

Influencia del ambiente de selección sobre la germinación de semillas de maíz (*Zea mays* L.) bajo estrés hídrico. Relaciones entre caracteres de plántula con el rendimiento a campo

Biasutti, C.A. y V.A. Galiñanes

RESUMEN

La identificación de caracteres que permitan seleccionar materiales potencialmente tolerantes al estrés hídrico en etapas tempranas del desarrollo de un cultivo, es un propósito importante para los mejoradores de plantas. Los objetivos de este trabajo fueron: determinar si la selección en maíz efectuada en ambientes altamente variables produjo una respuesta indirecta en la capacidad de germinar bajo estrés hídrico, e identificar las variables bajo estrés que estén asociadas con el rendimiento a campo. En condiciones controladas de laboratorio, se sembraron semillas de los diferentes ciclos de selección en agua destilada y en solución de polyetilenglicol 8000 (-1.5 MPa). Se midieron los siguientes caracteres: porcentaje de germinación bajo estrés, longitud del coleoptile, longitud raíz primaria, número de raíces secundarias, radio radical, peso fresco y seco de biomasa aérea y de biomasa radical, relación biomasa seca radical: biomasa seca aérea. La respuesta a la selección para rendimiento a campo bajo estrés no se correlacionó con las variables medidas a laboratorio. La selección natural puede haber explotado la mayor parte de la variabilidad genética positiva para los caracteres de plántula evaluados en este trabajo.

Palabras clave: ambiente de selección, estrés hídrico, tolerancia, plántula, maíz.

Biasutti C. A. and V. A. Galiñanes. 2001. Influence of selection environment on the germination of maize (*Zea mays* L.) seeds under drought stress. Relationships between seedling characters and yield. Agriscientia XVIII: 37-44

SUMMARY

The identification of characters that allow the selection of potentially drought stress tolerant materials in early stages of crop development, is an important objective

for plant breeders. The objectives of this work were: to evaluate the indirect response of maize selection carried out in different environments in controlled drought stress conditions, and to identify characters correlated with yield in field experiments. Under controlled laboratory conditions, seeds of the different selection cycles were germinated in distilled water and in polyethylene glycol 8000 solution (1,5 MPa). Data of the following characters were recorded: germination percentage under stress, coleoptile length, root length, root number, root radius, fresh and dry weights of shoots and roots and root/shoot dry weight ratio. Response to selection for yield under field stress was not correlated with the variables measured in laboratory conditions. Natural selection must have exhausted the positive genetic variability for the seedling characters evaluated in this work.

Key words: selection environment, drought stress, tolerance, seedling, maize.

Biasutti C. A. y V. A. Galiñanes. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Mejoramiento Genético Vegetal, C.C. 509, 5000 Córdoba. E-mail: biasutti@agro,uncor.edu

INTRODUCCIÓN

La identificación de caracteres que permitan seleccionar materiales potencialmente tolerantes al estrés hídrico es un objetivo importante para los mejoradores de plantas. La importancia de estos caracteres adquiere mayor relevancia cuando su identificación es factible de realizarse en etapas tempranas del desarrollo del cultivo (Ludlow & Muchow, 1990; Gutiérrez-Rodríguez *et al.*, 1998).

Una de las causas que puede conspirar contra el normal desarrollo del cultivo y su posterior rendimiento es la sequía durante o inmediatamente después de la germinación. En maíz se ha estimado que esta sequía puede causar pérdidas en el número de plantas, lo que causa mermas en los rendimientos comparables, en algunos casos, con la producida por una sequía durante la etapa de floración (Edmeades *et al.*, 1989; 1994).

Durante el estrés hídrico, las plantas pueden ajustar parcialmente su grado de turgencia mediante el incremento de la concentración de solutos en las células (ajuste osmótico). La parte radical es menos afectada, aumentando la relación peso seco raíz: peso seco tallo (Mackay & Barber, 1985; Otegui, 1992). Tanto los parámetros de crecimiento longitudinal como radial son alterados en raíces creciendo a bajo potencial hídrico, dando sistemas radicales de mayor longitud pero con menor radio (Vartanian, 1981; Sharp *et al.*, 1988).

De acuerdo a Edmeades *et al.* (1996) la cantidad de agua transpirada, que está directamente relacionada con la biomasa producida, es influida por ca-

racteres que afectan la capacidad de supervivencia, como un alto porcentaje de germinación y la supervivencia de las plántulas bajo sequía. De acuerdo a ello, un ideotipo de maíz tolerante a sequía debe poseer la capacidad de germinar en suelos con poca humedad y presentar una alta relación raíz:tallo en el estadio temprano de plántula,

La selección en ambientes con alta probabilidad de ocurrencia de estrés hídrico ha sido indicada por varios autores (Christiansen & Lewis, 1981; Blum, 1985; Ceccarelli, 1989) como un medio eficaz para lograr un aceptable nivel de tolerancia a sequía. El proceso de selección a campo tiene en cuenta determinados caracteres morfológicos que mejoran la tolerancia de los genotipos, como ser la reducción del intervalo de floración, una mayor prolificidad y un rendimiento aceptable bajo estrés. Un aspecto que puede ayudar al proceso de mejoramiento es la identificación temprana de características que indiquen si un determinado genotipo es potencialmente tolerante. El análisis de genotipos seleccionados en ambientes altamente variables y con alta probabilidad de ocurrencia de sequía, podría traer aparejado la detección de cambios en ciertas características durante la germinación y el crecimiento de plántula. Estas características podrían ser utilizadas posteriormente como criterios de selección adicionales en etapas tempranas del desarrollo de la planta. Lo anterior puede brindar una alternativa a intentar caracterizar a un genotipo como tolerante basado en pruebas en ambientes controlados seguido por su evaluación a campo.

Los objetivos de este trabajo fueron a) determinar si la selección en ambientes altamente variables produjo una respuesta indirecta en la capacidad de germinar bajo estrés hídrico, y b) identificar las variables sensibles en condiciones de estrés durante la germinación y estado de plántula que estén asociadas con el rendimiento a campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico

Los ensayos se llevaron a cabo con 10 genotipos de maíz. Estos materiales corresponden a distintos ciclos de selección de medios hermanos llevados a cabo en 3 localidades de la provincia de Córdoba: Campo Escuela F.C.A. (CE), 0,11 %N, 1,24 % MO, 7,8 pH; Deán Funes (DF), 0,09 %N, 1,44 % MO, 8 pH, y Villa de Soto (ST), 0,07 %N, 0,87 % MO, 8,3 pH. Los ciclos de selección se obtuvieron a partir de una misma población original (C0); desarrollada por selección adaptativa a la zona semiárida de la provincia de Córdoba (Biasutti *et al.*, 1997a). En la localidad CE la selección se realizó tratando de minimizar posibles condiciones de estrés hídrico durante la obtención de los ciclos de selección, mediante la implementación de riegos suplementarios cuando fue necesario. En las otras dos localidades, DF y ST, sólo se aseguró la existencia de humedad adecuada para el establecimiento del cultivo, no aplicándose riegos en las etapas subsiguientes. El criterio principal de selección en cada uno de los ambientes fue el número de espigas por planta o prolificidad y el intervalo de floración: diferencia en días a 50% plantas con derrame de polen y 50% plantas con emisión de estilos. En cada ciclo y en cada ambiente se seleccionó un mínimo de 250 espigas. Se formaron mezclas balanceadas de cada ciclo de selección constituyéndose las poblaciones C1DF, C2DF; C1ST, C2ST; C1 CE y C2CE respectivamente. Se incluyeron 3 cultivares testigos, dos híbridos comerciales, M1 y M2 y una población (CIM) formada por la cruce de líneas endocriadas S1 seleccionadas por tolerancia a sequía e introducidas del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT (Biasutti *et al.*, 1997b). Para los ensayos en laboratorio y a campo se utilizó semilla proveniente de un ciclo de multiplicación extra de cada uno de los materiales, para asegurar la calidad de la semilla a emplear.

Evaluación en laboratorio

El potencial utilizado fue el de 1,5 MPa, de acuerdo con potenciales empleados eficazmente en trabajos previos (Williams *et al.*, 1967; Trapani & Geninetta, 1984; Trapani & Motto, 1984; Martiniello &

Lorenzoni, 1985). La concentración de polietilenglicol de la solución se calculó de acuerdo a Michel (1983).

Se sembraron 30 semillas por cada genotipo en bandejas plásticas, sobre papel de germinación humedecido con 30 ml de agua destilada (control) y solución PEG 1,5 MPa (estrés). Se realizaron 3 repeticiones por tratamiento de acuerdo a un diseño completamente aleatorizado. Las bandejas fueron colocadas en cámara de germinación a 20 - 30° C con 8 hs luz y 16 hs oscuridad con 100% HR. La solución, conjuntamente con el papel de germinación, fue reemplazada cada 48 hs.

A los 10 días se realizó el recuento de semillas germinadas, considerándose germinadas cuando reunían tres requisitos: 1. Longitud del ápice no menor a 5 mm, 2. Presencia de raíz primaria normal y 3. Ausencia de crecimiento anormal. Sobre las semillas germinadas se midieron las siguientes características: Porcentaje de germinación considerando las semillas germinadas sobre el total de la muestra (PG), Longitud del coleoptile (LC), Longitud Raíz Primaria (LR), Número de Raíces Secundarias (NR), Radio Radical (RR) mediante la relación (Schenk & Barber, 1979): $RR = (PFR/LR.\pi)^{1/2}$, donde: RR: Radio Radical, PFR: Peso Fresco de Raíz, LR: Longitud Raíz, Peso Fresco y Seco de Biomasa Aérea y de Biomasa Radical (PFBA, PSBA, PFBR, PSBR), Relación Biomasa Seca Radical : Biomasa Seca Aérea (R:A).

Evaluación a campo

Para conocer las relaciones entre las variables medidas en laboratorio y el rendimiento de los genotipos, se implementaron dos ensayos a campo con mezclas balanceadas por cada ciclo de selección y los testigos. Durante 1998/99 se implantaron dos ensayos: uno localizado en Villa de Soto (VS) (30,45 S; 84,45 W), altitud 515 msm y con un promedio anual de lluvias de 450 mm, y el otro en el Campo Escuela de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (CE) de la U.N.C. (31,29 S; 64,00 W), altitud 425 msm con un promedio anual de lluvias de 700 mm. A campo la precipitación ocurrida desde siembra a madurez fisiológica fue de 690 mm en el Campo Escuela y 405 mm en Villa de Soto. En el Campo Escuela, la precipitación ocurrida se complementó con riego durante todo el ciclo del cultivo cuando se juzgó necesario. En Villa de Soto, desde siembra hasta los 9 días previos al inicio de antesis, la lluvia caída fue de 255 mm. A partir de allí no se registraron precipitaciones hasta 10 días posteriores al 50% de extrusión de estilos, en total 29 días, por lo que el nivel de estrés ocurrido fue moderado o intermedio (Bolaños & Edmeades, 1993; Edmeades *et al.*,

1996). La diferencia en días entre la primera planta con emisión de polen y el 50 % de extrusión de estilos varió entre 9 y 12 días para los genotipos evaluados bajo estrés. La cantidad de agua retenida por el suelo al comienzo del periodo de estrés fue de 120 mm hasta 1,5 m de profundidad. Los materiales se dispusieron en bloques completos aleatorizados. Cada ensayo constó de parcelas de 3 surcos de 5 m de longitud, golpes a 25 cm y 0,7 m entre surcos, con 3 repeticiones. Los ensayos en cada ambiente estuvieron rodeados de 3 surcos del C0 como bordura. Las fechas de siembra fueron el 18 de noviembre en el CE y el 21 de noviembre en VS. Se recolectaron datos sobre el intervalo de floración: días entre 50% de plantas con derrame de polen y 50% de plantas con extrusión de estilos, prolificidad (sobre el surco central de cada tratamiento) y rendimiento (sobre el total de la parcela) como peso en granos por parcela ajustado a un contenido de 14% de humedad. En la toma de datos no se consideraron las plantas al inicio y al fin de cada parcela. No se fertilizó en ningún caso y las malezas fueron controladas químicamente en presiembra y en forma mecánica y manual durante el ciclo del cultivo.

Los datos experimentales fueron analizados mediante análisis de varianza, y las medias fueron separadas mediante la diferencia mínima significativa. Se calcularon los coeficientes de correlación lineal simple entre las variables medidas en condiciones controladas y las medidas en condiciones de campo.

RESULTADOS

De acuerdo a la tabla 1, el C1 DF fue el único ciclo que superó significativamente a la población original C0 ($P < 0,05$) y a los testigos en el porcentaje de germinación (PG) bajo estrés. En los ciclos obtenidos en Deán Funes y Soto el C1 presentó mayores valores de PG con respecto a los C2 en ambos sitios, aunque estas diferencias no fueron estadísticamente significativas. Estas diferencias fueron menores entre los ciclos C1 y C2 realizados en el Campo Escuela. En condiciones sin estrés, la longitud del coleoptile (LC) disminuyó significativamente en todos los ciclos efectuados con relación al C0. Bajo estrés, se observó una disminución significativa de LC en los ciclos C1 y C2 en DF y C2 en ST, con respecto al C0. Los ciclos obtenidos en DF, evalua-

Tabla 1. Porcentaje de germinación, longitud parte aérea, longitud raíz primaria y número de raíces secundarias para distintos genotipos de maíz evaluados en prueba de germinación bajo estrés osmótico (-1,5 MPa) y control en agua destilada.

Tratamientos	Porcentaje de germinación (Control)	Porcentaje de germinación bajo estrés	Longitud		Parte Aérea		Número de Raíces secundarias	
			Control	Estrés	Control	Estrés	Control	Estrés
	%	%	cm	cm	cm	cm		
<i>Ciclos de Selección</i>								
C0	98	27,78 bcd	13,41 a	1,521 a	14,82 b	3,206 abc	8,61 bc	5,052 b
C1 CE	99	25,56 bcd	11,14 bcd	1,355 abc	16,45 ab	3,116 bc	8,17 bc	5,012 b
C2CE	99	22,22 cde	11,72 b	1,452 ab	16,33ab	4,527 ab	9,60 b	4,470 b
C1 DF	98	50,00 a	9,06 e	1,253 bcd	17,61 a	3,197 abc	7,57 c	4,700 b
C2DF	98	40,00 ab	10,58d	1,163 cd	18,73 a	2,784 bc	8,10c	3,984 b
C1 ST	99	38,89 abe	10,89 bcd	1,340 abcd	16,41 ab	4,947 a	8,07 c	6,900 a
C2ST	97	32,22 bcd	10,74 bcd	1,181 cd	16,59 ab	3,220 abc	8,14c	5,123 b
<i>Testigos</i>								
CIM	98	21,11 de	10,13d	1,223 bcd	9,04 c	2,244 c	8,72 bc	4,000 b
M1	99	8,89 e	10,32d	1,110 d	10,89 c	2,550 c	11,45 a	4,700 b
M2	99	24,44 bcde	11,45 bc	1,195 cd	14,18b	3,002 be	8,12c	4,000 b
Media		29,11	10,94	1,279	15,10	3,280	8,66	4,794
CV (%)		34,57	6,67	11,113	12,22	34,11	11,59	17,34

Tratamientos seguidos por la misma letra no difieren significativamente entre sí (DMS; $P < 0,05$)

Tabla 2. Pesos secos de biomasa aérea y de biomasa radical, radio radical y relación peso seco biomasa radical: peso seco biomasa aérea para distintos genotipos de maíz evaluados en prueba de germinación bajo estrés osmótico y control en agua destilada (-1,5 MPa).

Tratamientos	Peso Seco Biomasa Aérea		Peso Seco Biomasa Radical		Radio Radical		Biomasa Seca Radical : Biomasa Seca Aérea	
	Control	Estrés	Control	Estrés	Control	Estrés	Control	Estrés
<i>Ciclos de Selección</i>	g		g					
C0	2,531 abc	0,295 b	0,162 cd	0,296 c	0,0345 c	0,187d	0,064 bc	1,003 c
C1 CE	2,713 a	0,316 b	0,170cd	0,309 c	0,0230 ef	0,193 cd	0,062 c	0,977 c
C2CE	2,624 ab	0,301 b	0,187cd	0,329 bc	0,0270 d	0,159e	0,071 bc	1,093 bc
C1 DF	2,407 cde	0,145 c	0,139d	0,161 d	0,0205 f	0,138 ef	0,057 c	1,110b
C2DF	2,659 ab	0,301 b	0,169 cd	0,289 c	0,0230 ef	0,200 bcd	0,063 bc	0,960 c
C1 ST	2,494 bcd	0,180c	0,135 d	0,189 d	0,0235 def	0,127f	0,054 c	1,050 bc
C2ST	2,564 abc	0,282 b	0,151 d	0,284 c	0,0245 de	0,183 d	0,058 c	1,007 bc
<i>Testigos</i>								
CIM	2,478 bcd	0,330 b	0,205 bc	0,324 bc	0,0390 b	0,223 b	0,082 bc	0,981 c
M1	2,249 e	0,550 a	0,330 a	0,553 a	0,0530 a	0,275 a	0,146 a	1,005 bc
M2	2,327 de	0,284 b	0,248 b	0,374 b	0,0350 bc	0,211 bc	0,106 ab	1,316a
Media	2,505	0,300	0,189	0,311	0,030	0,189	0,076	1,050
CV (%)	5,41	11,994	19,31	11,719	5,23	7,230	8,15	6,771

Tratamientos seguidos por la misma letra no difieren significativamente entre sí (DMS; P<0.05).

dos en condiciones no limitantes, mostraron una mayor longitud de raíz superando significativamente al C0, mientras que bajo estrés los ciclos no mostraron diferencias con el C0. Con respecto a NR, se destacó el alto valor mostrado por M1 sin estrés. Bajo estrés el C1ST superó a todos los demás tratamientos en forma significativa.

Se observa en la tabla 2 que no existieron mayores diferencias para peso seco de parte aérea y raíz de los ciclos realizados con respecto al C0. El radio radical disminuyó significativamente con todos los ciclos de selección evaluados en condiciones no limitantes. Bajo estrés, los ciclos realizados en CE mostraron una tendencia a disminuir el valor de RR, existiendo diferencias significativas entre el C2CEy el C0. En estas variables se destacó el testigo M1 con respecto a los otros tratamientos. Para la relación R:A, el testigo M1 superó a los ciclos de selección en condiciones sin estrés, mientras que bajo estrés el testigo M2 superó significativamente a los otros tratamientos.

En la evaluación a campo bajo estrés hídrico (ST), los ciclos realizados en los distintos ambientes mostraron progresos significativos con relación al C0 (Tabla 3). Los días a 50% de extrusión de estilos va-

riaron entre 75,3 días para CEC3 y 82,8 para el DFC3, presentando el C0 un valor de 78,8 días. Los ciclos de selección redujeron significativamente el intervalo de floración en comparación al C0, mientras que para prolificidad los C2 efectuados en DF y ST superaron significativamente al C0, no difiriendo de los cultivares testigos M1 y M2. El rendimiento fue incrementado en forma significativa al cabo de 2 ciclos de selección en cada uno de los ambientes superando significativamente al C0. En condiciones sin limitantes hídricas, el intervalo de floración no presentó cambios significativos entre los tratamientos, salvo la progenia mostrada por el testigo M1. La prolificidad no mostró cambios significativos. En rendimiento, el testigo M1 superó significativamente a los otros tratamientos. No existió correlación entre las variables medidas a laboratorio y el rendimiento a campo en condiciones con y sin estrés (Tabla 4).

DISCUSIÓN

La falta de una tendencia definida en los valores de PG demuestra que este carácter fue altamente dependiente de las condiciones ambientales en las

Tabla 3. Valores medios de Intervalo de Floración, Prolificidad y Rendimiento en ciclos de selección evaluados bajo estrés hídrico e irrigación a campo.

Tratamientos	Estrés			Irigado		
	Intervalo de Floración	Prolificidad	Rendimiento	Intervalo de Floración	Prolificidad	Rendimiento
	días	espigas/planta	q/ha	días	espigas/planta	q/ha
<i>Ciclos de selección</i>						
C0	4,33 a	0,81 c	23,87 c	2,00 ab	1,12a	43,24 f
C1 CE	3,33 b	0,89 bc	26,66 bc	2,00 ab	1,04 a	54,21 bcd
C2CE	3,00 b	0,91 abc	32,46 a	0,66 bc	1,07 a	61,40 b
C1 DF	3,00 b	0,85 bc	27,53 abc	2,00 ab	1,21 a	45,15 ef
C2DF	2,66 b	0,96 ab	31,62ab	1,30 abc	1,26 a	49,72 cdef
C1 ST	3,00 b	0,87 bc	27,59 abc	2,60 a	1,08 a	44,21 f
C2ST	3,00 b	1,02 a	31,21 ab	1,60 ab	1,08 a	52,55 cde
<i>Testigos</i>						
CIM	3,00 b	0,90 bc	26,00 bc	3,00 a	0,95 a	47,66 def
M1	3,33 b	0,90 bc	29,56 ab	-0,33 c	1,26 a	69,13 a
M2	3,33 b	0,96 ab	28,23 abc	1,30 a	0,94 a	57,12 bc
Media	3,10	0,90	28,47	1,60	1,10	52,44
CV (%)	15,08	7,04	11,04	28,8	17,3	8,39

Tratamientos seguidos por la misma letra no difieren significativamente entre si (DMS; $P < 0.05$).

cuales se realizó la selección. Los ciclos de selección realizados en un ambiente donde las variaciones climáticas fueron menores, CE, no mostraron cambios significativos con respecto al C0. Lo opuesto sucedió en DF, un ambiente caracterizado por marcadas variaciones ambientales y, en menor medida, en ST. Si bien existió una respuesta indirecta a la selección por prolificidad en el carácter PG, la falta de una tendencia definida, las variaciones entre ambientes y ciclos y, fundamentalmente, la falta de una correlación positiva con el rendimiento en condiciones de estrés, hacen que este carácter sea de poco o ningún valor en la caracterización de un genotipo como potencialmente tolerante al estrés.

Los ciclos de selección realizados en ambientes con mayores variaciones climáticas como DF y ST mostraron una disminución de la longitud del coleoptilo con respecto al C0. La tendencia de RR bajo estrés estuvo de acuerdo a lo esperado sólo para los ciclos obtenidos en CE (Vartanian, 1981; Sharp et al., 1988), pero, lo mismo que el PG, mostró ser un carácter altamente dependiente de las condiciones ambientales en las cuales se realiza la selección, al presentar variaciones entre los ambientes y entre los

ciclos realizados en un mismo ambiente. Es necesario considerar, con respecto a lo anterior, que las amplias diferencias en PG generaron cantidades de plantas por bandeja muy disímiles. Estas diferencias pudieron haber modificado la competencia por luz y agua, introduciendo un factor de variación en la densidad de individuos, lo que pudo afectar a las variables medidas, sobre todo las de biomasa. Esto último puede ser la explicación de los altos valores que mostró el testigo M1 para biomasa fresca y seca, si se tiene en cuenta que solo germinaron 3 semillas en el tratamiento bajo estrés (Tabla 1)

La tolerancia al estrés hídrico está relacionada con la partición de materia seca hacia el sistema radical de la planta, incrementando el peso relativo de raíces comparado con la parte aérea (Eghball & Maranville, 1993), y también con las variaciones ambientales específicas del sitio de selección. Esto ha inducido a recomendar la utilización de la biomasa seca radical como criterio de selección (Chloupek & Rod, 1992). De acuerdo a lo observado, la falta de correlación observada entre PSBR y el rendimiento bajo estrés hídrico indican que el carácter PSBR no puede ser empleado como un indicador temprano

Tabla 4. Coeficientes de correlación entre características medidas en germinación bajo estrés simulado y el rendimiento de ciclos de selección y cultivares testigos de maíz observado a campo bajo irrigación y bajo sequía.

Características	Rendimiento	
	Irigado	Sequía
Porcentaje de Germinación	-0,03	0,18
Longitud de Raíz Primaria	-0,15	0,05
Longitud de Tallo	-0,01	-0,29
Número de Raíces	-0,29	-0,09
Radio Radical	-0,10	0,02
Peso Seco Biomasa Radical	-0,15	0,18
Peso Seco Biomasa Aérea	0,24	0,12
Peso Seco Biomasa Radical:		
Peso Seco Biomasa Aérea	0,06	0,11

Todos los valores observados son no significativos ($P < 0,05$)

para discriminar genotipos potencialmente tolerantes. La baja variabilidad observada entre los ciclos de selección analizados dificultaría además la diferenciación de genotipos como tolerantes basados en esta característica. La falta de asociación entre ésta y las demás variables y el rendimiento a campo bajo estrés tornan a aquéllas de poco valor como criterios de selección (Trapani & Gentinetta, 1984).

La población original C0, de la que se obtuvieron los ciclos de selección en cada ambiente, fue seleccionada previamente por adaptación a la zona semiárida. En esta zona son comunes los períodos de falta de agua, aun en etapas tempranas de desarrollo de las plantas. La ganancia en los caracteres evaluados bajo estrés, a pesar que sólo se practicaron dos ciclos de selección en cada ambiente, demuestra que la selección a campo fue efectiva, corroborando lo postulado por Blum (1985) y por Christiansen & Lewis (1981) a favor de la selección indirecta bajo estrés con respecto al rendimiento. La no diferencia entre los genotipos C2 obtenidos en los distintos ambientes con respecto al rendimiento bajo estrés, puede ser atribuida a que la intensidad del estrés no fue lo suficientemente marcada para revelar estas diferencias y/o los pocos ciclos de selección realizados (Ceccarelli, 1989). El C2CE mostró un buen potencial de rendimiento, en condiciones no limitantes, comparado con los testigos M1 y M2. El menor comportamiento del testigo CIM, es atribuible a la falta de adaptación del material subtropical

a las condiciones ambientales de las zonas de experimentación.

Los cambios observados a campo entre los C2 y el C0, particularmente en la selección efectuada en CE, no se reflejaron en cambios significativos en las características de plántula examinadas en laboratorio. Es altamente probable que la selección natural haya aplicado una consistente presión de selección en el tiempo sobre los caracteres evaluados en este estudio. Consecuentemente, esta selección natural puede haber explotado la mayor parte de la variabilidad genética positiva para los caracteres de plántula evaluados en este trabajo. La misma razón fue expuesta por Bänziger *et al.* (1996), al no obtener resultados consistentes al seleccionar plántulas de maíz por su supervivencia y biomasa total bajo sequía post-emergencia. De acuerdo a Ludlow & Muchow (1990), debido a que el rendimiento es la integración de todos los factores que influyen en el crecimiento del cultivo, un carácter que influya la habilidad para el desarrollo o su supervivencia durante ciertos períodos bajo estrés hídrico puede resultar relativamente sin importancia en el contexto del ulterior desarrollo del cultivo. Sobre la base de lo observado, la evaluación temprana de genotipos de maíz por su tolerancia al estrés a través de las características evaluadas es contradictoria y no brinda una alternativa plausible a la evaluación directa a campo para tolerancia.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su gratitud al Ing. (M.Sc.) R. Rolando, Director del Laboratorio de Análisis de Semillas, F.C.A., por las facilidades brindadas; a la Dr. M. Aiazzi, Cátedra de Fisiología Vegetal, F.C.A., por la lectura crítica del manuscrito, y al CIMMYT por la cesión de parte de los materiales empleados. Este trabajo fue financiado mediante subsidios de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Córdoba

BIBLIOGRAFÍA

- Bänziger, M., G. O. Edmeades and S. Quarrie, 1996. Drought stress at seedling stage- Are there genetic solutions? pp 348-354. In Edmeades, G. O.; Bänziger, M.; Mickelson, R.H. and C.B. Peña - Valdivia (Eds.) Development drought and low nitrogen tolerant maize. CIMMYT, El Batán, México.
- Biasutti, C. A.; D. Alvarez, y M. Bianchi, 1997a. Efecto de la selección en diferentes ambientes en maíz. VI Jornadas de Investigación. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Actas. Pp 30.

- Biasutti, C. A., C. Tedin, D. A. Peiretti y M. C. Nazar, 1997b. Evaluación de agrupamientos de líneas adaptadas y no adaptadas de maíz seleccionadas por su tolerancia al estrés hídrico. VI Congreso Argentino de Maíz. Pergamino. Tomo I: 14-19.
- Bolaños, J. and G. O. Edmeades, 1993. Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. I. Responses in grain yield, biomass and radiation utilization. *Field Crop Research* 31: 233-252.
- Blum, A., 1985. Breeding crop varieties for stress environments. *CRC Critical review in plant sciences* 2 (3): 199-238.
- Ceccarelli, S., 1989. Wide adaptation: How wide?. *Euphytica* 40: 197-205.
- Chloupek, O. and J. Rod, 1992. The root system as a selection criterion. *Plant Breeding Abstracts* 62: 1337-1341.
- Christiansen, M.N. and C.F. Lewis, 1981. Plant response to water stress. In *Breeding Plants for Less Favourable Environments*, M.N. Christiansen and C.F. Lewis, eds. Wiley Interscience Publishing Co., New York, USA. Pp. 175-192.
- Edmeades, G. O., H. R. Lafitte, J. Bolaños, S. C. Chapman, M. Bänziger and J. A. Deutsch, 1994. Developing maize that tolerate drought or low nitrogen conditions. Pp 21-84. In G. O. Edmeades and J. A. Deutsch (Eds.) *Stress tolerance breeding: Maize that resists insects, drought, low nitrogen and acid soils*. CIMMYT, México, D.F. México.
- Edmeades, G. O., J. Bolaños and S. C. Chapman, 1996. Value of secondary traits in selecting for drought tolerance in tropical maize. pp. 426-432. In G.O. Edmeades, M.Bänziger, H.R. Mickelson and C.B. Peña-Valdivia (Eds.) *Development drought and low nitrogen tolerant maize*. CIMMYT, El Batán, México.
- Edmeades, G. O., J. Bolaños, H. R. Lafitte, S. Rajaram, W. Pfeiffer and R. A. Fischer, 1989. Traditional approaches to breeding for drought tolerance in cereals. pp. 27-52. In G. W. Baker (Ed.) *Drought resistance in cereals*, CAB, Wallingford, UK.
- Eghball, B. and J. W. Maranville, 1993. Root development and nitrogen influx of corn genotypes grown under combined drought and nitrogen stresses. *Agronomy Journal*. 85: 147-152.
- Gutiérrez-Rodríguez, M., R. San Miguel-Chávez and A. Larqué-Saavedra, 1998. Physiological aspects in Tuxpeño maize with improved drought tolerance. *Maydica* 43:137-141.
- Ludlow, M.M. and R.C.Muchow, 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water limited environments. *Adv. in Agronomy* 43:107-153.
- Mackay, A.D. and S.A. Barber, 1985. Soil moisture effects on root growth and phosphorus uptake by corn. *Agron. J.* 77: 519-523.
- Martiniello, P. and C. Lorenzoni, 1985. Response of maize genotypes to drought tolerance tests. *Maydica* 30: 361 - 370.
- Michel, B. E., 1983. Evaluation of the water potentials of solutions of Polyethylene Glycol 8000 both in the absence and presence of other solutes. *Plant Physiol.*, 72: 66-70.
- Otegui, M. E., 1992. Incidencia de una sequía alrededor de antesis en el cultivo de maíz. Consumo de agua, producción de materia seca y determinación de rendimiento. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Bs. As., Argentina. 93 pp.
- Schenk, M.K. and S.A. Barber, 1979. Root characteristics of corn genotypes as related to P uptake. *Agron. J.* 71: 921-924.
- Sharp, R. E.; Kuhn-Silk, W. and T. C. Hsiao, 1988. Growth of the maize primary root at low water potentials. *Plant Physiology*. 87: 50-57.
- Trapani, N. and M. Motto, 1984. Combining ability for drought tolerance tests in maize populations. *Maydica* 24: 325-334.
- Trapani, N. and E. Gentinetta, 1984. Screening of maize genotypes using drought tolerance tests. *Maydica* 29: 89-100.
- Vartanian, N., 1981. Some aspects of structural and functional modifications induced by drought in root systems. *Plant Soil*. 63: 83-92.
- Williams, T. V., R.S. Snell and J. F. Ellis, 1967. Methods of measuring drought tolerance in corn. *Crop. Sci.* 7:179-182.