

## EVALUACIÓN *Per se* DE LÍNEAS ENDOGÁMICAS DE MAÍZ BAJO RIEGO Y SEQUÍA ARTIFICIALMENTE INDUCIDA EN FLORACIÓN

Antonio Castillo-Gutiérrez<sup>1\*</sup>, Laura Luz Gallardo-Balderas<sup>1</sup>, Vicente Emilio Carapia-Ruiz<sup>1</sup>  
y María Guadalupe Almaguer-Sierra<sup>2</sup>

<sup>1</sup>División de Agronomía, Campus Oriente, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cd. Ayala, Morelos. CP 62741. Correo-e: [acastillo@uaem.com.mx](mailto:acastillo@uaem.com.mx)

<sup>2</sup>Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 55.

\*Autor para correspondencia.

---

### RESUMEN

En el presente estudio se evaluaron 30 líneas endogámicas de maíz con los objetivos principales de: *i*) medir la respuesta del grupo de líneas a condiciones de riego y sequía artificialmente inducida en la floración *ii*) estimar los parámetros genéticos de varianza genética ( $\sigma^2_G$ ), fenotípica ( $\sigma^2_F$ ), ambiental ( $\sigma^2_e$ ) y heredabilidad en sentido amplio ( $h^2$ ), para nueve variables morfológicas, y *iii*) calcular un índice de respuesta a la sequía que identifique de líneas tolerantes. La evaluación de líneas se hizo en experimentos de campo separados contiguos, durante el ciclo de Otoño-invierno 2004, en Cd. Ayala, Morelos. Ambos experimentos fueron conducidos bajo el diseño experimental Látece Rectangular 5 x 6, con tres repeticiones. Datos de nueve variables fueron colectados y analizados estadísticamente mediante

análisis de varianza y de medias. Los resultados indicaron la existencia de alta variabilidad genética entre líneas en ambos ambientes (riego y sequía). La sequía artificialmente inducida redujo el rendimiento de grano en un 67.4 % (con respecto al ambiente de riego). Las variables intervalo antésis-emergencia de estigmas y mazorcas por planta mostraron una relativa alta heredabilidad bajo sequía. Las líneas LRB18 (0.738) y LRB137 (0.645) fueron las de mayor índice de respuesta a la sequía.

**Palabras clave:** maíz, líneas endogámicas, estrés hídrico.

### ABSTRACT

In this study, 30-maize inbred lines were evaluated with the main objectives to: *i*) measure the response of the line group under irrigation and artificially induced drought-stress in flowering time, *ii*) assess genetic parameters such as genetic ( $\sigma^2_G$ ),

phenotypic ( $\sigma^2_F$ ) and environmental variances ( $\sigma^2_e$ ), and broad-sense heritability ( $h^2$ ) for nine-morphological variables, and *iii*) compute a drought-response index for identifying drought-tolerant lines. Line evaluation was carried out in Ayala, Morelos, using side-by-side field experiments during 2004 dry-season. Both experiments were conducted under a 5 x 6 Rectangular Lattice Design, with three replications. Data of nine variables were collected and statistically analyzed by variance and mean analyses. Results indicated presence of high genetic variability among lines in both environments (irrigation and drought-stress conditions). The artificially induced drought-stress caused a grain yield reduction about 67.4 % (relative to irrigation condition). Anthesis-silking interval and ears per plant showed a relative high heritability value under drought-stress condition. LRB18 (0.738) and LRB137 (0.645) lines had the highest drought-response index.

**Key words:** *maize, inbred lines, drought-stress.*

## INTRODUCCIÓN

En México existen dos periodos críticos en donde se presenta sequía, uno durante el invierno, siendo éste el periodo más prolongado y con muy pocas probabilidades de lluvia. El segundo periodo ocurre durante el ciclo agrícola de primavera-verano y comúnmente es denominado como "sequía intra-estival" (Muñoz, 1980). Aunque en algunas regiones de Morelos, el promedio de precipitación es suficiente, la presencia de periodos de ausencia de lluvias coincide con la floración de maíz y sorgo reduciendo en ocasiones significativamente los rendimientos de grano en dichos cereales.

La sequía ha sido definida como un evento meteorológico, que consiste en la ausencia de lluvia por un periodo de tiempo suficientemente prolongado para causar

una reducción de la humedad del suelo, lo que ocasiona déficit hídrico en las plantas (Quispe *et al*, 1994). La sequía es uno de los mayores problemas en muchas áreas productoras de maíz en el mundo, especialmente para las zonas de temporal. Las pérdidas del rendimiento de grano atribuidas a la sequía pueden afectar hasta un 17% de las áreas tropicales de maíz (Bolaños y Edmeades, 1996) por lo que, una de las estrategias lógicas para resolver dicho problema es la agricultura de riego. Sin embargo, en la mayoría de los casos esta solución no es factible, debido a la nula disponibilidad de fuentes naturales de agua, infraestructura y recursos económicos entre otros. Una segunda alternativa para disminuir los efectos de la sequía es; mediante técnicas genéticas desarrollar germoplasma tolerante a este factor de tensión.

En el maíz, la floración es la etapa más sensitiva a la sequía, por lo que el mejoramiento de germoplasma tolerante particularmente en esta etapa fenológica es una meta importante en programas modernos de mejoramiento genético de maíz (Quarri *et al*, 1999). La identificación de genotipos que muestren un rendimiento relativamente alto bajo condición sequía, constituye una estrategia lógica para contrarrestar los efectos negativos causados por la sequía en la producción de maíz. Sin embargo la selección directa para rendimiento de grano bajo sequía ha sido considerada ineficiente, debido a la baja heredabilidad del rendimiento de grano (Blum, 1988; Ribaut *et al*, 1996). Por lo tanto, la selección basada en componentes del rendimiento de grano o caracteres que confieren tolerancia a la sequía; ha sido propuesta con el fin de incrementar la eficiencia de la selección en ambientes limitantes de agua (Chapman y Edmeades 1999; Bänzinger *et al*, 2000; Castillo-Gutiérrez *et al*, 2003).

El uso de híbridos simples de maíz en la agricultura actual, origina la necesidad de dar más atención al comportamiento *per*

se de líneas progenitoras, ya que se ha establecido que los incrementos en el rendimiento de grano en híbridos modernos se ha originado por incrementos en los rendimientos *per se* de sus progenitores, especialmente bajo condiciones de estrés, así como a un aumento en la estabilidad del comportamiento de los híbridos en ambientes limitantes y no limitantes de humedad (Duvick, 1997). Por tal motivo los objetivos de la presente investigación fueron: *i*) medir la respuesta del grupo de líneas a condiciones de riego y sequía artificialmente inducida en la floración, *ii*) estimar los parámetros genéticos de varianza genética ( $\sigma^2_G$ ), fenotípica ( $\sigma^2_F$ ), ambiental ( $\sigma^2_e$ ) y heredabilidad en sentido amplio ( $h^2$ ), para nueve variables morfológicas, y *iii*) calcular un índice de respuesta a la sequía que identifique de líneas tolerantes.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Germoplasma de Estudio

El germoplasma evaluado en el presente estudio fue proporcionado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). El INIFAP proporcionó 26 líneas, las cuales son producto de cinco programas regionales de mejoramiento genético de maíz de México, en tanto que el CIMMYT facilitó cuatro líneas tropicales de maíz, dos de las cuales han sido bien caracterizada por su respuesta a la sequía y usadas en éste estudio como testigos en los experimentos conducidos. La información concerniente a las líneas se presenta en la Cuadro 1.

### Descripción del Experimento

Las líneas de maíz fueron evaluadas en dos experimentos de campo contiguos, uno de los cuales bajo condiciones de riego y el otro en condición de sequía inducida

artificialmente. Los experimentos fueron establecidos en el campo experimental del Campus Oriente de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, localizado en el ejido de Xalostoc de Cd. Ayala, Morelos, siendo su ubicación geográfica de 18° 43' 08" de Latitud Norte y 98° 54' 04" de Longitud Oeste y presenta una Altitud de 1250 msnm. (INEGI, 1999). Ambos experimentos se condujeron bajo un diseño de tratamientos de dos factores, correspondiendo el factor uno a condiciones de agua, con dos niveles (riego y sequía). El factor dos lo constituyeron las líneas con 30 niveles (30 líneas). El diseño experimental fue un Láctice Rectangular 5 x 6 con tres repeticiones por tratamiento. El tamaño de la unidad experimental estuvo constituida por un surco con una longitud de 3.25m y 0.75m de distancia entre surcos, con una distancia entre plantas de 0.25m. La siembra de los experimentos se llevó a cabo durante el ciclo agrícola Otoño-Invierno 2004. El ciclo de Otoño-Invierno se caracteriza por la no presencia significativa de lluvias, lo cual favorece el control de humedad del suelo mediante el manejo de riego. Las variables medidas en ambos experimentos (riego y sequía) fueron: floración masculina (FM), floración femenina (FF), intervalo entre antésis-emergencia de estigmas (IAE), altura de planta (AP), altura de mazorca (AM), mazorcas por planta (MP), granos por mazorca (GM), peso de 100 granos (P100G) y el rendimiento de grano (RG) ajustado al 15.5 % de humedad y expresándolo en  $\text{ton ha}^{-1}$ . Adicionalmente, para rendimiento de grano se construyó la variable artificial denominada aquí como índice de respuesta a la sequía ( $\text{IRS}_{\text{RG}}$ ), el cual tiene como propósito identificar a aquellas líneas que muestren tolerancia a la sequía. El IRS se determinó usando la siguiente fórmula:  $\text{IRS}_{\text{RG}} = \text{rendimiento de grano en el ambiente de sequía} / \text{rendimiento de grano en el ambiente de riego}$ . Donde el grado de tolerancia a la sequía se encuentra entre 0 y 1, correspondiendo cero para una línea completamente susceptible y uno para una línea tolerante.

Cuadro 1. Líneas endogámicas de maíz evaluadas en esta investigación.

Línea	Germoplasma Fuente	Programa de Mejoramiento	Institución
LPC4	Pool 19 x Lucio Blanco	ST-SH	INIFAP
ST549	PABGST	T-SH	INIFAP
T41	MRBV4	ST-SA	INIFAP
D539	Población 539	TH	INIFAP
B77	Compuesto Bolita 61	ST-A	INIFAP
LRB18	Pool-16(G16C19)	ST-SA	INIFAP
LPC15	Sint.1 OCOT345	ST-SH	INIFAP
LPC18	Población 840	ST-SH	INIFAP
Z133	Población Zac.58	ST-A	INIFAP
LPC5	Población Blanco Dentado 2 C <sub>17</sub>	ST-SH	INIFAP
D471	Población B670	T-SH	INIFAP
T42	Población HCA8	ST-SA	INIFAP
Ac7643 §	Población 43 (La Posta)	TH	CIMMYT
T39	Población MRBV4	ST-A	INIFAP
LE36	Población Tuxpeño	TH	INIFAP
CML444	Población 43C <sub>9</sub> (La Posta)	TH	CIMMYT
B236	Compuesto Bolita 61	ST-A	INIFAP
LRB137	Población HTS	ST-SA	INIFAP
LRB10	RB-202487 (Pool 20, 24)	ST-SA	INIFAP
B46	Población V385-HC-47	ST-SH	INIFAP
Y90	Población 22	ST-A	INIFAP
LRB16	Pool-16 (G16BNSEQ C <sub>0</sub> )	ST-SA	INIFAP
T43	Población CGBDT24	ST-A	INIFAP
Ac7729 ¶	Población 29	TH	CIMMYT
LPC21	Población 840	ST-SH	INIFAP
Z112	Población Zac58	ST-A	INIFAP
K64R	-----	TH	CIMMYT
B45	Población V385-PB-HC	ST-SH	INIFAP
T40	Población Tuxpeño 1	ST-A	INIFAP
TTC2	Tuxpeño tropical cristalino	TH	INIFAP

§, ¶: Línea testigo tolerante y susceptible, respectivamente.

TH: Trópico-húmedo; ST-SH: Sub-trópico-sub-húmedo;

ST-A: Sub-trópico-árido; T-SH: Trópico-sub-húmedo;

ST-SA: Sub-trópico-sub-árido;

### Análisis Estadístico

La totalidad de las variables medidas se probó la normalidad de los datos, para posteriormente realizar análisis de varianza individuales (riego y sequía, por separado) y combinados (combinando datos

de los dos ambientes). Los análisis de varianza se hicieron bajo el diseño experimental de Látxice Rectangular 5 x 6. Usando los cuadrados medios y las esperanzas de cuadrados medios, se obtuvieron las estimaciones de los parámetros genéticos de varianza genética,

varianza ( $\sigma^2_G$ ) fenotípica ( $\sigma^2_F$ ), varianza ambiental ( $\sigma^2_e$ ) y heredabilidad en sentido amplio ( $h^2$ ). Mediante el uso de las medias ajustadas se procedió a hacer las estimaciones de los coeficientes de correlación fenotípica entre las ocho variables de estudio, tanto para los datos de riego como de sequía. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo usando el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS)[SAS Institute Inc., 2003].

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de Varianza

La prueba estadística de normalidad indicó falta de normalidad en las variables intervalo entre antétesis-emergencia de estigmas (IAE), mazorcas por planta (MP) y granos por mazorca (GM). Dichas variables fueron normalizadas mediante la transformación de los valores originales usando las ecuaciones proporcionadas en la base de los Cuadros 2, 3 y 4. Los que corresponden al experimento bajo riego, bajo sequía y el análisis combinado de ambos, respectivamente. El Cuadro 2,

corresponde a los cuadrados medios para las variables morfológicas evaluadas bajo condiciones de riego. Dicha cuadro muestra falta de significancia estadística para la fuente de variación de Repeticiones en todas las variables y una similar tendencia fue observada para la fuente de Bloques (Rep.), con excepción en las variables de altura de planta (AP) y rendimiento de grano (RG), en donde las diferencias estadísticas fueron significativas al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente. Por otro lado y como era de esperarse la fuente de variación de Líneas indicó diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ) en las nueve variables cuantitativas medidas. En lo que respecta a la estimación de los errores experimentales, estos fueron bajos en los análisis de varianza de todos los caracteres, provocando que sus coeficientes de variación fueran relativamente bajos y por lo tanto confiables las estimaciones de sus medias. Los valores de los coeficientes de variación (CV) fluctuaron desde 3.24 a 18.03%, correspondiendo dichos valores a las variables de floración masculina (FM) y rendimiento de grano (RG), respectivamente.

Cuadro 2. Cuadros medios de las variables medidas en 30 líneas endogámicas de maíz evaluadas bajo condiciones de riego en Cd. Ayala, Mor., en 2004B.

Fuente de Variación	GL	FM d	FF	IAE trans <sup>1</sup>	AP cm	AM	MP trans <sup>2</sup>	GM trans <sup>3</sup>	P100G g	RG ton ha <sup>-1</sup>
Repeticiones	2	26.14ns	27.23ns	0.002ns	412.27ns	63.08ns	0.001ns	1.54ns	19.24ns	0.49ns
Bloques (Rep.)	15	6.02ns	6.09ns	0.011ns	184.27*	43.90ns	0.007ns	4.53ns	3.09ns	1.69**
Líneas	29	120.00**	93.91**	0.019**	1538.40**	541.06**	0.043**	23.86**	33.66**	4.65**
Error	43	5.26	5.52	0.008	83.62	49.30	0.010	5.76	5.32	0.27
CV (%)		3.24	3.23	7.48	5.22	10.26	7.39	13.99	9.76	18.03

Datos transformados por: <sup>1</sup> $\ln[(IAE+10)^{0.5}]$ , <sup>2</sup> $(MP+3/8)^{0.5}$  y  $(GM)^{0.5}$   
 \* Significativo al 0.05 de probabilidad  
 \*\* Significativo al 0.01 de probabilidad  
 ns No significativo

Cuadro 3. Cuadrados medios de las variables medidas en 30 líneas endogámicas de maíz evaluadas bajo condiciones de sequía en Cd. Ayala, Mor., en 2004B.

Fuente de Variación	GL	FM	FF	IAE	AP	AM	MP	GM	P100G	RG
		—d—		trans <sup>1</sup>	— cm —		trans <sup>2</sup>	trans <sup>3</sup>	g	ton ha <sup>-1</sup>
Repeticiones	2	16.93ns	0.21ns	0.044ns	281.38ns	51.08ns	0.025ns	8.06ns	9.36ns	0.07ns
Bloques (Rep.)	15	7.53ns	13.67ns	0.031**	313.26*	58.07ns	0.013ns	4.26ns	9.55ns	0.07ns
Líneas	29	126.54**	121.72**	0.093**	1606.35**	574.48**	0.006ns	42.46**	51.55**	0.28*
Error	43	6.41	13.36	0.013	132.63	45.50	0.009	3.25	12.62	0.06
CV (%)		3.58	4.92	8.89	7.50	10.06	8.097	13.82	19.39	32.18

Datos transformados por;  $\ln[(IAE+10)^{0.5}]$ ,  $\sqrt{(MP+3/8)^{0.5}}$  y  $(GM)^{0.5}$   
 \* Significativo al 0.05 de probabilidad  
 \*\* Significativo al 0.01 de probabilidad  
 ns No significativo

Los resultados de los análisis de varianza para el experimento de sequía se presentan en el Cuadro 4. Al igual que en el ambiente de riego, en el de sequía no se detectaron diferencias estadísticas significativas para la fuente de variación de Repeticiones en todas las variables consideradas. Dichos resultados mostraron falta de significancia estadística para las nueve variables morfológicas en la fuente de variación de Repeticiones. En cuanto a la fuente de variación de Bloques (Repeticiones), únicamente se observaron diferencias estadísticas en las variables de altura de planta (AP) e intervalo entre anté시스-emergencia de estigmas (IAE) (al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente). La diferencia entre medias de líneas probada por la fuente de variación de Líneas, también detectó diferencias altamente significativas para todas las variables con excepción de mazorcas por planta (MP). Con lo referente a los errores experimentales estos fueron relativamente bajos en los análisis de varianza de todos los caracteres, lo que trajo como consecuencia que sus coeficientes de variación fueran bajos y aceptables dando el grado de confiabilidad a los resultados obtenidos. Los coeficientes de variación del ambiente de sequía fluctuaron desde 3.58 a 27.18%, los cuales

corresponden a floración masculina y rendimiento de grano respectivamente.

Los resultados de los análisis de varianza combinados (Cuadro 4) indicaron para la fuente de Ambientes, que existieron diferencias altamente significativas ( $P<0.01$ ) en seis de las nueve variables (incluyendo el rendimiento de grano), diferencia significativa ( $P<0.05$ ) en el intervalo anté시스-emergencia de estigmas (IAE) y nula diferencia para floración masculina (FM) y altura de planta (AM). En tanto que en el efecto principal que mide la diferencia entre de Líneas, éste presentó diferencias genotípicas altamente significativas para las nueve variables. En cuanto a la interacción genotipo x ambiente probada por la fuente de variación de Línea x Ambiente se encontraron diferencias estadísticas significativas al 0.01 de probabilidad para las variables IAE, AP, MP, GM, y RG, y al 0.05 para la AM. En tanto que no se mostraron diferencias para FM, FF y P100S. Los valores de los coeficientes de variación estuvieron en el rango de 3.41 a 21.69% correspondiendo a floración masculina y rendimiento de grano respectivamente.

Las diferencias altamente significativas detectadas entre líneas en las nueve variables estudiadas por esta

investigación indican la presencia de una amplia variación en la respuesta a la condición de agua al que los genotipos son sujetos (Cuadros 2 y 3). Dicha respuesta también fue encontrada cuando los datos fueron analizados en forma combinada (Cuadro 4). Los resultados observados están en acuerdo con lo esperado, ya que las líneas de maíz fueron derivadas de poblaciones de maíz que difieren en su tolerancia a la sequía, así como siguiendo diferentes criterios de selección. También es claro que la selección llevada al cabo en el desarrollo de este germoplasma, ha reducido la variación dentro de líneas e incrementado la variación entre líneas. El nivel del estrés de agua aplicado en este estudio (sequía inducida a través del manejo de riego) tuvo un importante impacto en la floración femenina, el cual básicamente se manifestó en un retraso de la aparición de los estigmas (largo IAE bajo sequía), en aquellos genotipos susceptibles al estrés de agua y poco o ningún retraso en aquellas líneas tolerantes a sequía (corto IAE, bajo sequía), similares resultados han sido reportados en otros estudios evaluando el efecto de diferentes condiciones de agua en el cultivo de maíz (Hall *et al.*, 1981; Bolaños y Edmeades 1996).

### Parámetros Genéticos

Los Cuadros 5 y 6 contienen los valores de las estimaciones de los parámetros genéticos bajo condiciones de riego y sequía respectivamente. Los valores de las heredabilidades en sentido amplio de las nueve variables medidas en el ambiente de riego estuvieron dentro de un rango de 0.19 (intervalo antésis-emergencia de estigmas) a 0.78 (floración masculina) y donde el rendimiento de grano (RG) presento una heredabilidad de 0.73. En cuanto a las mismas estimaciones, pero en el ambiente de sequía las variables que mostraron la mas baja y alta heradabilidad fueron mazorcas por planta (-0.06) y floración masculina (0.76), respectivamente. El rendimiento de grano tuvo un valor de heredabilidad de 0.38, lo cual fue significativamente más bajo que en el ambiente de riego. Los valores estimados en los parámetros genéticos para el intervalo antésis-emergencia de estigmas y granos por mazorca indicaron que dichos caracteres pueden usarse con éxito en programas de mejoramiento para condiciones limitantes de agua debido a que sus valores de heredabilidad se incrementaron en la condición de sequía, en tanto que el rendimiento de grano la disminuyó significativamente en un 48%.

Cuadro 4. Cuadros medios combinados (datos de riego y sequía) de las variables medidas en 30 líneas tropicales de maíz evaluadas en Cd. Ayala, Mor., en 2004B.

Fuente de Variación	GL	FM	FF	IAE	AP	AM	MP	GM	P100G	RG
		d		trans <sup>1</sup>	cm		trans <sup>2</sup>	trans <sup>3</sup>	g	ton ha <sup>-1</sup>
<b>Ambiente</b>	1	0.67ns	123.34**	0.166*	21451.00**	89.61ns	1.33**	1109.06**	2805.29**	188.80**
<b>R(Amb)</b>	4	21.54ns	13.72ns	0.023ns	346.93*	57.08ns	0.01ns	19.94ns	37.44ns	0.72ns
<b>BI(R*A)</b>	30	6.77ns	9.88ns	0.021**	248.77**	50.99ns	0.01ns	12.38**	36.17ns	1.02*
<b>Líneas</b>	29	244.23**	204.43**	0.029**	2893.82**	1023.27**	0.03**	47.85**	103.69**	4.65**
<b>Línea*A</b>	29	6.31ns	11.20ns	0.023**	250.93**	82.28*	0.03**	21.98**	39.22ns	2.23**
<b>Error</b>	86	5.84	9.44	0.011	108.12	47.40	0.01	7.64	29.22	0.64
<b>CV (%)</b>		3.41	4.18	8.25	6.32	10.16	7.72	18.84	17.45	21.69

Datos transformados por: <sup>1</sup>ln[(IAE+10)<sup>0.5</sup>], <sup>2</sup>(MP+3/8)<sup>0.5</sup> y (GM)<sup>0.5</sup>

\* Significativo al 0.05 de probabilidad

\*\* Significativo al 0.01 de probabilidad

ns No significativo

**Cuadro 5.** Parámetros genéticos estimados de 30 líneas de maíz evaluadas bajo condiciones de riego en Cd. Ayala, Mor., en 2004B.

Parámetro	FM	FF	IAE	AP	AM	MP	GM	P100G	RG
$\hat{\sigma}_G^2$	6.37	4.91	0.00	80.82	27.32	0.00	1.01	1.57	0.24
$\hat{\sigma}_F^2$	8.13	6.75	0.00	108.69	43.75	0.01	2.93	3.35	0.33
$\hat{\sigma}_e^2$	1.75	1.84	0.00	27.87	16.43	0.00	1.92	1.77	0.09
$\hat{h}^2$	0.78	0.73	0.19	0.74	0.62	0.35	0.34	0.47	0.73

$\sigma_G^2$ ,  $\sigma_F^2$ ,  $\sigma_e^2$ ; estimaciones de varianza genética, fenotípica y ambiental, respectivamente.  
 $h^2$ ; heredabilidad en sentido amplio.

**Cuadro 6.** Parámetros genéticos estimados de 30 líneas de maíz evaluadas bajo condiciones de sequía en Cd. Ayala, Mor., en 2004B.

Parámetro	FM	FF	IAE	AP	AM	MP	GM	P100G	RG
$\hat{\sigma}_G^2$	6.67	6.02	0.00	81.87	29.39	0.00	2.18	2.16	0.01
$\hat{\sigma}_F^2$	8.81	10.47	0.01	126.08	44.55	0.00	3.26	6.37	0.03
$\hat{\sigma}_e^2$	2.14	4.45	0.00	44.21	15.17	0.00	1.08	4.21	0.02
$\hat{h}^2$	0.76	0.57	0.51	0.65	0.66	-0.06	0.67	0.34	0.38

$\sigma_G^2$ ,  $\sigma_F^2$ ,  $\sigma_e^2$ ; estimaciones de varianza genética, fenotípica y ambiental, respectivamente.  
 $h^2$ ; heredabilidad en sentido amplio.

En general las heredabilidades disminuyen en ambientes de sequía, pero en aquellos caracteres que confieren adaptación a sequía normalmente se mantienen o aumentan bajo dicha condición de estrés (Bänziger *et al.*, 2000), lo cual fue observado en esta investigación.

### Respuesta de las líneas a la Condición de Agua

La respuesta de las líneas a las dos condiciones de agua (riego y sequía), las presenta el Cuadro 7, en términos de las medias de caracteres que mostraron una interacción genotipo-ambiente significativa y referenciado a las cinco líneas con una mejor y peor respuesta agronómica bajo sequía. Básicamente en condiciones de riego, se puede considerar que no hubo diferencia alguna entre líneas tolerantes y susceptibles a la sequía. Esto es evidente comparando las medias de los caracteres de intervalo antésis-emergencia de estigmas (IAE), mazorcas por planta (MP) y

rendimiento de grano (RG), en los cuales se puede observar que los valores de DMS fueron menores a los valores de la diferencia de medias entre líneas tolerantes y susceptibles.

Sin embargo bajo condiciones de sequía, las tres variables mencionadas, además del índice de la respuesta a la sequía para el rendimiento de grano ( $IRS_{RG}$ ), fueron significativamente diferentes las medias entre los mencionados grupos de líneas ( $IRS_{RG}$  de 0.651 y 0.113 para líneas tolerantes y susceptibles, respectivamente). El hecho de detectar líneas endogámicas de maíz tolerantes a la sequía y conjuntarlos con las variables de buen comportamiento bajo sequía, permiten iniciar programas de selección basada en caracteres que confieren tolerancia a la sequía; estrategia que ya ha sido propuesta para incrementar la eficiencia de la selección hecha en ambientes limitantes de agua (Chapman y Edmeades 1999; Bänzinger *et al.*, 2000; Castillo-Gutiérrez *et al.*, 2003).



Cuadro 7. Promedios de las cinco líneas tolerantes (§) y susceptibles (¶) a la sequía en floración identificadas en la evaluación de 30 líneas de maíz en Cd. Ayala, Mor., en 2004B.

Línea	IAE d	AP cm	MP No.	GM No.	RG ton ha <sup>-1</sup>	IRS <sub>RG</sub>
<b>Ambiente de Riego</b>						
LPC21§	4.7	244	1.6	520	3.322	-----
LRB137§	2.0	171	1.3	439	2.828	-----
LRB18§	-1.0	170	1.3	301	2.278	-----
Ac7643§ <sup>1</sup>	0.3	182	1.4	348	2.553	-----
T43§	1.0	151	1.2	318	2.189	-----
<b>Promedio</b>	<b>1.4</b>	<b>183.6</b>	<b>1.4</b>	<b>385.2</b>	<b>2.634</b>	
Ac7729¶ <sup>2</sup>	1.3	195	1.7	349	2.373	-----
B46¶	4.3	170	1.8	336	2.464	-----
LRB10¶	1.7	176	1.8	355	3.691	-----
T39¶	2.7	175	1.5	330	2.522	-----
LPC15¶	4.0	150	1.0	375	2.369	-----
<b>Promedio</b>	<b>2.8</b>	<b>173.2</b>	<b>1.6</b>	<b>349.0</b>	<b>2.684</b>	-----
<b>DMS<sub>(0.05)</sub></b>	<b>3.9</b>	<b>15</b>	<b>0.4</b>	<b>121</b>	<b>0.540</b>	-----
<b>Ambiente de Sequía</b>						
LPC21§	5.3	199	1.1	213	2.105	0.634
LRB137§	2.7	158	1.1	191	1.823	0.645
LRB18§	-1.3	153	1.1	192	1.682	0.738
Ac7643§ <sup>1</sup>	1.4	169	1.0	189	1.561	0.611
T43§	1.4	136	1.0	190	1.374	0.628
<b>Promedio</b>	<b>1.9</b>	<b>163.0</b>	<b>1.1</b>	<b>195.0</b>	<b>1.709</b>	<b>0.651</b>
Ac7729¶ <sup>2</sup>	8.7	160	0.7	93	0.686	0.289
B46¶	5.9	135	0.6	89	0.476	0.193
LRB10¶	7.6	148	1.0	67	0.157	0.043
T39¶	6.8	138	0.7	20	0.081	0.032
LPC15¶	9.0	119	0.6	18	0.016	0.007
<b>Promedio</b>	<b>7.6</b>	<b>140.0</b>	<b>0.7</b>	<b>57.4</b>	<b>0.283</b>	<b>0.113</b>
<b>DMS<sub>(0.05)</sub></b>	<b>5.0</b>	<b>19</b>	<b>0.3</b>	<b>83</b>	<b>0.420</b>	<b>0.091</b>

1, 2: Líneas testigo tolerante y susceptible a la sequía, respectivamente.

## CONCLUSIONES

El germoplasma evaluado por éste estudio mostró una alta variabilidad genética en ambos ambientes (riego y sequía), lo que está basado en las significancias observadas en todas las variables medidas. El estrés de agua

inducido mediante el manejo del riego durante floración, fue lo suficientemente efectivo como para causar un déficit hídrico que se manifestó con una reducción del rendimiento de grano en un 67.4 % (con respecto al ambiente de riego). La variable días a floración femenina fue altamente afectada por la sequía, lo que ocasionó un

prolongado intervalo entre antésis y emergencia de estigmas en las líneas susceptibles. Debido al un incremento observado en los valores de la heredabilidad bajo sequía en las variables de intervalo antésis-emergencia de estigmas y mazorcas por planta. Dichas variables pueden utilizarse como caracteres secundarios para selección indirecta en el desarrollo de germoplasma con tolerancia a la sequía. Finalmente, las líneas LRB18 y LPC15 fueron identificadas con las de mayor y menor tolerancia a la sequía, respectivamente; que la observada en las líneas testigo (Ac7643 y Ac7729 tolerante y susceptible a la sequía, respectivamente).

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), por proporcionar amablemente el germoplasma usado en la presente investigación.

## LITERATURA CITADA

- Bänziger, M., G. O. Edmeades, and H. R. Lafitte. 2000. Physiological mechanisms contributing to the increased N-stress tolerance of tropical maize selected for drought tolerance. *Field Crop Res.* 75:223-233.
- Blum, A. 1988. *Plant breeding for stress environments*. CRC Press, Boca Raton, Fl. 123 p.
- Bolaños, J., and G.O. Edmeades. 1996. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. *Field Crops Res.* 48:65-80.
- Castillo-Gutiérrez, A., K. S. Gill, I. Dweikat, J. E. Specht W. K. Russell, and K. M. Eskridge. 2003. Grouping maize inbred lines by their drought tolerance during flowering. Abstracts book. ASA-CSSA-SSSA Annual Meetings. Denver, CO., USA
- Chapman, S. C., and G. O. Edmeades. 1999. Selection improves in drought tolerance in tropical maize populations. II. Direct and correlated responses among secondary traits. *Crop Sci.* 39:1315-1324.
- Duvick, D. N. 1997. What is yield? (pp 332-335). In. G.O. Edmeades, M. Banziger, H.R. Mikelson, and C.B. Peña-Valdivia (Eds.) *Developing drought and low-N tolerant lines*. El Batán, México. CIMMYT.
- Edmeades, G. O., J. Bolaños, and H. R. Lafitte. 1992. Progress in breeding for drought tolerance in maize. (pp 93-111). In. D. Wilkinson (Ed.). *Proc. Annu. Corn and Sorghum Ind. Res. Conf.* 47<sup>th</sup>, Chicago 9-10 Dec. 1992. ASTA, Washington. D.C.
- Hall, A.J., J.H. Lemcoff, and N. Trapani. 1981. Water stress before and during flowering in maize and its effects on yield, its components, and their determinants. *Maydica* 26:19-38.
- INEGI.1999. *Anuario Estadístico de Estados Unidos de México*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México, D.F. 113 p.
- Muñoz O., A.1980. Resistencia a la sequía y mejoramiento genético. *Ciencia y Desarrollo.* 33: 26-35.
- Quarrie, S. A., L. J. Vesna, D. Kovacevic, A. Steed, and S. Pekic. 1999. Bulk segregant analysis with molecular markers and its use for improving drought resistance in maize. *J. of Exp. Bot.* 337(50):1299-1306.
- Quispe, S., A. Muñoz O., J. Velásquez M. y A. Martínez G. 1994. Selección de genotipos de arroz (*Oriza sativa L.*) Bajo el sistema riego sequía. *Agrociencia serie Fitociencia.* Vol. 5, Num. 2, Abril-Junio 1994. p.80. México.
- Ribaut, J. M., D. A. Hoisington, J. A. Deutsch, C. Jiang, D. Gonzalez-de-Leon. 1996. Identification of quantitative trait loci under drought conditions in tropical maize. 1. Flowering parameters and the anthesis-silking interval. *Theor. Appl. Genet.* 94:887-896.
- Statistical Analysis System Institute. 2003. *SAS user's guide statistics*. Version 9.2.