

## CAMBIOS MORFOLÓGICOS Y TOLERANCIA A SEQUÍA EN MAÍZ MEDIANTE SELECCIÓN MASAL PARA RENDIMIENTO EN CONDICIONES DE SEQUÍA

### MORPHOLOGIC CHANGES AND DROUGHT TOLERANCE IN MAIZE BY MASS SELECTION FOR GRAIN YIELD UNDER DROUGHT CONDITIONS

Gaspar Martínez Zambrano<sup>1</sup>, José Domingo Molina Galán<sup>2</sup>, Fernando Castillo González<sup>2</sup> y Abel Muñoz Orozco<sup>2</sup>

#### RESUMEN

Con el objeto de evaluar la ganancia genética obtenida por selección masal para rendimiento bajo sequía, así como el efecto sobre sus componentes y otras características agronómicas, se evaluaron la variedad original de maíz Zacatecas 58 y sus compuestos obtenidos de 13 ciclos de selección bajo sequía, en cinco experimentos bajo condiciones de riego, cinco en sequía y dos bajo temporal, durante los años de 1989 a 1991, en lugares cercanos a Montecillo, Estado de México. La selección bajo sequía mostró ser eficiente para mejorar el rendimiento de mazorca, independientemente del ambiente de evaluación, con ganancias por ciclo de 6.6% en riego, 15.4% en sequía y 4.6% en temporal. Se registraron cambios significativos en todos los caracteres medidos: peso de 1000 granos, longitud y diámetro de mazorca, hileras por mazorca, granos por hilera, días a floración masculina y altura de planta y mazorca, en la evaluación bajo sequía. Los cambios en hileras por mazorca en las evaluaciones de riego y temporal, y los de peso de grano en la de temporal, no fueron significativos. En función de los experimentos de riego y sequía, el número de días a floración masculina se incrementaron en casi 15 días, mientras que los caracteres altura de planta y altura de mazorca se incrementaron en 48.6 y 32.8 centímetros, respectivamente. La tolerancia a la sequía mejoró desde un valor de 1.132 unidades en la variedad original, hasta 0.548 en el compuesto del ciclo 13, lo que significó una ganancia del 4.6% por ciclo de selección.

#### PALABRAS CLAVE ADICIONALES

*Zea mays* L, ganancia genética, índice de susceptibilidad a sequía, mejoramiento genético.

#### SUMMARY

In order to assess the genetic gains by mass selection for grain yield practiced under drought conditions and its effect on yield components, 13 cycles of mass selection and the original maize variety Zacatecas 58, were evaluated in five irrigated, five droughted, and two rainfed experiments, from 1989 to 1991, at places near to Montecillo, State of México. Mass selection showed to be efficient to enhance yield performance in the three types of evaluation environments, with gains per cycle of selection of 6.6% under irrigation, 15.4% under drought, and 4.6% under rainfall, and indirectly changed the mean of all of the traits considered: grain weight, ear length, ear diameter, rows per ear, grains per rows, days to anthesis, plant and ear height, in the drought environment. Changes on number of ear rows in irrigated and rainfed experiments, and grain weight in rainfed experiments were not significant. Changes on days to anthesis, combining irrigated and droughted experiments, postponed timing of flowering around 15 days, and increased 48.6 cm and 32.8 cm plant and ear height. Drought tolerance measured as the ability to reduce in a lower rate the yield aptitude in drought environment, as compared to the irrigated one, was enhanced from a value of 1.132 units in the original variety, to 0.548 units in the composite of 13th cycle of selection, which means gains of 4.6% per cycle of selection for drought tolerance.

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Depto. de Fitomejoramiento. Buenavista, 25315. Saltillo, Coah. Tel. y Fax: 01(84) 17-7361. E-mail: gmartin@uaaan.mx

<sup>2</sup> Instituto de Recursos Genéticos y Productividad del Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México C.P. 56230 Tel. y Fax: 01(595) 2-0262

## ADDITIONAL INDEX WORDS

*Zea mays*, genetic gain, drought susceptibility index, plant breeding.

## INTRODUCCIÓN

La generación de variedades que produzcan buen rendimiento de grano aún bajo condiciones limitantes de agua, es importante en el mejoramiento de maíz, para sembrarlas en regiones de baja precipitación o donde el agua de riego sea insuficiente. Hasta 1981 había poco avance en la definición fisiológica de resistencia a sequía (Blum *et al.*, 1981) y en la identificación de procesos fisiológicos que pudieran ser útiles como criterios de selección para ese carácter (Hanson y Nelsen, 1980; Blum *et al.*, 1981; 1982); por tal razón, el rendimiento económico ha seguido siendo el criterio básico de selección para resistencia a sequía (Molina, 1980; Bruckner y Frohberg, 1987).

El mejoramiento del rendimiento bajo condiciones de sequía es una tarea difícil, ya que su heredabilidad, de por sí baja, se reduce substancialmente haciendo que la selección sea menos eficiente bajo sequía que bajo condiciones de buena humedad (Hallauer y Sears, 1969; Arboleda y Compton, 1974; Mareck y Gardner, 1979; Hallauer y Miranda, 1981; Blum *et al.*, 1982). Algunos investigadores (Muñoz, 1980; Muñoz *et al.*, 1973; Fischer y Maurer, 1978) han diseñado técnicas de selección, que permiten la discriminación de los individuos con alto rendimiento en condiciones de buena disponibilidad de agua y con rendimientos aceptables en condiciones de sequía; esto ha permitido la generación de variedades que han sido mejoradas en su tolerancia a la sequía y en su potencial genético para rendimiento.

Fischer y Maurer (1978) usaron un índice de susceptibilidad a la sequía como criterio de

clasificación de variedades de trigo. Para su cálculo se requiere conducir experimentos simultáneos bajo riego y sequía (Muñoz, 1980), para identificar y seleccionar los genotipos con capacidad para mantener la expresión del rendimiento al pasar de la evaluación de riego a la de sequía. La inclusión de una estimación de la intensidad de la sequía en este índice, para tomar en consideración la magnitud del estrés, permite la comparación de resultados entre diferentes experimentos.

En este trabajo la estrategia de selección seguida fue la propuesta por Molina (1980), la cual supone que la selección en condiciones limitantes de humedad mejora la tolerancia a sequía y genera materiales con capacidad para rendir bien en condiciones de buena humedad. Dicha estrategia difiere de la usada por otros investigadores (Fischer y Maurer, 1978; Muñoz, 1980), quienes realizan la selección con base en la capacidad para reducir el rendimiento en menor proporción en condiciones de sequía, en comparación con el rendimiento obtenido en condiciones de riego, lo cual implica evaluar simultáneamente en ambas condiciones de riego y sequía.

Los objetivos de esta investigación fueron: evaluar bajo condiciones de riego, sequía y temporal la respuesta a la selección masal para rendimiento de grano bajo sequía y los cambios ocurridos en otros ocho caracteres, incluyendo la tolerancia a la sequía expresada a través del índice de susceptibilidad. Se plantearon como hipótesis generales del estudio, que la respuesta a la selección es mayor cuando el ambiente de evaluación es igual al de selección y que los cambios en la media del carácter bajo selección necesariamente repercuten en la media de otros atributos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La población de maíz de partida fue la variedad Zac-58, la cual es de la raza Cónico Norteño, de ciclo precoz, de porte bajo y con mazorcas pequeñas de forma cónica con granos dentados de color blanco.

La metodología de selección, descrita por Molina (1980), consistió en establecer un lote de selección masal de 6000 plantas en la segunda quincena del mes de marzo, época en la que son menos frecuentes las lluvias y menor el riesgo de heladas tardías. De 1969 a 1988 se realizaron 13 ciclos aplicando una presión de selección de 5%, cuyos compuestos fueron el material de evaluación de este trabajo.

La evaluación de los 13 compuestos de selección y la variedad original se realizó entre 1989 y 1991 en cinco experimentos bajo condiciones de riego, cinco en sequía y dos en temporal, en localidades del Valle de México, aledañas a la sede del Colegio de Postgraduados, ubicado en Montecillo, Estado de México. La siembra se realizó en la segunda quincena de marzo de manera similar que en el lote de selección, para los experimentos de riego y sequía, mientras que los de temporal se sembraron en la primera quincena del mes de junio. En los experimentos de riego se suministró el agua suficiente tratando de lograr un desarrollo adecuado del cultivo, con riegos aproximadamente cada 20 días; en cambio, los de sequía sólo se regaron una vez para lograr buena germinación y después se les dió un riego ligero ocho días después, para ablandar el suelo y permitir la emergencia de las plántulas. Los experimentos de temporal se condujeron bajo las condiciones determinadas por la precipitación pluvial. En todos los experimentos se fertilizó con la fórmula 120-60-00 y las malezas se controlaron con el herbicida Gesaprim a dosis de un litro por hectárea.

El diseño utilizado fue en bloques completos al azar; la parcela fue de dos surcos de 4.40 m de longitud espaciados a 80 cm, con 12 matas a 40 cm una de otra y dos plantas por mata, para dar una densidad de 62,500 plantas por hectárea.

Las variables medidas fueron el rendimiento de mazorca corregido al 12.6 % de humedad (REN), días a floración masculina (DFM), altura de planta (AP) en centímetros, altura de mazorca (AMZ) en centímetros, peso de mil granos (PG) en gramos, longitud de mazorca (LMZ) en centímetros, diámetro de mazorca (DMZ) en centímetros, número de hileras por mazorca (HPM) y número de granos por hilera (GPH).

Se realizó un análisis de varianza para cada variable en cada experimento y para los datos de los cinco experimentos de riego, cinco de sequía y dos de temporal; así como un análisis combinado de los experimentos de riego y de sequía. Con base en las medias se estimó la ganancia genética para rendimiento de grano y los otros caracteres mediante regresión lineal simple, en los experimentos de riego, los de sequía y los de temporal. La misma estimación se hizo combinando los cinco experimentos de riego y los cinco de sequía. Se estimó también, un índice de susceptibilidad a la sequía para el rendimiento de cada compuesto mediante la fórmula (Fischer y Maurer, 1978) siguiente:

$$ISS_i = ((REN R_i - RENS_i) / REN R_i) / ((REN TR - RENS) / REN TR)$$

en la cual:

$ISS_i$  es el índice de susceptibilidad a sequía del compuesto  $i$ .

$REN R_i$ ,  $RENS_i$  son el rendimiento medio del compuesto  $i$  en los experimentos de riego y sequía, respectivamente.

RENTR, RENTS son el rendimiento promedio de todos los compuestos en los experimentos de riego y sequía, respectivamente.

La relación (RENTR-RENTS)/RENTR se considera una estimación confiable de la magnitud del efecto de la sequía (Fischer y Maurer, 1978; Fischer y Sánchez, 1979).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Rendimiento y sus componentes

Se detectaron efectos de la selección masal para mejorar el rendimiento en los tres ambientes de evaluación, además de efectos indirectos en todas las otras variables. Bajo riego (Cuadro 1), el compuesto del ciclo 13 de selección (C13) rindió  $3.13 \text{ t ha}^{-1}$  más que la variedad original (C0). Una diferencia similar ( $3.19 \text{ t ha}^{-1}$ ) se observó en sequía (Cuadro 2); en cambio, bajo temporal (Cuadro 3) C13 superó en sólo  $1.19 \text{ t ha}^{-1}$  a C0.

Johnson y Geadelmann (1989) realizaron selección masal y entre familias de hermanos completos en maíz, bajo condiciones de riego y secano. Al evaluar los compuestos C0, C1, C3 y C5 en condiciones de alta humedad (riego), baja humedad (secano) y humedad variable (temporal), encontraron que la selección masal bajo sequía fue efectiva sólo cuando el ambiente de evaluación fue del mismo tipo que el ambiente de selección, lo que interpretaron como un efecto perturbador del ambiente desfavorable sobre la utilidad de la selección masal para mejorar el potencial del rendimiento en estos ambientes.

Otros investigadores encontraron resultados semejantes a éstos con trabajos en algodón (Quisenberry *et al.*, 1980) y maíz (Hallauer y Sears, 1969; Mareck y Gardner, 1979).

Los efectos indirectos de la selección en las otras variables pueden ser el resultado de una estrecha correlación genética entre éstos y el rendimiento, especialmente en el caso de las variables PG, LMZ, DMZ, HPM y GPH, ya que constituyen vías a través de las cuales el rendimiento puede ser integrado.

Los incrementos en duración del ciclo (DFM) y porte de planta (AP y AMZ) en cambio, pueden ser explicados en el contexto de sus relaciones con procesos fisiológicos que permiten una mayor acumulación de materia seca en el grano (Fakorede y Mock, 1978; Ortíz *et al.*, 1984), aunque tienen implicaciones inconvenientes desde un punto de vista agronómico, ya que plantas y/o mazorcas más altas dificultan la cosecha y pueden incrementar el acame.

En riego, el C13 fue en promedio 12.2 días más tardío que C0; 16.8 días más tardío en sequía y casi 10 días en temporal. En cuanto al porte de planta, el incremento fue de alrededor de 50 cm en las tres evaluaciones para altura de planta, en tanto que para altura de mazorca fue aproximadamente de 29 cm en riego, 35 en sequía y 43 en temporal (Cuadros 1, 2 y 3).

Las medias combinadas de los cinco experimentos de riego y los cinco de sequía (Cuadro 4), mostraron que el C13 floreció aproximadamente 15 días más tarde que C0 y tuvo una altura de planta y mazorca mayor que C0 en 48.6 cm y 32.8 cm, respectivamente. Desde el punto de vista metodológico, esto implica que la técnica de desechar las mazorcas más húmedas durante el proceso de selección (Molina, 1980), es inefectiva para mantener la precocidad de la variedad original. Esta falta de efectividad de la técnica puede ser atribuida al hecho de que las mazorcas más secas no son necesariamente las que provienen de las plantas más precoces. Los resultados de varios investigadores (Crane *et al.*, 1959; Hillson y

Cuadro 1. Medias de rendimiento y otros ocho caracteres de los compuestos de maíz Zac-58, seleccionados bajo condiciones de sequía y evaluados bajo riego, combinando cinco experimentos. Valle de México, 1989-91.

Ciclo	REN (t ha <sup>-1</sup> )	DFM (días)	AP (cm)	AMZ (cm)	PG (gr/mil)	LMZ (cm)	DMZ (cm)	HPM	GPH
C0	3.16	68.9	129.5	52.0	260.0	10.1	4.3	13.8	20.0
C1	3.45	68.1	134.5	57.0	263.5	10.6	4.3	14.2	20.4
C2	3.40	69.1	132.3	50.3	243.0	10.2	4.4	14.0	21.8
C3	3.70	69.5	140.8	58.5	261.8	10.7	4.2	14.0	22.7
C4	3.22	68.1	133.4	52.2	241.8	10.0	4.1	14.0	20.1
C5	3.74	71.1	131.4	59.5	269.3	10.7	4.2	15.1	22.9
C6	4.47	71.0	139.1	64.2	295.4	11.2	4.2	14.0	23.4
C7	4.30	70.2	144.9	61.7	272.8	10.9	4.1	13.9	23.7
C8	4.31	71.2	149.3	72.0	268.7	11.3	4.2	14.3	22.8
C9	4.71	72.5	151.9	76.8	260.9	11.3	4.3	14.3	23.6
C10	4.60	72.7	149.1	70.0	265.5	11.1	4.2	14.3	22.6
C11	5.39	76.4	168.3	78.2	267.8	11.6	4.3	13.9	24.5
C12	5.33	77.1	171.3	81.5	300.8	11.9	4.3	14.3	23.2
C13	6.29	81.1	177.9	80.7	284.8	12.6	4.4	14.7	26.1
DSH <sub>0.05</sub>	0.5	3.3	18.3	20.1	33.3	1.0	0.2	0.8	2.3
Diferencia C13-C0	3.13	12.2	48.4	28.7	24.8	2.5	0.1	0.9	6.1
Media	4.29	71.9	146.7	65.3	268.3	11.0	4.3	14.2	22.7

Cuadro 2. Medias de rendimiento y otros ocho caracteres de los compuestos de maíz Zac-58, seleccionados bajo condiciones de sequía y evaluados bajo sequía, combinando cinco experimentos. Valle de México, 1989-91.

Ciclo	REN (t ha <sup>-1</sup> )	DFM (días)	AP (cm)	AMZ (cm)	PG (gr/mil)	LMZ (cm)	DMZ (cm)	HPM	GPH
C0	1.42	79.3	96.7	36.6	238.9	8.5	3.6	11.9	15.3
C1	1.18	80.2	85.9	32.5	238.7	7.7	3.4	12.0	13.9
C2	1.35	84.1	87.4	29.9	221.7	8.1	3.5	12.0	13.4
C3	1.28	85.5	97.6	37.1	236.7	8.1	3.5	12.1	16.4
C4	1.46	79.3	93.3	34.8	220.6	7.9	3.5	12.0	16.0
C5	1.42	81.8	90.7	33.2	232.8	8.6	3.6	13.0	14.3
C6	2.12	85.0	106.4	38.6	266.5	8.9	3.7	12.5	16.7
C7	1.95	84.1	107.3	43.3	237.4	9.3	3.7	12.6	17.3
C8	2.10	84.0	105.0	46.1	222.2	9.5	3.6	12.6	18.3
C9	2.47	85.7	117.9	52.2	260.7	9.8	3.7	12.3	17.8
C10	2.38	90.0	125.5	45.1	252.6	9.7	3.7	13.0	19.9
C11	3.20	89.3	128.7	55.6	247.3	10.4	3.9	14.0	21.2
C12	3.79	93.8	141.7	55.9	259.6	10.8	4.0	13.6	20.2
C13	4.61	96.1	145.5	71.1	256.7	11.8	4.1	13.4	23.5
DSH <sub>0.05</sub>	0.52	4.8	20.0	20.3	33.3	1.0	0.2	1.1	2.5
Diferencia C13-C0	3.19	16.8	48.8	34.5	17.8	3.3	0.5	1.5	8.2
Media	2.22	85.6	109.3	43.7	242.3	9.2	3.7	12.6	17.5

Cuadro 3. Medias de rendimiento y otros ocho caracteres de los compuestos de maíz Zac-58, seleccionados bajo condiciones de sequía y evaluados bajo temporal, combinando dos experimentos. Valle de México, 1989-91.

Ciclo	REN (t ha <sup>-1</sup> )	DFM (días)	AP (cm)	AMZ (cm)	PG (gr/mil)	LMZ (cm)	DMZ (cm)	HPM	GPH
C0	1.79	63.8	147.7	46.3	196.3	9.2	3.8	13.5	19.2
C1	1.81	63.5	144.3	64.7	186.7	9.2	3.8	13.8	20.3
C2	2.20	63.5	157.7	67.0	192.5	9.7	3.8	13.7	21.5
C3	2.31	64.7	148.0	61.3	189.5	9.0	4.0	13.6	21.5
C4	1.92	63.8	160.3	76.0	190.3	9.7	3.8	14.1	20.6
C5	1.71	63.5	155.3	72.7	185.5	9.6	3.7	14.2	21.0
C6	2.52	65.0	171.3	64.3	196.7	10.0	4.0	13.9	21.5
C7	2.38	65.0	160.0	52.3	214.2	10.0	3.9	13.3	21.5
C8	2.14	66.7	159.3	68.3	177.8	10.2	3.8	13.7	22.1
C9	2.22	66.5	180.3	73.7	189.7	10.7	3.8	13.5	22.7
C10	2.70	68.3	170.3	76.3	205.3	10.8	3.9	13.8	22.8
C11	3.02	71.5	163.0	58.7	196.2	10.7	4.0	13.5	24.2
C12	2.66	72.3	180.7	84.3	188.8	11.2	4.0	14.2	24.0
C13	2.98	73.5	201.0	89.3	185.8	11.4	4.0	14.4	24.8
DSH <sub>0.05</sub>	0.60	2.7	67.0	20.3	41.9	1.8	0.3	1.2	3.7
Diferencia C13-C0	1.19	9.7	53.3	43.0	-10.5	2.2	0.2	0.9	5.6
Media	2.31	66.5	164.2	68.2	192.5	10.7	3.9	3.8	21.9

Cuadro 4. Medias de rendimiento y otros ocho caracteres de los compuestos de maíz Zac-58, seleccionados bajo condiciones de sequía, combinando diez experimentos de riego y sequía. Valle de México, 1989-91.

Ciclo	REN (t ha <sup>-1</sup> )	DFM (días)	AP (cm)	AMZ (cm)	PG (gr/mil)	LMZ (cm)	DMZ (cm)	HPM	GPH
C0	2.29	74.1	113.1	41.0	248.3	9.3	3.9	12.4	17.4
C1	2.32	74.2	110.2	39.5	249.7	9.1	3.9	13.0	16.8
C2	2.38	76.6	109.9	35.8	231.1	9.1	3.8	12.9	17.2
C3	2.62	77.5	119.2	43.2	247.7	9.4	3.8	12.9	19.2
C4	2.33	73.9	113.3	39.8	230.0	9.0	3.8	12.9	17.8
C5	2.58	76.4	111.1	40.7	249.0	9.6	3.9	13.9	18.1
C6	3.29	78.0	122.8	45.9	279.3	10.1	3.9	13.2	19.6
C7	3.13	77.2	126.1	48.5	253.1	10.1	3.9	13.2	20.1
C8	3.20	77.6	127.2	53.5	242.9	10.4	3.9	13.3	20.3
C9	3.59	79.1	134.9	59.2	260.8	10.6	4.0	13.2	20.4
C10	3.49	81.4	137.3	62.2	258.3	10.4	4.0	13.6	21.1
C11	4.32	82.8	148.5	62.0	256.4	11.0	4.1	14.0	22.7
C12	4.56	85.8	156.5	63.2	277.9	11.3	4.2	13.9	21.5
C13	5.46	88.6	161.7	73.8	269.2	12.2	4.2	14.0	24.7
DSH <sub>0.05</sub>	0.37	2.9	13.4	20.3	22.5	0.7	0.1	0.6	1.6
Diferencia C13-C0	3.17	14.5	48.6	32.8	20.9	2.9	0.3	1.6	7.3
Media	3.26	78.8	128.0	54.5	255.3	10.1	4.0	13.4	20.1

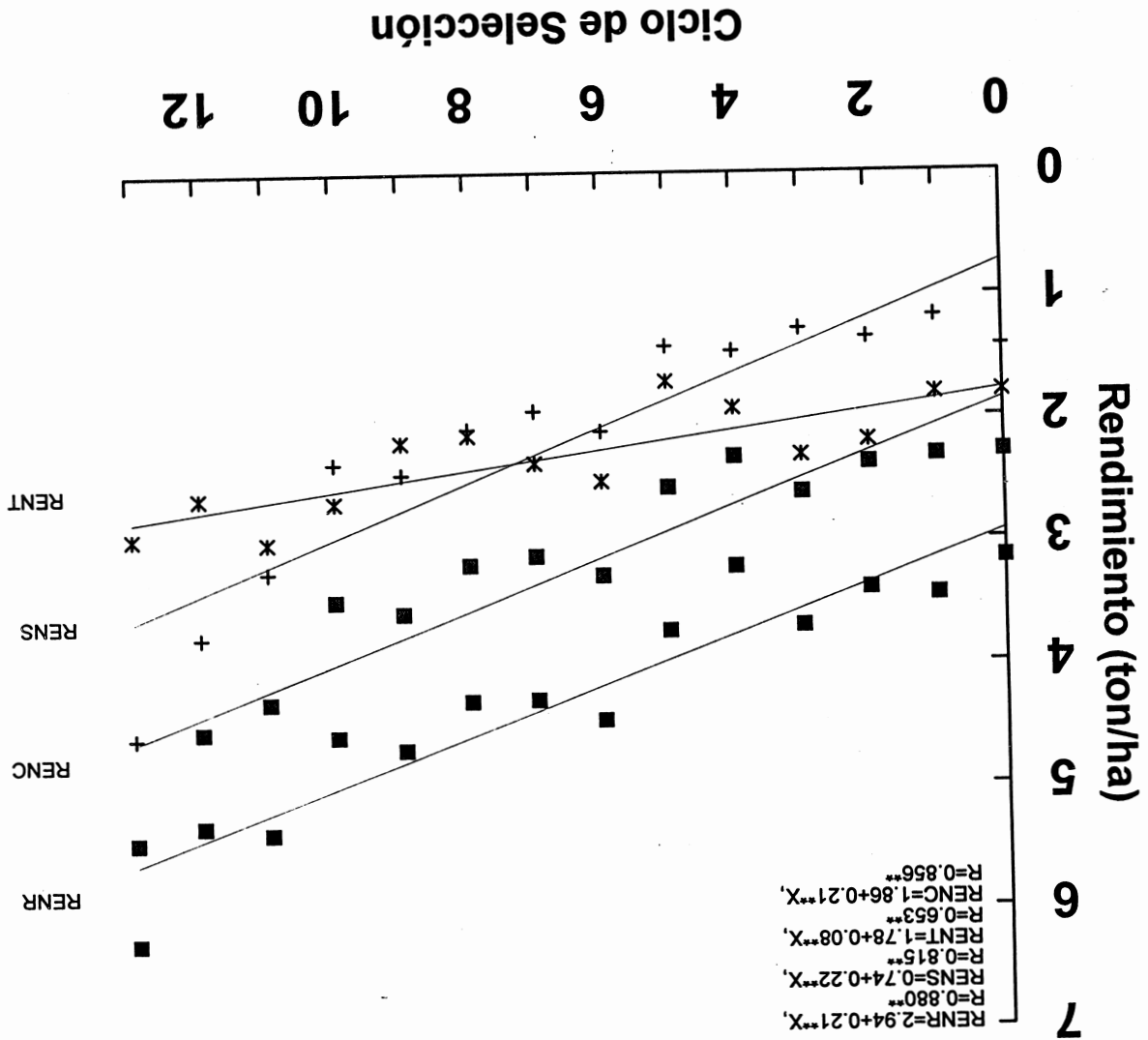


Figura 1. Rendimiento de los compuestos del maíz Zac-58, seleccionados bajo sequia, evaluados en cinco experimentos de riego (REN R), cinco de sequia (RENS) y dos de temporal (RENT) y de la combinación de los diez experimentos de los diez experimentos de riego y sequia (RENC). Valle de México, 1989-91.

Penny, 1965; Purdy y Crane, 1967a; Purdy y Crane, 1967b; Troyer y Ambrose, 1971) sugieren que las mazorcas más secas pudieran provenir de plantas con mala cobertura, con menor número y grosor de envolturas de la mazorca, plantas con menor período de llenado de grano o con tasa de pérdida de humedad del grano más alta debido a la naturaleza de su endospermo y pericarpio.

En general, las mayores ganancias se expresaron en la evaluación bajo sequía (Cuadro 5). Por ejemplo, para REN fue de 15.4%; 6.6% en la de riego y 4.6% en la de temporal. La ganancia combinada del rendimiento en los experimentos de riego y sequía fue de 9.3%. Para DFM fue de 0.9, 1.3, 1.2 y 1.1% en las estimaciones de riego, sequía, temporal y combinado de riego y sequía, respectivamente; de 2.7, 4.5, 2.2 y 3.4% para AP en esas mismas evaluaciones y de 4.8, 6.7, 3.6 y 6.0% para AMZ. Johnson y Geadelmann (1989) reportaron porcentajes de ganancias por ciclo de selección masal bajo sequía para rendimiento, más altas en la evaluación de sequía (7.1) que en la de riego (1.2) y temporal (1.0).

En la Figura 1 pueden apreciarse las tendencias de la respuesta del rendimiento a la selección en los diferentes ambientes de evaluación. Pueden resaltarse dos aspectos importantes de su análisis: uno es que tanto en la evaluación de riego como en la de sequía, las respuestas son casi paralelas, lo que significa que la efectividad de la selección es consistente en ambas evaluaciones. El otro es que en la evaluación de temporal se reduce drásticamente la efectividad de la selección, lo que posiblemente tenga su explicación en el hecho de que esta evaluación se realizó en el segundo semestre del año, en el cual el ciclo del cultivo siempre es más corto y conduce a rendimientos menores (Molina, 1980), o bien en el hecho de que la selección y la evaluación se realizaron en

semestres distintos del año, implicando una interacción genotipo-ambiente desfavorable (Martínez y Molina, 1992).

### Tolerancia a la sequía

La intensidad de la sequía varió de un experimento de evaluación a otro, siendo los de Tecámac-1989 y Tecámac-1990 (Cuadro 6), los que mostraron los valores más altos, y la expresión de la susceptibilidad relativa de los compuestos varió debido a esto. En las evaluaciones con menor intensidad no se expresó el mejoramiento de la tolerancia a la deficiencia de agua, tales fueron los casos de Chapingo-1989 y Montecillo-1990, en las cuales los valores de menor susceptibilidad estuvieron dispersos a través de todo el rango de ciclos de selección. En cambio, cuando la sequía fue muy marcada, hubo una clara tendencia de los índices de susceptibilidad de menor magnitud a concentrarse en los últimos ciclos de selección.

La estimación combinada mostró que hubo una intensidad de la sequía de 48.7%, y que la selección bajo sequía mejoró substancialmente la tolerancia a ésta, desde un valor de 1.132 unidades en la variedad original (C0), hasta 0.548 en el compuesto del treceavo ciclo de selección (C13) (Cuadro 6). Una representación gráfica de la susceptibilidad a la sequía, muestra que hubo una reducción de 0.052 unidades por ciclo de selección (Figura 2). Expresada en porcentaje respecto a la variedad original, esta reducción significa una disminución de la susceptibilidad o un incremento de la tolerancia (Fischer y Maurer, 1978; Bruckner y Frohberg, 1987) del orden del 4.6% por ciclo de selección.

### CONCLUSIONES

De acuerdo con el material genético y las condiciones en que se llevó a cabo la

Cuadro 5. Ganancias genéticas (%) por ciclo de selección respecto a la variedad original, para el rendimiento y otros caracteres de los compuestos del maíz Zac-58, seleccionados bajo condiciones de sequía y evaluados en experimentos de riego, sequía y temporal y combinando los de riego y sequía. Valle de México, 1989-91.

Carácter	Riego	Sequía	Temporal	Combinado
REN	6.6** (0.208) <sup>1</sup>	15.4** (0.219)	4.6** (0.082)	9.3** (0.213)
DPM	0.9**	1.3**	1.2**	1.1**
AP	2.7**	4.5**	2.2**	3.4**
AMZ	4.8**	6.7**	3.6**	6.0**
PG	0.9**	0.9*	0.02	0.9**
LMZ	1.5**	3.1**	2.0**	2.3**
DMZ	0.3**	1.2**	0.4*	0.7**
HPM	0.2	1.4**	0.2	0.8**
GPH	1.7**	4.3**	1.8**	2.9**

<sup>1</sup>Ganancia (b<sub>1</sub>) en t ha<sup>-1</sup> por ciclo de selección  
\*(p<0.05), \*\*\*(p<0.01).

Cuadro 6. Índice de susceptibilidad a la sequía, del rendimiento de los compuestos de selección del maíz Zac-58, seleccionados bajo condiciones de sequía en cinco localidades-años y combinado de éstas.

Ciclo	Mont-89 <sup>1</sup>	Chap-89	Tecam-89	Mont-90	Tecam-90	Combinado
C0	3.96	0.74	1.05	-0.36	1.11	1.132
C1	9.33	0.26	1.08	1.08	1.08	1.348
C2	2.31	1.04	1.07	1.34	1.13	1.235
C3	4.16	-0.43	1.08	0.26	1.12	1.345
C4	2.36	1.41	1.09	0.97	1.01	1.122
C5	5.29	0.93	1.06	1.70	1.12	1.274
C6	1.53	1.33	1.01	1.09	1.09	1.078
C7	3.60	1.73	1.02	1.35	1.03	1.120
C8	1.75	0.66	1.01	1.01	1.11	1.055
C9	-0.55	0.90	1.01	0.75	1.01	0.976
C10	-0.72	1.64	1.00	1.26	1.02	0.989
C11	-3.79	0.25	0.98	1.04	0.90	0.813
C12	-5.02	3.11	0.92	0.82	0.79	0.592
C13	-2.48	1.34	0.79	0.78	0.62	0.548
IS <sup>2</sup>	0.056	-0.411	0.898	0.299	0.814	0.487

<sup>1</sup> Mont=Montecillo, Chap=Chapingo, Tecam=Tecamac, Comb=Combinado.  
<sup>2</sup> IS=Intensidad de la sequía=((RENTR-RENTS)/RENTS).

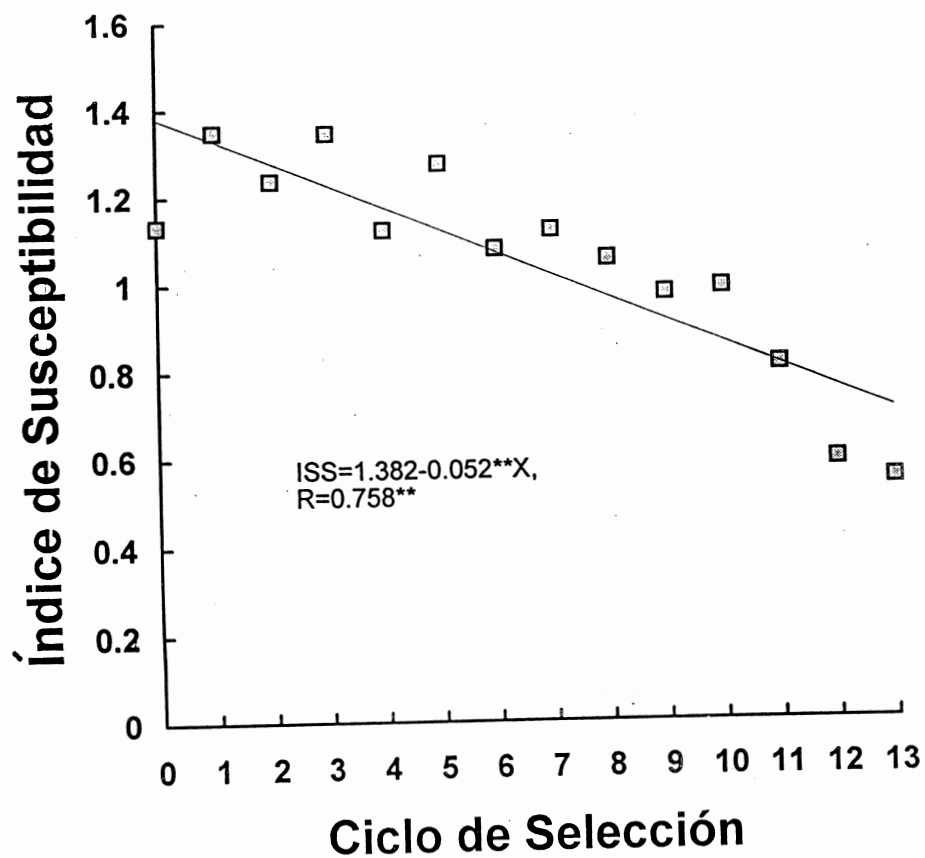


Figura 2. Tendencia del índice de susceptibilidad a la sequía del rendimiento de los compuestos del maíz Zac-58, seleccionados bajo sequía y evaluados en cinco experimentos de riego y cinco de sequía. Valle de México, 1989-91.

evaluación, se llegó a las conclusiones siguientes:

La selección masal para rendimiento bajo condiciones de sequía fue efectiva para mejorar el rendimiento de los compuestos obtenidos, tanto en la evaluación de riego como en la de sequía. En la evaluación de temporal la efectividad de la selección se redujo considerablemente.

La selección para rendimiento aumentó, de manera indirecta, el peso de grano, longitud y diámetro de mazorca, hileras por mazorca y granos por hilera, y retrazó 14.5 días la floración masculina e incrementó la altura de planta y mazorca en 48.6 cm y 32.8 cm, respectivamente.

La selección para rendimiento bajo condiciones de sequía, redundó en un mejoramiento de la tolerancia a la deficiencia de humedad, expresada por la menor reducción relativa del rendimiento bajo sequía respecto a riego, en un 4.6% por ciclo de selección.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arboleda R., F. and W. A. Compton. 1974. Differential response of maize (*Zea mays* L) selection in diverse selection environments. *Theor. Appl. Genet.* 44:77-81.
- Blum, A., G. Gozlan, and J. Mayer. 1981. The manifestation of dehydration avoidance in wheat breeding germplasm. *Crop Sci.* 21: 495-499.
- \_\_\_\_\_, J. Mayer and G. Gozlan. 1982. Infrared thermal sensing of plant canopies as a screening technique for dehydration avoidance in wheat. *Field Crop Res.* 5:137-146.
- Bruckner, P. L. and R. C. Frohberg. 1987. Stress tolerance and adaptation in spring wheat. *Crop Sci.* 27:31-36.
- Crane, P. L., S. R. Miles, and J. E. Newman. 1959. Factors associated with varietal differences in rate of field drying in corn. *Agron J.* 51:318-320.
- Fakorede, M. A. and J. J. Mock. 1980. Growth analysis of maize variety hybrids obtained from two recurrent selection programmes for grain yield. *New Phytol.* 85:393-408.
- Fischer, R. A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.* 29:897-912.
- \_\_\_\_\_, and M. Sanchez. 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars. II. Effects on plant water relations. *Aust. J. Agric. Res.* 30:801-814.
- Hallauer, A. R. and J. B. Miranda, Fo. 1981. *Quantitative Genetics in Maize Breeding.* Iowa State Univ. Press. Ames, Iowa. 468 p.
- \_\_\_\_\_, and J. H. Sears. 1969. Mass selection for yield in two varieties of maize. *Crop Sci.* 9:47-50.
- Hanson, A. D. and C. E. Nelsen. 1980. Water: Adaptation of crops to drought prone environments. *In: P. S. Carlson (ed.) The Biology of Crop Productivity.* Academic Press. N.Y., pp 77-152.
- Hillson, M. T. and L. H. Penny. 1965. Dry matter accumulation and moisture loss during maturation of corn grain. *Agron. J.* 57:150-153.
- Johnson, S. S. and J. L. Geadelmann. 1989. Influence of water stress on grain yield response to recurrent selection in maize. *Crop Sci.* 29:558-564.
- Mareck, J. H. and C. O. Gardner. 1979. Responses to mass selection in maize and stability of resulting populations. *Crop Sci.* 19:779-783.
- Martínez Z., G. y J. D. Molina G.. 1992. Evidencia sobre el ambiente de selección apropiado para adaptación a sequía en maíz. Memoria del XIV Congreso Nacional de la Soc. Mex. de Fitogenética, Tuxtla Gutiérrez, Chis. p. 327.
- Molina G., J. D. 1980. Selección masal para resistencia a sequía en maíz. Publicación Especial, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx., 35 p.

- Muñoz O., A. 1980. Técnicas de investigación para resistencia a sequía y heladas en maíz. Informativo del Maíz 3:37-41.
- \_\_\_\_\_. F. Márquez S. y J. Ortiz C. 1973. Estudio preliminar sobre un método de selección para resistencia a sequía en maíz. Agrociencia 11:15-28.
- Ortiz C., J., L. E. Mendoza O. y V. A. González H. 1984. Cambios en las características morfológicas y fisiológicas de maíz por efecto de la selección *in situ* y rotativa basada en el rendimiento de grano. Agrociencia 58:153-163.
- Purdy, J. L. and P. L. Crane. 1967a. Inheritance of drying rate in "mature" corn (*Zea mays* L.). Crop Sci. 7:291-297.
- \_\_\_\_\_. 1967b. Influence of pericarp on differential drying rate in "mature" corn (*Zea mays* L.). Crop Sci. 7:379-381.
- Troyer, A. F. and W. B. Ambrose. 1971. Plant characteristic affecting field drying rate of ear corn. Crop Sci. 11:529-531.
- Quisenberry, J. E., B. Roark, D. W. Fryrear, and R. J. Kohel. 1980. Effectiveness of selection in upland cotton in stress environments. Crop Sci 20: 450-453.