello muchos autores lo sugieren como una buena posibilidad fitotécnica de selección (Fischer, Johnson y Edmeades, 3; Hall *et al*, 4; Moss y Downey, 7; Salvioli, 8). Además, proponen la medición de la temperatura de las hojas, elongación foliar, altura de plantas y otras variables de tipo fisiológico.

Materiales tolerantes a sequía serían de gran ayuda en plantaciones comerciales, cuando el riego fuera insuficiente y para el agricultor tradicional que esté al alcance de programas de extensión. El presente trabajo tiene por objetivo evaluar 15 genotipos de maíz para seleccionar aquellos que presenten el mejor grado de tolerancia, sometiendo a sequía el cultivo en

las épocas críticas de prefloración y llenado de grano.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El experimento se sembró en el municipio de El Cerrito, Valle, entre noviembre de 1982 y abril de 1983 (Sem B-1982) y mayo y octubre de 1983 (Sem A-1983), buscando ausencia de lluvias en los períodos críticos de prefloración y llenado de grano. Se utilizaron 15 materiales de maíz, 9 de ellos preseleccionados entre 40 genotipos, tres materiales comerciales (dos híbridos y una variedad) y tres materiales promisorios (Cuadro 1). Los tratamientos con (R-) y sin estrés hídrico (R+) se aplicaron en las épocas de pre y post-floración. Así, en el semestre B-1982, el agua total acumulada para el tratamiento "sin estrés" fue de 430 mm y de 335 mm para la condición "con estrés"; y en el semestre A de 1983 fue de 326 y 204 mm respectivamente.

Debido a la dificultad de manejo del factor hídrico, las modalidades "con" y "sin estrés" se manejaron a nivel de experimento (Experimento I=R+ y Experimento II=R-), sembrando uno a continuación del otro. Cada experimento se arregló en el campo bajo el diseño de bloques al azar con dos aplicaciones, los materiales se sembraron en cinco surcos de siete metros de largo, conformando la parcela útil tres surcos centrales y una población de 84 plantas.

La dinámica de floración se estudió registrando día de por medio, la frecuencia de aparición de estructuras florales masculinas y femeninas. Cuando el cultivo completó 80 días, se midieron altura total de plantas, altura de mazorca, grosor del tallo, número de hojas y área foliar de la hoja bandera. Al momento de la cosecha se registró el rendimiento y sus componentes.

De las curvas de la floración masculina y femenina se extrapolaron los datos que aparecen en el Cuadro 2. Además, con un planímetro, se midió para cada material y condición, el área comprendida entre las dos curvas; así, para cada material se establece una relación entre las dos áreas (I_{tf}).

$$I_{tf} = \frac{\text{Área sin estrés (R+)}}{\text{Área con estrés (R-)}}$$

Como el área "con estrés" tiende a ser mayor por el retardo en la aparición de los estigmas, los valores de I_{tf} oscilarán entre cero y uno: los cercanos a uno indican que los materiales son tolerantes a las condiciones de sequía y los próximos a cero que son susceptibles.

Cuadro 1

Características principales de los materiales de maíz utilizados en el ensayo

Material		Porte planta	Floración días	Color grano	Tipo grano	Periodo veget. días
1. VBM C-21	(PS)	Alto	54	Amarillo	Semicristalino	140
2. VBM C-22	(PS)	Alto	54	Blanco	Semicristalino	140
3. VBM C-23	(PS)	Alto	54	Blanco	Semicristalino	140
4. VBM I- 24	(N)	Alto	58	Amarillo	Cristalino	145
5. VBM I- 25	(N)	Alto	56	Amarillo	Cristalino	145
6. VBM I- 26	(N)	Alto	57	Blanco	Cristalino	145
7. VBM C-27	(PS)	Alto	60	Blanco	Harinoso	150
8. LPM 516-#	(PS)	Intermedio	63	Blanco	Cristalino	140
9. HPM- 1	(PS)	Intermedio	60	Amarillo	Cristalino	145
10. ICA V-258	(C)	Intermedio	60	Blanco	Semicristalino	145
11. VBM C-28	(PS)	Alto	59	Amarillo	Cristalino	140
12. VBM C-29	(PS)	Intermedio	52	Amarillo	Cristalino	135
13. VBPM I-30	(PS)	Intermedio	52	Amarillo	Cristalino	135
14. Pioneer 5800	(C)	Alto	62	Amarillo	Semiharinoso	145
15. ICA H-211	(C)	Alto	62	Amarillo	Cristalino	145

(PS) = Pre-selección de 40 genotipos.

(N) = Material promisorio

(C) = Material comercial

Se establece luego una relación entre los rendimientos "con estrés" y "sin estrés" para cada material (I_{tr}).

$$I_{tr} = \frac{\text{Rto. material "con estrés" (R-)}}{\text{Rto. material "sin estrés" (R+)}}$$

De igual forma, los próximos a uno se considerarán tolerantes y los cercanos a cero susceptibles.

La selección se hará inicialmente con base en las curvas y el índice de floración (I_{ff}), posteriormente se escogerán aquellos materiales que no muestren un detrimento marcado en el rendimiento (I_{tr}).

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Dinámica de floración.

Al analizar los datos de floración masculina y femenina se observa diferenciación genética de la floración respecto a la respuesta al estrés. En general, todos los materiales muestran una protandria marcada, coincidiendo con lo reportado en la literatura. Sin embargo, esta amplitud entre las dos floraciones no ocurre con la misma intensidad para todos los materiales ni es igual en los dos semestres (Cuadro 2).

Así, el material VBM I-26, que presentó un intervalo entre las dos floraciones de tres días, al someterse al estrés por sequía aumentó a seis días, para ambos semestres. Comportamiento similar mostraron los materiales VBM C-27 e ICA V-258. Los genotipos VBM C-22 y VBM C-29 no presentaron efecto marcado del estrés en el primer ensayo; sin embargo, en el segundo sus intervalos alcanzaron los seis días; por ello el bajo porcentaje de estigmas al momento de la ya casi total floración masculina; es decir, que se reduce el tiempo efectivo de receptibilidad, siendo ésta la principal causa de esterilidad de las mazorcas. Así por ejemplo, el material VBM I-26, sembrado en condiciones de sequía, (Figura 2), presenta tan solo el 22.4 o/o de estigmas receptivos al 75 o/o de plantas arrojando polen. Además, comparando su dinámica de floración en condiciones normales (Figura 1), se nota como el intervalo "normal" de tres días se hace de seis en la condición de sequía. Al relacionar las áreas (Figuras 1 y 2) se obtuvo un índice para este material de 0.505 para el primer ensayo, lo que lo coloca como susceptible.

En contraste con el anterior, el material VBM C-21 presentó sensibilidad muy baja al estrés por sequía, sin desplazamiento considerable de la curva de floración femenina (Figuras 3 y 4) y con un índice de tolerancia

Cuadro 2

Dinámica de floración de 15 materiales de maíz en dos semestres de evaluación

Material	Ensayo I (B - 82)							Ensayo II (A - 83)						
	I _{tf}	o/o ♀ a 50 o/o ♂		o/o ♀ a 75 o/o ♂		Δ Días		I _{tf}	o/o ♀ a 50 o/o ♂		o/o ♀ a 75 o/o ♂		Δ Días	
		R +	R -	R +	R -	R +	R -		R +	R -	R +	R -	R +	R -
1. VBM C-21	0.980	16.4	20.0	43.0	30.8	2	2	0.734	12.4	11.6	28.0	24.0	3	4
2. VBM C-22	0.766	26.0	20.0	46.4	35.2	3	3	0.727	15.6	14.0	39.2	24.8	3	6
3. VBM C-23	0.825	28.6	23.0	55.2	55.6	2	2	0.495	29.2	12.8	48.8	27.4	2	4
4. VBM I- 24	0.870	18.0	16.8	40.0	31.0	3	3	0.731	17.4	9.6	35.6	26.8	3	5
5. VBM I- 25	0.688	19.0	20.4	50.8	38.4	2	3	0.589	24.4	20.8	45.6	29.0	2	4
6. VBM I- 26	0.505	21.2	16.0	37.2	22.4	3	6	0.406	23.6	12.4	39.6	20.8	3	6
7. VBM C-27	0.447	20.8	12.0	49.2	23.6	2	4	0.620	20.8	12.0	40.8	24.0	3	5
8. LPM 516-#	1.167*	72.0	33.0	84.4	55.6	2	1	0.692	20.5	16.0	41.6	44.0	2	4
9. HPM- 1	0.598	24.4	9.6	43.5	25.0	2	3	0.774	23.2	17.0	41.4	35.6	3	3
10. ICA V-258	0.679	13.6	7.0	27.2	16.4	3	4	0.652	14.8	9.0	30.0	17.4	3	5
11. VBM C-28	0.705	22.0	15.0	33.4	30.8	2	3	0.683	19.6	12.0	42.0	25.2	3	4
12. VBM C-29	0.708	31.2	27.5	51.0	39.2	2	2	0.844	22.4	18.0	40.0	37.2	3	4
13. VBPM I- 30	0.989	13.0	21.0	45.2	43.0	4	3	0.705	11.0	11.6	26.0	16.8	5	6
14. Pioneer 5800	0.862	15.2	10.0	36.8	22.0	3	4	0.763	7.2	11.6	25.2	24.4	4	4
15. ICA H- 211	0.817	10.0	9.6	25.6	22.0	3	4	0.762	11.8	12.0	28.0	26.4	4	5

* LPM 516-#. En la evaluación de 1982-B presentó protogonia.

o/o ♀ a 50 o/o ♂ = Porcentaje de floración femenina cuando ha florecido el 50 o/o de la masculina.

o/o ♀ a 75 o/o ♂ = Porcentaje de floración femenina cuando ha florecido el 75 o/o de la masculina.

I_{tf} = Índice de tolerancia a sequía por floración.

R- = Parcelas con estrés hídrico.

R+ = Parcelas sin estrés hídrico.

Δ Días = Diferencia de días entre floración masculina y femenina al 50 o/o de la floración masculina.

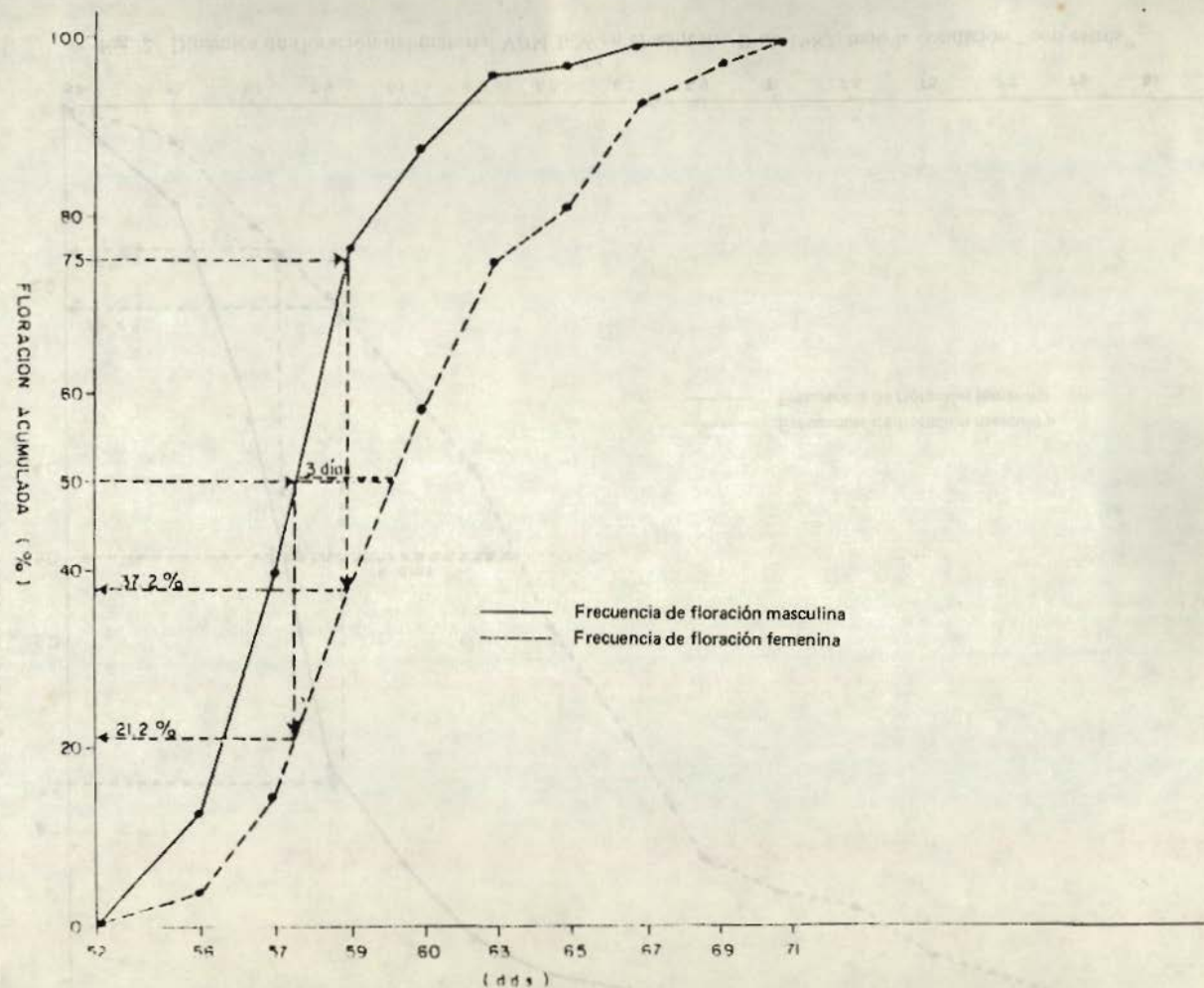


Fig. 1- Dinámica de floración del material VBM 1-26 en el semestre B de 1982, bajo la condición "sin estrés".

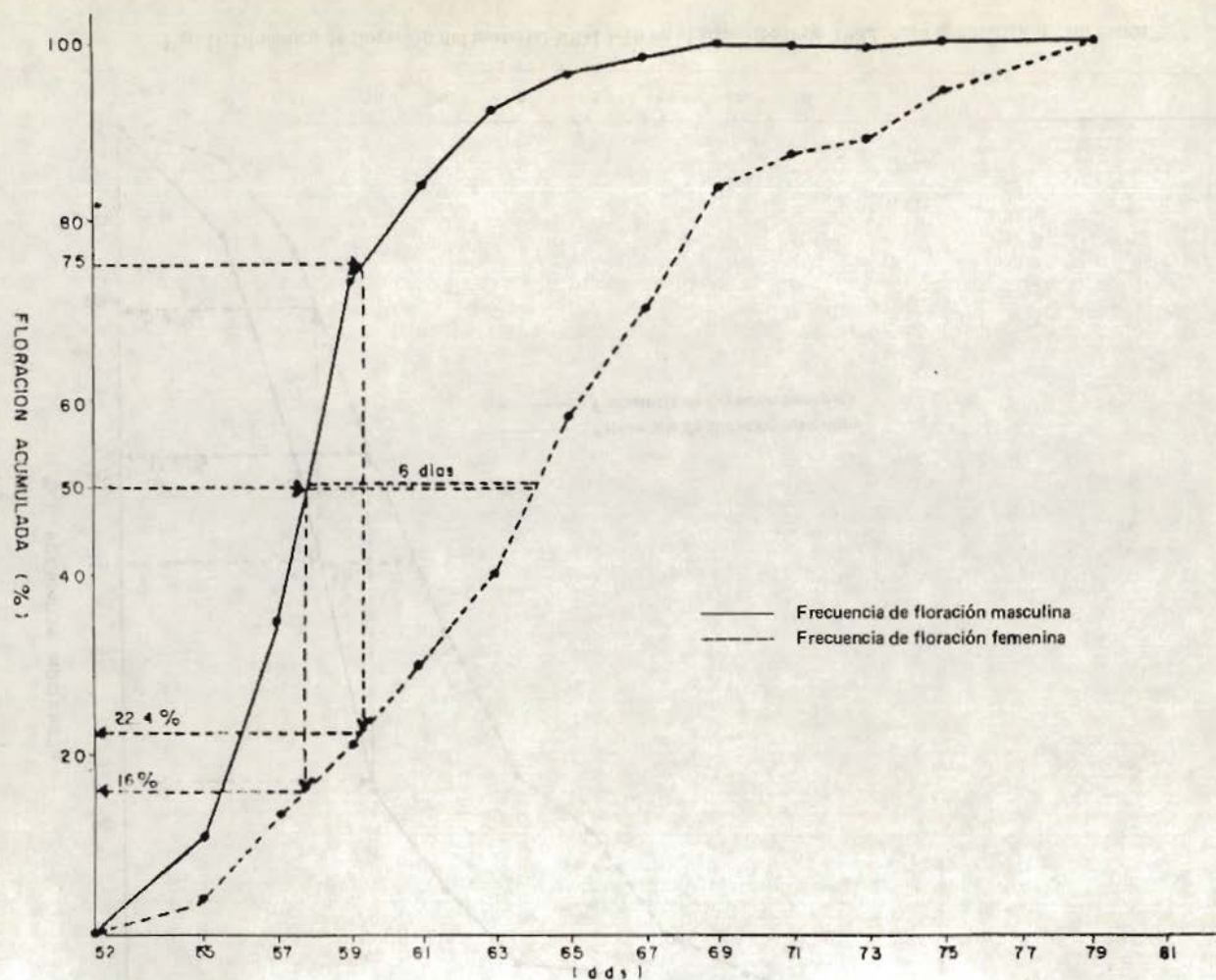


Fig. 2- Dinámica de floración del material VBM I-26 en el semestre B de 1982, bajo la condición "con estrés".

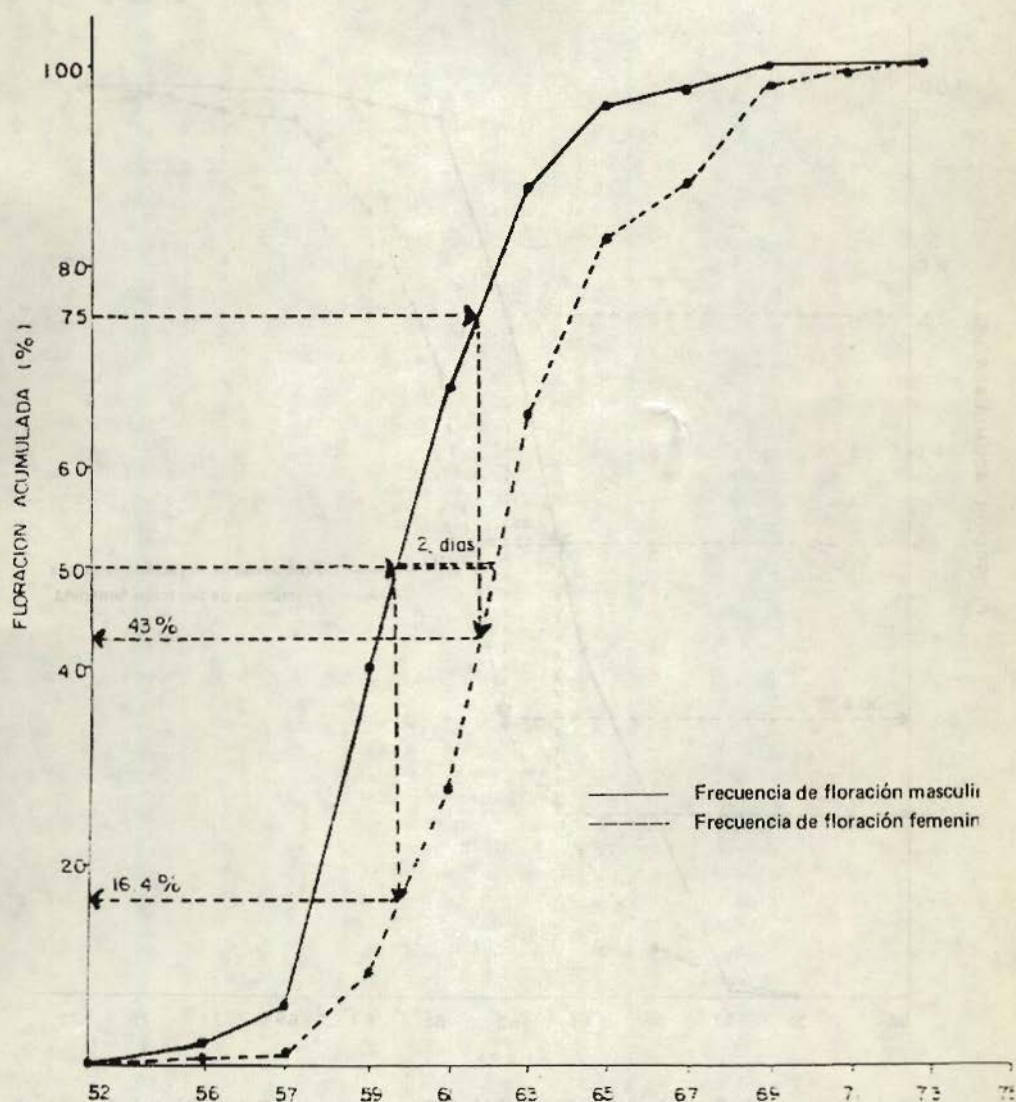


Fig. 3

Dinámica de floración del material VBM C-21 en el semestre B de 1982, bajo la condición "sin estrés".

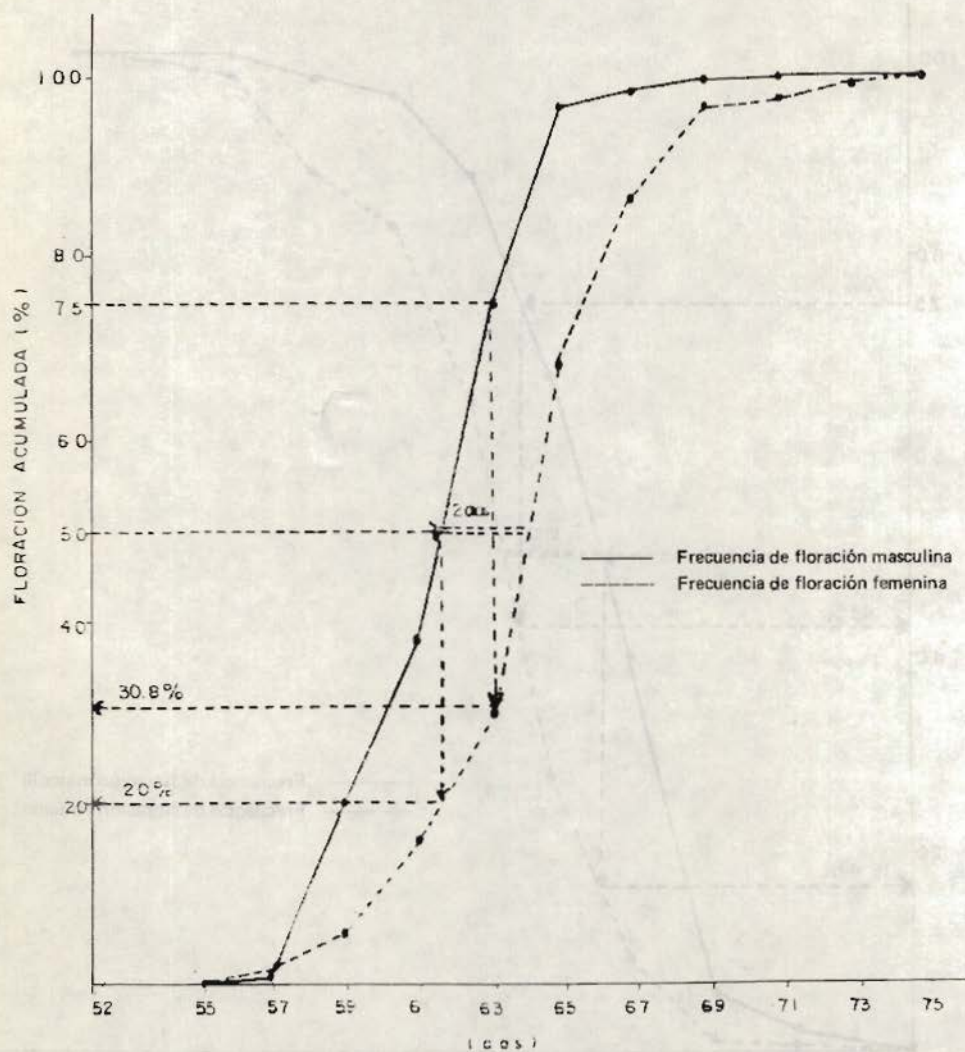


Fig. 4- Dinámica de floración del material VBM - C 21 en el semestre B de 1982, bajo la condición "con estrés".

alto (0.98). Igualmente este material muestra respuesta superior en el segundo ensayo. Este comportamiento se explica por su condición genética, que lo coloca como tolerante.

En el primer ensayo la línea LPM-516-# presentó protoginia efecto que podría explicarse por la condición de homocigosis del material, que le podría estar confiriendo cierta inestabilidad a cambios ambientales.

3.2. Rendimiento.

Los materiales sembrados en ambiente similar rindieron en forma diferencial dada la variabilidad genética, con reducciones en el rendimiento bajo sequía también diferentes (Cuadro 3). Así, los materiales VBM I - 24, VBM I - 25 y VBM I - 26, aparte de sus bajos rendimientos, muestran sensibilidad marcada al estrés, reflejada en índices bajos, lo que indica que no poseen la capacidad genética para soportar condiciones de sequía y que quizás, a pesar de recibir polen de parcelas vecinas, alcanzaron a sufrir el efecto de la baja disponibilidad de éste, debido a la ampliación del intervalo floral.

De los nueve materiales preseleccionados los más promisorios fueron VBM C-28 y VBM C-21, de comportamiento relativamente aceptable VBM C-22 y VBM C-23; mientras que VBM C-29 y la línea LPM 516-#, de buen comportamiento en el primer semestre, desmejoraron para el segundo; caso contrario ocurrió con el material VBM C-27.

Los materiales comerciales (ICA V-258 e ICA H-211) se comportaron de forma irregular; mientras que los híbridos HPM-1 y PIONEER 5800, aparte de presentarse como muy rendidores, no sufrieron una depresión marcada bajo estrés. Sin embargo, hay que anotar que la disminución drástica del rendimiento para el segundo semestre en la condición con riego de HPM-1, se debió al volcamiento en la parcela de la replicación I.

El híbrido HPM-1, que en el primer semestre presentó un índice de tolerancia a sequía por rendimiento (I_{tr}) relativamente bajo, para el segundo manifestó un valor máximo. Esta situación da una apreciación un poco errada sobre este material, por cuanto el valor del índice incrementó al disminuir la producción, en la condición de riego.

En el semestre A-1983 no sólo se redujo el rendimiento de la mayoría de los materiales, sino también el valor del índice I_{tr} , posiblemente por la drasticidad del estrés. Aún así, ciertos materiales presentaron reacciones similares a la primera evaluación, destacándose VBM C-27, ICA V - 258,

Cuadro 3

Rendimiento (t/ha) e índice de tolerancia a sequía por rendimiento (I_{tr}) para cada genotipo en los dos semestres de evaluación

Material	Sem. B /82			Sem. A/83			I_{tr}^-
	R +	R -	I_{tr}	R +	R -	I_{tr}	
VBM C-21	4.20	3.09	0.74	4.03	2.77	0.68	0.710
VBM C-22	4.58	3.03	0.66	3.52	2.12	0.60	0.630
VBM C-23	4.36	2.80	0.64	4.96	2.58	0.52	0.580
VBM I- 24	3.44	2.77	0.81	3.03	1.94	0.60	0.701
VBM I- 25	4.07	2.87	0.71	3.23	2.03	0.63	0.670
VBM I- 26	3.26	1.85	0.57	2.86	1.42	0.50	0.535
VBM C- 27	4.09	2.07	0.50	3.86	2.29	0.59	0.545
LPM- 516-#	3.96	3.30	0.83	1.31	0.61	0.45	0.640
HPM - 1	5.71	3.73	0.65	4.01	3.24	0.81	0.730
ICA V- 258	4.49	2.33	0.52	3.89	2.09	0.54	0.530
VBM C-28	4.88	3.18	0.65	4.06	2.52	0.62	0.635
VBM C-29	4.95	3.73	0.75	3.05	1.81	0.59	0.670
VBPM I- 30	4.04	3.21	0.79	2.65	1.83	0.69	0.740
Pioneer 5800	4.68	3.38	0.72	5.04	2.68	0.53	0.625
ICA H- 211	4.50	2.50	0.55	3.09	2.17	0.70	0.625
Promedio			0.673			0.603	0.638
Desviación estándar			0.104			0.091	0.068

Cuadro 4

Clasificación de los materiales de acuerdo al grado de tolerancia, para cada semestre

Grado	Primera Evaluación	Segunda Evaluación
TOLERANTES	LPM - 516 - #	HPM - 1
	VBM I - 24	ICA H - 211
	VBPM I - 30	
MEDIANAMENTE TOLERANTES	VBPM C - 29	VBPM I - 30
	VBM C - 21	VBM C - 21
	PIONEER 5800	VBM I - 25
	VBM I - 25	VBM C - 28
	VBM C - 22	VBM C - 22; VBM I - 24
	HPM - 1; VBM C - 28	VBM C - 27; VBM C - 29
	VBM C - 23	ICA V - 258
	VBM I - 26	PIONEER 5800
SUSCEPTIBLES		VBPM C - 23
	ICA H - 211	VBM I - 26
	ICA V - 258	LPM 516 - #
	VBM C - 27	

Cuadro 5

Clasificación de los materiales según el grado de tolerancia, de acuerdo al ¹tr promedio de los dos semestres

Gra do	Material
TOLERANTES	VBPM I - 30
	HPM - 1
	VBM C - 21
MEDIANAMENTE TOLERANTES	VBM I - 24
	VBM I - 25 ; VBM C - 29
	LPM - 516 - #
	VBM C - 28
	VBM C - 22
	PIONEER 5800; ICA H - 211
SUSCEPTIBLES	VBM C - 23
	VBM C - 27
	VBM I - 26
	ICA V - 258

3.3. Selección.

En la primera etapa se desecharon los materiales VBM I-25, VBM I-26, VBM C-27 e ICA V-258, los cuales presentaron, en ambos semestres, un bajo porcentaje de estigmas receptivos al momento de la ya casi total liberación de polen; así mismo mostraron valores bajos de I_{tf} . En la segunda etapa de selección se trabajó con el índice de tolerancia a sequía por rendimiento (I_{tr}), que permite escoger materiales que, aunque no sean muy productivos, tengan buen grado de tolerancia es decir, que sus valores tiendan a la unidad. Para cada evaluación (Cuadro 3) se realizó una estratificación, calificando como tolerantes a los materiales que presentaron valores de I_{tr} superiores al promedio general por semestre más una desviación estandar. Los susceptibles serán aquellos que estén por debajo de la media menos una desviación estándar; los materiales restantes se consideran como medianamente tolerantes (Cuadro 4). Posteriormente, con base en el I_{tr} semestral, con ayuda de un promedio general y una desviación estandar, se estableció una estratificación similar (Cuadro 5). Con estos elementos y en un análisis crítico, se escogieron los materiales que presentaran el mayor grado de tolerancia y que a su vez tuvieran relativa estabilidad en su respuesta. Por ello, de los tres materiales tolerantes (VBM C-21, HPM-1 y VBPM I-30), se prefiere el VBM C-21 dada su estabilidad en los dos semestres. Es de anotar, que el VBPM I-30 por su precocidad, pudo haber escapado a los tratamientos. El HPM-1 también se descarta por razones ya explicadas. Los híbridos Pioneer 5800 e ICA H-211 presentaron tolerancia media a sequía y sin problemas en su dinámica de floración; con una mejor tendencia el Pioneer 5800 en este experimento.

4. CONCLUSIONES

- 4.1. El material VBM C-21 se presenta como el mejor recurso genético para la consecución de variedades o híbridos tolerantes a sequía.
- 4.2. Los materiales VBM I-25, VBM I-26, VBM C-27 e ICA V-258 presentaron los mayores detrimentos en el rendimiento bajo sequía (bajo I_{tr}) y mayor sensibilidad a la ampliación de la protandria (bajo I_{tf}). Esto sugiere la importancia de la selección de materiales de maíz que no sufran un retardo en la aparición de los estigmas por efecto de la sequía, como un importante criterio de selección, siendo éste un buen indicador de la tolerancia.

5. BIBLIOGRAFIA

1. BAKER, D. and MUSGRAVE, R. The effects of low level moisture stresses on the rate of apparent photosynthesis in corn. *Crop Science* 4 (3): 249 - 253. 1964.
2. CLAASSEN, M. M. and SHAW, R. H. Water deficits effects on corn. I. vegetative components. *Agronomy Journal*. 62 (5): 649 - 652 . 1970.
3. FISCHER, K. S; JOHNSON, E. C. and EDMEADES, G.O. Breeding and selection for drought resistance in tropical maize. México, CIMMYT, 1982. 37 p.
4. HALL, A. J. et al. The effects of water stress and genotype on the dynamics of pollen - shedding and silking in maize. *Field Crop Research*. 5: 349 - 363. 1982.
5. JURGENS, S. K.; JOHNSON, R. R. and BOYER, J. S. Dry matter production and translocation in maize subjected to drought during grain fill. *Agronomy Journal*. 70 (4): 678-682. 1978.
6. McPHERSON, H. G. and BOYER, J. S. Regulation of grain yield by photosynthesis in maize subjected to a water deficiency. *Agronomy Journal*. 69(4): 714 - 718. 1977.
7. MOSS, G. I. and DOWNEY, L. A. Influence of drought of female gametophyte development in corn (*Zea mays* L.) and subsequent grain yield. *Crop Science*. 11 (3): 368 - 372. 1971.
8. SALBUOLI, R. A. Posibilidades fitotécnicas en la selección de maíz resistente a la sequía. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*. 4(1): 89 - 95. 1963.
9. VERASAN, V. and PHILLIPS, R. R. Effects of soil water stress on growth and nutrient accumulation in corn. *Agronomy Journal*. 70(4): 613 - 618. 1978.