

Asociación entre caracteres evaluados en estados juveniles y el rendimiento en grano de líneas de maíz en condiciones de sequía

D. A. PRESELLO¹, A. E. CÉLIZ², E. R. GUEVARA & S. G. MEIRA

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria; ²Nidera Semillas S.A.
dpresello@pergamino.inta.gov.ar

PRESELLO, D. A., A. E. CÉLIZ, E. R. GUEVARA & S. G. MEIRA. 2006. Asociación entre caracteres evaluados en estados juveniles y el rendimiento en grano de líneas de maíz en condiciones de sequía. *Rev. Fac. Agron.* 106 (1):27-36.

La identificación en estados juveniles del maíz (*Zea mays* L.) de caracteres asociados a la resistencia a sequía podría facilitar el desarrollo de germoplasma resistente. El objetivo de este trabajo fue determinar asociaciones entre la producción de biomasa en los estados de sexta hoja ligulada (V_6) y madurez fisiológica de plantas creciendo con regímenes hídricos contrastantes. Ocho líneas con diferente resistencia a sequía fueron elegidas como materiales. En 1995/96 y 1996/97, se evaluó la biomasa aérea y rendimiento en grano de las líneas cultivadas en condiciones de buena irrigación y de sequía aplicada durante el período crítico para la determinación del rendimiento. Se cuantificó el impacto de la sequía mediante la merma relativa (MR) sequía-riego ($MR = 1 - \text{media en sequía} / \text{media en riego}$). En 1997/98 y 1998/99 se evaluó, en estado de desarrollo V_6 , la producción de biomasa y el porcentaje de biomasa senescente de las mismas líneas cultivadas en condiciones de riego y sequía. Se observaron diferencias de producción de biomasa y rendimiento en grano que confirmaron la divergencia de las líneas para resistencia a sequía. En estado V_6 , hubieron diferencias entre líneas para producción de biomasa y para porcentaje de biomasa senescente en sequía. Ambas variables estuvieron positivamente correlacionadas con la MR-rendimiento observadas en 1995/96 y 1996/97 ($P < 0,05$), indicando que podría haber genes de resistencia a sequía efectivos en ambos estados y que la selección temprana mediante estos caracteres podría indirectamente mejorar el rendimiento del maíz sometido a estrés hídrico durante el período crítico de susceptibilidad.

Palabras clave: maíz, *Zea mays* (L), resistencia a sequía, biomasa, rendimiento en grano

PRESELLO, D. A., A. E. CÉLIZ, E. R. GUEVARA & S. G. MEIRA. 2006. Association among traits measured at juvenile stages and grain yield of water-stressed maize inbreds. *Rev. Fac. Agron.* 106 (1):27-36.

The identification of characters associated to drought resistance at juvenile stages of maize (*Zea mays* L.) might facilitate the development of resistant germplasm. This study was conducted to determine the association between biomass production at the six-ligulated leaf stage (V_6) and maturity of plants cropped under contrasting water regimes. Eight maize inbreds exhibiting different drought resistance were chosen as materials. In 1995/96 and 1996/97, shoot biomass and grain yield were assessed in well-watered and drought conditions. Water stress was applied at the critical period for grain yield determination. The relative reduction (RR) in these variables between drought and well-watered treatments was estimated as: $RR = 1 - \text{drought mean} / \text{well-watered mean}$. In 1997/98 and 1998/99, shoot biomass and percentage of dead biomass of the same inbreds, grown in well-watered and drought conditions, were assessed at the V_6 stage. There were differences for shoot biomass and grain yield that confirmed the differences among inbreds for drought resistance. Significant differences among inbreds were observed at the V_6 stage for shoot biomass and for percentage of visibly dead biomass in drought conditions. Biomass RR and percentage of dead biomass assessed at the V_6 stage were positively correlated with grain-yield RR observed in 1995/96 and 1996/97 ($P < 0,05$) suggesting that genes for drought resistance could be effective at both stages of development, and that early selection for these traits may cause an indirect response of grain yield of maize cropped under drought conditions occurring at the critical period of susceptibility.

Key words: maize, *Zea mays* (L), drought resistance, biomass, grain yield.

Recibido: 03/07/2003. Aceptado: 10/09/2004.

INTRODUCCIÓN

La sequía (o estrés hídrico) es uno de los factores más limitantes para la producción del maíz (*Zea mays* L.) en Argentina, con pérdidas en rendimiento estimadas para el quinquenio 1991-1995 en 1,2 millones de toneladas por año (Eyhérbide *et al.*, 1996). El estado en que el maíz presenta máxima susceptibilidad al estrés hídrico es el período de floración. Las sequías ocurridas en el período de dos semanas antes a dos semanas después de anthesis (período crítico) pueden explicar hasta el 34% de la variabilidad anual en el rendimiento en grano (Oyarzábal *et al.*, 1980).

Los efectos del estrés hídrico sobre el rendimiento del maíz pueden ser moderados mediante el uso de resistencia genética, y el mejoramiento genético del maíz en Argentina ha sido efectivo para mejorar la resistencia a sequía (Presello *et al.*, 1997). Dada la distribución heterogénea de las precipitaciones en la región maicera, la mayoría de los programas de mejoramiento realizan las evaluaciones del germoplasma experimental en un elevado número de localidades, lo que aumenta la probabilidad de que en algunos ambientes ocurran períodos de sequía que permitan seleccionar los genotipos más resistentes. Los genotipos más estables, es decir aquellos que presentan buena productividad tanto en condiciones de sequía como con buena disponibilidad hídrica, son liberados al mercado. Sin embargo, dado que no es posible predecir en qué momento y con qué intensidad ocurrirán los déficits hídricos, tampoco es posible conocer la presión de selección que se podrá aplicar durante el desarrollo del cultivar. Además, la respuesta de la selección a campo es limitada por la baja heredabilidad del rendimiento en condiciones de sequía, generalmente debida a la elevada variancia ambiental que presentan los ensayos.

Una alternativa posible para aumentar el progreso genético de la selección a campo para rendimiento en condiciones de sequía es la implantación de ensayos en regiones don-

de la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones es muy baja. En dichas condiciones se puede realizar la selección por otros caracteres correlacionados al rendimiento y con relativamente alta heredabilidad en condiciones de sequía (Bolaños & Edmeades, 1993). La resistencia a sequía también puede ser evaluada recurriendo a la simulación de estrés hídrico mediante el uso de abrigos que impidan la llegada del agua de lluvia a los cultivos (Hall *et al.*, 1984). Una de las limitantes para aplicar este método en programas de selección es la escasa superficie disponible bajo los abrigos para el elevado número de progenies que es necesario evaluar. Sin embargo, si la resistencia a sequía fuera evaluada en estados juveniles, con plantas de menor tamaño, sería posible probar más genotipos y en condiciones más homogéneas en comparación con los ensayos a campo. En este caso sería necesario disponer de variables cuantificables en estados juveniles y correlacionadas con el rendimiento en grano en condiciones de estrés hídrico. Si bien la selección mediante parámetros asociados a la resistencia a sequía en estados juveniles no es una idea nueva (Wright *et al.*, 1969; Abd Ellatif *et al.*, 1978), hay escasa información referida al cultivo de maíz (Hall *et al.*, 1984; Bänziger *et al.* 1996, Chimenti, 1997) y existe interés, particularmente en el área de mejoramiento vegetal, en determinar el potencial uso de algunos parámetros en la selección de líneas resistentes.

Los objetivos de este trabajo fueron cuantificar los efectos de la sequía sobre la producción de biomasa de líneas de maíz en estados juveniles y planta adulta y determinar posibles asociaciones entre la resistencia a sequía de las líneas en ambos estados del desarrollo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Experimento 1

Ocho líneas endocriadas de maíz, cuatro

de las cuales se habían comportado como resistentes y las otras cuatro como susceptibles a la sequía en experimentos previos realizados por nuestro grupo (Celiz *et al.*, 1995), fueron elegidas como materiales para el presente estudio (Tabla 1). En 1995/96 y 1996/97, se evaluaron las líneas en condiciones de buena irrigación (riego) y en condiciones de sequía. Los experimentos se sembraron en ambos años durante la segunda semana de septiembre en la localidad de Pergamino, Provincia de Buenos Aires, sobre un suelo Arguidol típico serie Pergamino. El diseño experimental fue de parcelas divididas con tres repeticiones. Las líneas fueron aleatorizadas como parcela mayor y el estado hídrico (riego y sequía) como parcela menor. La parcela menor estuvo constituida por dos surcos de 2,8 m separados a 0,7 m de distancia, quedando luego del raleo 28 plantas por parcela. Para evitar efectos de borde, se sembró un surco de la línea B73 a cada lado de los ensayos y no se evaluaron las dos plantas ubicadas a cada extremo de los surcos.

En el tratamiento de riego, se irrigaron las

parcelas mediante un equipo de riego por goteo durante todo el ciclo de cultivo de modo de que el estado hídrico estuviese cercano al óptimo. La irrigación del tratamiento de sequía fue igual a la del tratamiento de riego hasta cuatro semanas antes de antesis y posteriormente fue restringida para crear condiciones de estrés hídrico severo durante el período crítico de susceptibilidad. Pasado este período, se restableció la irrigación con láminas similares a aquellos aplicados al tratamiento de riego. Además, en el tratamiento de sequía se limitó el ingreso de agua de lluvia mediante un abrigo fijo de polietileno aplicado durante el período de estrés hídrico. Las dimensiones del abrigo fueron 24 m de largo, 7 m de ancho y 3,5 m de alto. Las paredes laterales permanecieron abiertas para permitir la ventilación de los ensayos y estuvieron conectadas a un dispositivo que les permitía cerrarse automáticamente ante cualquier lluvia mayor a 0,5 mm.

Se cuantificó el contenido hídrico del suelo en las parcelas de dos líneas consideradas *a priori* como resistentes (LP125R y P465) y en las de dos consideradas susceptibles

Tabla 1. Origen, tipo de grano y resistencia a la sequía de ocho líneas de maíz.

Origin, kernel type and drought resistance of eight maize inbreds.

Línea	Tipo de grano	Población de origen	Creador
<i>Líneas resistentes</i>			
2846	Flint	Compuesto II	INTA, Pergamino, Bs. As., Argentina.
P465	Flint	Variedad local (landrace)	INTA, Pergamino, Bs. As., Argentina.
LP125R	Flint	Sintética Colorado Duro	INTA, Pergamino, Bs. As., Argentina.
LP561	Flint	Sintética R4PC	INTA, Pergamino, Bs. As., Argentina.
<i>Líneas susceptibles</i>			
LP299-2	Dentado	Compuesto Dentado	INTA, Pergamino, Bs. As., Argentina.
Mo17	Dentado	(C103×187-2)C103	University of Missouri, Columbia, MO, EEUU.
B73	Dentado	Stiff Stalk Synthetic	Iowa State University, Ames, IA., EEUU.
LRRBK	Flint	(L256×línea dentada resistente a roya)×L256 ²	INTA, Pergamino, Bs. As., Argentina.

(LP299-2 y B73). En los horizontes superiores (0 a 0,37 m) se usó el método gravimétrico, se extrajeron dos muestras por parcela en el punto medio de cada horizonte (0,07 m, 0,21 m y 0,34 m) y los datos fueron ajustados por densidad aparente para obtener la humedad volumétrica. De 0,38 a 2,00 m, se utilizó una sonda de neutrones marca Troxler 103-A (Troxler Electronic, North Carolina). La sonda fue introducida al suelo a través de tubos de aluminio de 38 mm de diámetro previamente instalados en la parcela y se tomó una lectura a intervalos correspondientes al punto medio de cada horizonte (0,53 m, 0,80 m, 1,05 m, 1,25 m, 1,60 m, 1,80 m y 1,90 m) en cada fecha de muestreo. El contenido hídrico del suelo fue medido en VE (Ritchie *et al.*, 1989) y en madurez fisiológica en los dos años y durante el período de sequía (tres mediciones en 1995/96 y cuatro en 1996/97). El total de agua disponible en cada fecha de muestreo fue estimado como la suma del contenido hídrico en cada horizonte. El consumo hídrico entre dos fechas de muestreo fue calculado como la diferencia en contenido hídrico del suelo en ambos momentos, descontando los aportes de agua de riego o lluvias (precipitación efectiva) ocurridas en dicho período.

Se examinaron cuatro plantas por parcela cada dos días para determinar la fecha de madurez fisiológica (i.e., el momento en que los granos habían alcanzado el estado de capa negra en el 50% de las espigas muestreadas). En madurez fisiológica, se obtuvieron muestras de la parte aérea de 10 plantas, las que se secaron a 60 °C y se determinó la biomasa aérea total y de grano de cada planta, para luego calcular el índice de cosecha como el peso seco de grano dividido por el peso seco de la parte aérea. El rendimiento en grano fue estimado sobre la base del peso seco de los granos de todas las plantas de cada parcela y expresado en t.ha⁻¹.

El nivel de resistencia a sequía de las líneas fue cuantificado mediante la producción de biomasa (biomasa aérea y rendimiento en grano) en sequía y mediante la merma relati-

va sequía-riego, $MR = 1 - \mu_s / \mu_r$; donde, μ_s es la media en condiciones de sequía y μ_r es la media en condiciones de riego, de ambas variables. De acuerdo a Muñoz Orozco (1990), la resistencia a sequía (R) de un genotipo puede ser descripta mediante el modelo $R = G + G \times S$, el componente G está relacionado a los genes que confieren buena productividad y que pueden expresarse tanto en condiciones de buena irrigación como en sequía, mientras que $G \times S$ (interacción genotipo \times estado hídrico) está relacionado a aquellos factores genéticos que ayudan a mantener a las plantas en buen estado hídrico y aumentar la productividad en condiciones de sequía, pero no necesariamente en condiciones de buena irrigación. Entonces, mientras los efectos asociados a la productividad en sequía son la resultante de la contribución de los componentes G y $G \times S$, los efectos estimados mediante el déficit relativo sequía-riego son atribuibles al componente $G \times S$, ya que dependen de la proporción entre las medias observadas en condiciones de buena irrigación y sequía.

Experimento 2

Durante 1997/98 y 1998/99, se evaluaron las líneas por su resistencia a sequía en estadios juveniles bajo el abrigo de polietileno descrito para el Experimento 1. Previamente a la siembra de los ensayos, se establecieron cultivos de trigo a alta densidad para reducir el contenido hídrico del suelo; el trigo fue cortado y retirado durante el mes de agosto. En ambos años, durante la segunda semana de septiembre, se roturó el suelo, se instaló un equipo de riego por goteo con mangas distanciadas a 0,50 m y picos de riego distanciados a 0,35 m y se sembraron los ensayos. El experimento consistió de dos ensayos, uno en condiciones de buena irrigación (riego) y otro en condiciones de sequía. En ambos ensayos, los tratamientos fueron las mismas líneas endocriadas utilizadas en el Experimento 1. El diseño experimental fue el de bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones. Las unidades experimentales estuvieron

constituidas por 18 plantas distribuidas alrededor de 3 picos de goteo. En cada pico hubieron 6 plantas sembradas en forma equidistante de modo que entre ellas se formaba un hexágono de 20 cm de lado con centro en el pico. El ensayo conducido en condiciones de buena irrigación se regó sin limitantes hasta el estado de desarrollo V_6 (Ritchie *et al.*, 1989) momento en el cual se cortaron las plantas a nivel de la base del tallo, se secaron a 60 °C y se pesaron. El ensayo conducido en condiciones de sequía se regó a capacidad de campo hasta el estado V_3 , luego de lo cual los riegos fueron muy escasos (5 mm por riego) y se aplicaron solo cuando el cultivo mostraba síntomas de falta de recuperación de turgencia en observaciones realizadas a las 8 a.m. Finalmente, se aplicó un riego a capacidad de campo cuando la mayor parte de las plantas había alcanzado el estado V_6 y luego de 4 días las plantas fueron cortadas en la base del tallo y se separaron las partes visualmente secas (biomasa senescente) de las partes aún verdes, las que fueron secadas a 60 °C y pesadas.

Con los valores de biomasa aérea total se calcularon las mermas relativas sequía-riego de producción de biomasa (MR-biomasa = 1- biomasa parcela en sequía / biomasa promedio de la línea en riego) y los porcentajes de biomasa senescente (materia seca senescente / materia seca de la parte aérea \times 100) en condiciones de sequía. Ambas variables fueron consideradas como estimadores de la resistencia a sequía en las líneas y fueron combinadas para formar un índice. El índice de resistencia a sequía de cada línea se calculó como: $\frac{1}{2}$ (MR-biomasa / MR-biomasa promedio de las 8 líneas + porcentaje biomasa senescente / porcentaje de biomasa senescente promedio de las 8 líneas). Se calcularon los coeficientes de correlación lineal de Pearson (r) de las variables evaluadas en V_6 y del índice de resistencia a sequía en V_6 con la MR-rendimiento estimadas en 1995/96 y 1996/97 para luego calcular los correspondientes coeficientes de determinación (r^2) y así cuan-

tificar el grado en que la variabilidad para resistencia a sequía observada en experimentos realizados en estados juveniles explicó la variabilidad para resistencia a sequía ocurrido durante el período crítico de susceptibilidad a este estrés.

En los Experimentos 1 y 2, los efectos de línea, estado hídrico y sus interacciones fueron considerados fijos, mientras que los efectos de año, repeticiones dentro de año y sus interacciones fueron considerados aleatorios. Previamente a la realización de los análisis de variancia, se probaron los supuestos de normalidad, aditividad y homogeneidad de errores de acuerdo a los métodos descritos por Reza Hoshmand (1994). Las diferencias entre medias y el significado estadístico de los coeficientes de correlación fueron probados mediante la pruebas *t* a un nivel de probabilidad de 0,05.

RESULTADOS

Experimento 1

Las diferencias de consumo hídrico entre los tratamientos de riego y sequía fueron significativas en todas las mediciones realizadas durante el período de sequía y madurez fisiológica (Figura 1) y no hubo diferencias entre líneas ni efectos de interacción línea \times estado hídrico significativos (resultados no mostrados). El consumo hídrico acumulado promedio para las cuatro líneas fue en 1995/96, de 622 mm en condiciones de riego y de 388 mm en condiciones de sequía y en 1996/97, de 572 mm en condiciones de riego y de 289 mm en condiciones de sequía. Las diferencias de consumo observadas entre los tratamientos de riego y sequía indican que las líneas estuvieron sometidas a estrés durante el período crítico para la determinación del rendimiento, dos semanas antes y después de antesis (Figura 1), y que el estrés ocurrió en diferentes momentos en cada año. En 1995/96, la sequía ya era evidente en preantesis y se prolongó hasta pasado el período crítico, mientras que

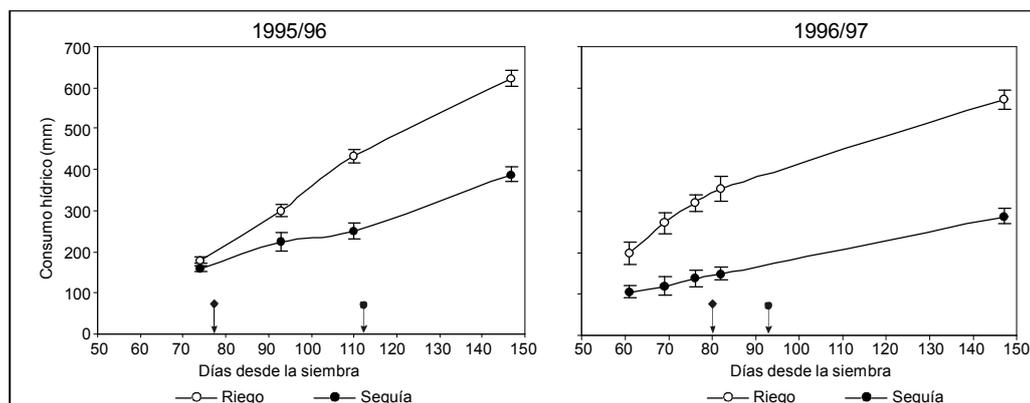


Figura 1. Consumo hídrico promedio de cuatro líneas de maíz cultivadas en condiciones de buena disponibilidad hídrica (riego) y de estrés hídrico (sequía) durante dos años. Las diferencias de consumo entre riego y sequía fueron significativas en todas las fechas de medición ($P < 0,05$). Las barras indican las desviaciones standard de la media en cada momento de medición.

↓ = fecha promedio de antesis en el tratamiento de sequía.

↓ = fin del periodo de sequía.

Average water consumption of four maize inbreds grown in well-watered (riego) and drought (sequía) conditions in two years. Differences of average water consumption between well-watered and drought conditions were significant for all dates ($P < 0.05$). The arrows indicate mid-anthesis. Bars indicate standard deviation of the mean at each measurement time.

↓ = mid-silking in the drought treatment. ↓ = end of stress.

Tabla 2. Materia seca, rendimiento en grano e índice de cosecha de ocho líneas de maíz cultivadas en condiciones de buena irrigación y sequía.

Shoot biomass, grain yield and harvest index of eight maize inbreds cropped in well-watered and drought conditions.

Línea	Materia seca †		Rendimiento de materia seca en grano				Índice de cosecha					
	1995/96		1996/97		1995/96		1996/97		1995/96		1996/97	
	Peso en sequía	MR‡	Peso en sequía	MR	Peso en sequía	MR	Peso en sequía	MR	Riego	Sequía	Riego	Sequía
	(mg / planta)		(mg / planta)		(t / ha)		(t / ha)					
<i>Líneas resistentes</i>												
2846	105	0,28	118	0,21	2,8	0,22	3,8	0,18	0,39	0,44	0,47	0,44
P465	92	0,26	165	0,22	2,1	0,18	3,7	0,36	0,32	0,37	0,40	0,32 *
LP125R	104	0,19	100	0,24	2,9	0,07	2,7	0,32	0,39	0,43	0,44	0,38
LP561	128	0,13	151	0,21	3,7	0,13	3,8	0,32	0,45	0,44	0,43	0,37
<i>Líneas susceptibles</i>												
LP299-2	79	0,30	112	0,31	2,6	0,33	2,9	0,50	0,55	0,52	0,52	0,37 *
Mo17	88	0,30	76	0,44	2,2	0,45	1,4	0,69	0,49	0,46	0,50	0,23 *
B73	111	0,39	98	0,57	2,9	0,46	1,6	0,79	0,46	0,45	0,50	0,22 *
LRRbk	60	0,39	69	0,50	1,3	0,48	1,7	0,58	0,41	0,34	0,42	0,32 *
DMS§	30	0,19	26	0,22	0,8	0,23	1,1	0,18		0,07		0,07

† solamente se consideró la parte aérea. ‡ MR = 1 - media en sequía / media en riego. § diferencia mínima significativa a un nivel de probabilidad de 0,05 (prueba t). * diferencias entre índices de cosecha en riego y sequía significativa a un nivel de probabilidad 0,05.

† shoot biomass. ‡ MR = 1 - drought mean / well-watered mean. § least significant difference at a probability level of 0,05 (test t).

* harvest indexes in well-watered and drought conditions different at a probability level of 0,05.

en 1996/97, la sequía había comenzado antes del período crítico y se prolongó durante el resto del mismo (Figura 1).

Las interacciones año x línea y año x estado hídrico fueron significativas para biomasa total y para rendimiento en grano, por lo que los experimentos fueron analizados separadamente dentro de año. La interacción línea x estado hídrico fue significativa en ambos años y para ambas variables (resultados no mostrados), sugiriendo que las líneas incluidas en este experimento presentan diferente respuesta a la sequía. En 1995/96, la sequía parece no haber afectado la partición de biomasa y todas las líneas presentaron similares índices de cosecha independientemente del estado hídrico en que fueron evaluadas. En 1996/97, con condiciones de estrés más severo, la sequía afectó la partición

de biomasa sólo en las cuatro líneas susceptibles y en P465, las que presentaron menor índice de cosecha en sequía que en riego (Tabla 2).

Se detectaron diferencias entre líneas tanto para biomasa aérea y rendimiento en grano en condiciones de sequía como para las mermas relativas sequía-riego de ambas variables (Tabla 2). Las cuatro líneas resistentes a la sequía (2846, P465, LP125R y LP561), tendieron a mostrar en ambos años bajas mermas relativas sequía-riego en comparación con las líneas susceptibles (Tabla 2). Dentro de este grupo de cuatro líneas, LP299-2 fue la menos susceptible, con valores de productividad en sequía y mermas relativas sequía-riego similares a aquellos en las líneas más resistentes. Por otro lado, Mo17, B73 y LRR-bk se mostraron como genotipos altamente

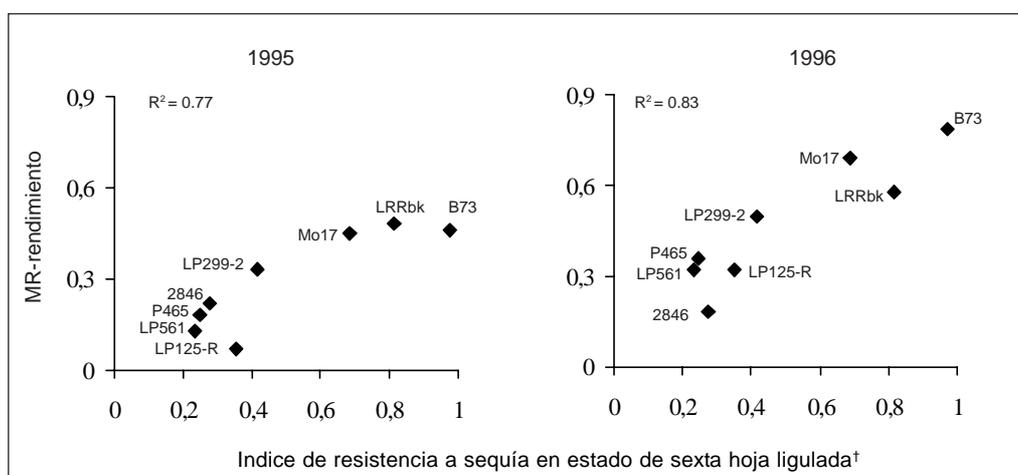


Figura 2. Asociación entre un índice de resistencia a sequía basado en caracteres evaluados en estado de sexta hoja ligulada y el déficit relativo sequía-riego ($MR = 1 - \text{rendimiento en sequía} / \text{rendimiento con buena irrigación}$) en ocho líneas de maíz.

† Índice = $\frac{1}{2}$ (merma relativa biomasa / merma relativa biomasa promedio + porcentaje biomasa senescente / porcentaje de biomasa senescente promedio).

Association between an index of drought resistance based on traits assessed at the sixth-ligulated leaf stage and grain yield relative reduction ($RR = 1 - \text{grain yield in drought conditions} / \text{grain yield in well-watered conditions}$) in eight maize inbreds.

† Index = $\frac{1}{2}$ (biomass relative reduction / average biomass + dead biomass percentage / average of dead biomass percentage).

Tabla 3. Merma relativa sequía-riego de biomasa (MR) y porcentaje de biomasa senescente en condiciones de sequía en ocho líneas de maíz evaluadas en condiciones de buena irrigación y sequía en el estado de sexta hoja ligulada.

Biomass relative reduction (RR) and percentage of dead biomass in drought conditions of eight maize inbreds assessed in well-watered and drought conditions at sixth-ligulated leaf stage.

Línea	MR-biomasa [†] §	Biomasa senescente en sequía [†] § (%)
<i>Líneas resistentes</i>		
2846	0,40 a	3,5 a
P465	0,32 a	4,1 a
LP125R	0,39 a	7,3 a
LP561	0,28 a	4,3 a
<i>Líneas susceptibles</i>		
LP299-2	0,61 b	5,2 a
Mo17	0,70 b	15,6 b
B73	0,69 b	29,2 d
LRRbk	0,61 b	23,7 c

[†] MR-biomasa = 1 – biomasa en sequía / biomasa en riego; [‡] biomasa visiblemente senescente / biomasa de la parte aérea; [§] medias seguidas por distintas letras son diferentes a un nivel de probabilidad de 0,05.

susceptibles, particularmente en 1996/97, con menor productividad en sequía y mayores déficits relativos sequía-riego que cualquiera de las cuatro líneas elegidas como resistentes (Tabla 2).

Experimento 2

Tanto para MR-biomasa como para porcentaje de biomasa senescente en estado V_6 , todas los efectos de interacción con años fueron no significativos, por lo que los resultados fueron analizados como promedio de ambos años. Las líneas resistentes presentaron menor MR-biomasa que las líneas susceptibles y no se detectaron diferencias entre líneas dentro de cada grupo (Tabla 3). Las cuatro líneas resistentes y LP299-2 presentaron bajos porcentajes de biomasa senescente y estos fueron menores que los exhibidos por las otras tres líneas susceptibles (Tabla 3).

Tanto la MR-biomasa como el porcentaje de biomasa senescente en estado V_6 estuvieron positivamente correlacionados ($P < 0,05$) con la MR-rendimiento estimado en el Experimento 1 ($r = 0,86$ y $0,88$ para MR-biomasa con MR-rendimiento en 1995/96 y 1996/97,

respectivamente y $r = 0,80$ y $0,84$ para porcentaje de biomasa senescente en sequía y MR-rendimiento en 1995/96 y 1996/97, respectivamente) lo que indica que estos caracteres podrían ser utilizados en la selección por resistencia a sequía. Además, el coeficiente de correlación entre los dos caracteres evaluados en estado V_6 fue positivo ($r = 0,75$), indicando la ausencia de antagonismos entre los mismos, lo que daría lugar a la elaboración de un índice para seleccionar ambos caracteres simultáneamente (Figura 2).

DISCUSIÓN

Las diferencias entre líneas observadas tanto para producción de biomasa y rendimiento en condiciones de sequía como para las MR sequía-riego de ambas variables, son consistentes con resultados anteriores (Celiz *et al.*, 1995) e indican que entre las líneas evaluadas existe variabilidad para resistencia a sequía cuando el estrés hídrico es aplicado durante el periodo crítico de susceptibilidad. Los dos parámetros evaluados en estado V_6 , MR-

biomasa y porcentaje de biomasa senescente en sequía, presentaron valores contrastantes para la mayoría de las líneas evaluadas *a priori* como resistentes o susceptibles. La resistencia a sequía en las líneas, estimada mediante ambas variables en el estado V_6 , estuvo asociada a la resistencia a sequía en planta adulta, cuando el estrés hídrico es aplicado durante el período crítico, lo que indica que podría haber genes de resistencia a sequía efectivos en ambos estados del desarrollo. Otros autores han informado sobre la existencia de variabilidad intraespecífica para resistencia a sequía en estados juveniles. Wright & Jordan (1969) encontraron diferencias en resistencia a sequía entre plántulas de *Eragrostis curvula* Nees, que estuvieron asociadas con diferencias de resistencia a sequía observadas en planta adulta. Abd Ellatif *et al.* (1978) detectaron variabilidad para la resistencia a sequía en estados juveniles en *Sorghum bicolor* L. Moench. Chimenti (1997) detectó diferencias entre líneas de maíz en el crecimiento de plántulas en polietilenglicol, las que estuvieron asociadas con la capacidad de ajuste osmótico de las líneas en estado adulto. Por otro lado, Hall *et al.* (1984) no encontraron asociación entre parámetros fisiológicos asociados a la resistencia a sequía en estado de plántula (pérdida de clorofila en condiciones de estrés térmico, resistencia a la pérdida intercelular de electrolitos, acumulación de prolina en condiciones de desecación) y el rendimiento relativo de genotipos de maíz cultivados en condiciones de riego y sequía. Bäsinger *et al.* (1996) realizaron selección divergente en progenies S_1 por supervivencia en condiciones de sequía severa a campo en estados juveniles e informaron escaso progreso genético, que entre otras causas estuvo asociado a la baja heredabilidad para el carácter.

Los resultados de este estudio indican que tanto la MR-biomasa como el porcentaje de biomasa senescente en estado V_6 podrían ser utilizados como parámetros de selección por resistencia a sequía en estados juveniles para mejorar el rendimiento en condiciones de es-

trés hídrico ocurrido durante el período crítico de susceptibilidad. Dada la ausencia de efectos antagónicos entre ambas variables, estas podrían ser seleccionadas por separado o mediante la elaboración de un índice de selección sin que la selección por una variable cause efectos negativos sobre la otra. Ambas variables pueden ser mediadas de una manera sencilla y a un costo relativamente bajo, lo que es un requisito necesario en programas de mejoramiento genético por resistencia a sequía en los que se evaluarán grandes muestras de progenies para identificar genotipos superiores. Si bien el diseño experimental no permite estimar la variancia aditiva para calcular la heredabilidad (variancia aditiva / variancia fenotípica), el adecuado control ambiental que es posible lograr bajo abrigos en estados juveniles podría reducir el denominador de la ecuación permitiendo que la selección sea efectiva. Deberían realizarse nuevos experimentos para estimar tanto la importancia relativa de los efectos genéticos relacionados a las variables como el método de mejoramiento más adecuado para maximizar el aprovechamiento de la variabilidad disponible entre estos genotipos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a A. Cirilo, M.P. Alvarez y A. R. Schlatter, I.N.T.A., Estación Experimental Pergamino, por la revisión del manuscrito y a E. Maiola, de la misma estación experimental, por la corrección del «summary». El trabajo fue financiado con fondos provistos por I.N.T.A. a través del Proyecto 80:1028.

REFERENCIAS

- Abd Ellatif, M. N., D. E. Weibel & G. W. Todd. 1978. Effect of repeated drought periods on the survival of sorghum seedlings. *Agronomy Journal* 70: 509-510.
- Bänziger, M., G. O. Edemades & S. Quarrie.

1996. Drought stress at seedling stage. Are there genetic solutions. *En: Proceeding of the symposium Developing Drought- and Low N-Tolerant Maize*. Edmeades, G.O., M. Bäsinger, H. R. Mickelson, C. B. Peña Valdivia, C.B. Ed. CIMMYT, El Batán, México. pp. 348-354.
- Bolaños, J. & G. O. Edmeades.** 1993. Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. I: Responses in yield, biomass and radiation utilization. *Field Crop Research*. 31: 233-252.
- Céliz, A. E., D. A. Presello & E. R. Guevara.** 1995. Comportamiento de líneas endocriadas de maíz bajo condiciones de stress hídrico. III reunión latinoamericana y XVI reunión de la zona andina de investigadores en maíz. CIMMYT. Cochabamba-Bolivia. pp. 67-84.
- Chimenti, C.** 1997. Crecimiento de plántulas de maíz bajo condiciones de estrés hídrico: Su relación con la capacidad de ajuste osmótico. *En: VII Congreso Nacional de Maíz*. Pergamino, Argentina, Noviembre 1997. AIANBA. pp III: 243-248.
- Eyhérabide, G. H., E. R. Guevara & L. Totis de Zeljkovich.** 1996. Efecto del estrés hídrico sobre el rendimiento del maíz en Argentina. *En: Proceeding of the symposium Developing Drought- and Low N- Tolerant Maize*. Edmeades, G.O., M. Bäsinger, H. R. Mickelson, C. B. Peña Valdivia, C.B. Ed. CIMMYT, El Batán, México. pp. 24-28.
- Hall, A. J., C. Chimenti, N. Trapani, F. Vilella & R.C. Hunau.** 1984. Yield in water stressed maize genotypes: association with traits measured in seedling and flowering plants. *Field Crop Research*. 9: 41-57.
- Muñoz Orozco, O. A.** 1990. Modelo matemático I para evaluar la resistencia a sequía, casos 1 a 6. *Evolución Biológica* 4: 93-106.
- Oyarzábal, E., C. M. Rebella & E. Frutos.** 1980. Influencia del clima sobre la producción de maíz del partido de Pergamino. *En: II Congreso Nacional de Maíz*, AIANBA, Pergamino, Buenos Aires, Argentina. pp. 201-210.
- Presello, D. A., A. E. Céliz, S. G. Meira & E. R. Guevara.** 1997. Comportamiento de híbridos de maíz liberados en diferentes épocas en condiciones de riego y sequía simulada. *In: VII Congreso Nacional de Maíz*. AIANBA. Pergamino, Argentina, Noviembre 1997. pp I: 46-53
- Reza Hoshmand, A.** 1994. Experimental research design and analysis. A practical approach for agricultural and natural sciences. C.R.C. Press Inc. Boca Raton. pp. 15-41.
- Ritchie, S. W., J. J. Hanway & G. O. Benson.** 1989. How a corn plant develops. Special Report No. 48. Iowa State University of Science and Cooperative Extension Service. Ames, Iowa.
- Wright, L. N. & G. L. Jordan.** 1969. Artificial selection for seedling drought tolerance in boer lovegrass (*Eragrostis curvula* Nees). *Crop Science*. 10: 99-102.