

MODIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS EN MAÍZ TROPICAL POR EFECTO DE SELECCIÓN BAJO ESTRÉS HÍDRICO

MODIFICATION OF AGRONOMIC TRAITS IN TROPICAL MAIZE BY EFFECT OF SELECTION UNDER DROUGHT STRESS

Juan Arnoldo Rincón Tuexi¹, Sergio Castro Nava^{1*}, José Alberto López Santillán², Florencio Briones Encinia², Joaquín Ortiz Cereceres³ y Alfredo J. Huerta⁴

¹Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma de Tamaulipas. 87149, Cd. Victoria, Tam, México. Tel. y Fax 01 (834) 318-1721 Ext. 2125. ²Programa de Recursos Genéticos y Productividad. Colegio de Postgraduados. 56230, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. ⁴Botany Dep., Miami University. 45056, Oxford, Ohio, USA. *Autor para correspondencia (scastro@uat.edu.mx)

RESUMEN

Se determinaron los cambios en características agronómicas derivados de la selección para tolerancia al estrés hídrico en las poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) 'Tuxpeño Sequía Ciclo 0' (TS0), 'Compuesto Iguale Sequía Ciclo 4' (CIS4) y sus ciclos avanzados 'TS Ciclo 8' (TS8) y 'CIS Ciclo 6' (CIS6) respectivamente. Se evaluaron en campo bajo condiciones de riego y de humedad restringida, en el municipio de Güemez, Tam., México. La condición de riego consistió en suministrar agua para mantener el suelo cerca de la capacidad de campo, y la condición de humedad restringida consistió en suspender el riego desde la etapa fenológica de hoja bandera hasta la madurez fisiológica. Se cuantificó: biomasa aérea de la planta (BA) a madurez fisiológica, rendimiento de grano (RG), número de granos por mazorca (NG), peso individual de grano (PIG), asincronía floral (ASI), días a madurez fisiológica (DMF), periodo de llenado de grano (PLLG) e índice de cosecha (IC). Los ciclos avanzados TS8 y CIS6 tuvieron mayor RG que las poblaciones originales (21.8 % y 18.2 % respectivamente) sin modificación de la BA, lo que resultó en un incremento en el IC. El incremento en RG fue resultado de los cambios ocurridos en el PIG en TS8 (23 %) y del NG en CIS6 (18 %). Se concluye que los ciclos avanzados de las poblaciones estudiadas presentaron cambios positivos en características agronómicas, derivados del proceso de selección.

Palabras clave: *Zea mays*, estrés hídrico, selección, rendimiento de grano.

SUMMARY

The objective of this study was to determine the effects on agronomic traits for improvement of drought tolerance in maize (*Zea mays* L.). The tropical maize populations Tuxpeño Sequía 'Cycle 0' (TS0) and 'Compuesto Iguale Sequía Cycle 4' (CIS4) and their advanced cycles 'TS Cycle 8' (TS8) and 'CIS Cycle 6' (CIS6) were evaluated in the field under restricted moisture and irrigated conditions, at Güemez, Tam., México. The two irrigation treatments consisted of either maintaining the soil well-watered up to near field capacity throughout the growth season, or suspending irrigation from the flag leaf stage until physiological maturity. Variables measured were: biomass accumulation on plant aerial organs (BA) at crop maturity, grain yield (RG), number of grains per ear (NG), individual grain weight (PIG), anthesis-silking interval (ASI), days to crop maturity (DMF), grain filling period (PLLG), and harvest index (IC). The results indicated that the advanced cycles TS8 and CIS6 showed greater RG (21.8 % and 18.2 % respectively) compared to their parent populations, but BA was not modified, thus resulting in an increased IC. The increase in RG was a result of changes in the components PIG in TS8 (23 %), and in NG in CIS6 (18 %). It is concluded that the advanced selection cycles of these maize populations showed positive changes in agronomic traits in response to selection for tolerance to drought stress.

Index words: *Zea mays*, drought stress, selection, grain yield.

INTRODUCCIÓN

El fitomejoramiento es una estrategia utilizada para incrementar el rendimiento económico en los cultivos. El criterio de selección más utilizado es el rendimiento de grano, con el que se han desarrollado muchos cultivares bajo condiciones ambientales óptimas (Ortiz *et al.*, 1985); sin embargo, esto no siempre es lo adecuado para áreas de temporal o secano con restricciones de humedad, como es el caso de Tamaulipas, donde 86 % de la superficie sembrada con maíz (*Zea mays* L.) presenta este problema (INEGI, 2006).

Un periodo de sequía durante la vida de las plantas puede ocasionar reducción en el rendimiento de grano (Betran *et al.*, 2003), sobre todo si ocurre durante la floración y el llenado de grano (Bruce *et al.*, 2002). También se puede reducir la producción de biomasa (Bänziger *et al.*, 2000), en forma proporcional a la reducción del rendimiento de grano (Bolaños y Edmeades, 1993). La reducción del rendimiento de grano está asociado con una disminución del peso individual del grano (Westgate, 1994), del número de granos por mazorca (Schussler y Westgate, 1994) o de ambos (Ne Smith y Ritchie, 1992). La magnitud de la reducción depende de la intensidad y duración del estrés hídrico y de la etapa fenológica en la que se presente (Cakir, 2004). Una alternativa para que la disminución del rendimiento de grano no sea significativa, es el uso de cultivares con características de tolerancia a estas condiciones.

Para desarrollar genotipos de maíz tolerantes a estrés hídrico, se debe tomar en cuenta el germoplasma a utilizar, la metodología de mejoramiento genético, el ambiente en el que se hará la selección y el criterio de selección. El programa de mejoramiento deberá realizarse bajo las condiciones específicas en las que se utilizará el cultivar mejorado (Rajaram *et al.*, 1996), y agregar otros criterios de selección y evaluación. El objetivo de este trabajo fue determinar los cambios en características agronómicas, derivados de la selección para tolerancia al estrés hídrico en ciclos de selección avanzados de las poblaciones de maíz 'Tuxpeño-Sequía' y 'Compuesto Iguala Sequía', en el Estado de Tamaulipas, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron cuatro poblaciones de maíz tropical formadas para siembras en condiciones de estrés hídrico: la población 'Tuxpeño-Sequía' (TS0) y su ciclo ocho de selección bajo sequía (TS8), ambas del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), más los ciclos de selección cuatro (CIS4) y seis (CIS6) del 'Compuesto Iguala Sequía' formados en el Campo Experimental de Iguala, Gro., del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (CEIGUA-INIFAP). La metodología de selección en la población TS0 fue descrita por Bolaños y Edmeades (1993) y la de los Compuestos Iguala Sequía por Cantú (1997) (Com. personal)¹.

El experimento se estableció el 19 de Julio del 2001 en el municipio de Güemez, Tam. (23° 56' 26" LN, 99° 05' 59" LO, altitud de 193 m, temperatura media anual de 23.8 °C y precipitación anual de 721 mm) en condiciones de riego y humedad restringida, considerados como ambientes de prueba; el ambiente de riego consistió en suministrar agua para mantener al suelo cerca de capacidad de campo, lo cual se logró con un riego de presembrado y dos riegos de auxilio (12 de julio, 21 de agosto y 15 de octubre, respectivamente); en el ambiente de humedad restringida sólo se aplicó el riego de presembrado y el primer riego de auxilio.

Se usó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, con arreglo en parcelas divididas; la parcela grande correspondió a los ambientes de humedad y las parcelas chicas a las poblaciones. La unidad experimental consistió de dos surcos de 5 x 0.80 m; la densidad de población fue de 50 000 plantas ha⁻¹.

En cada unidad experimental se evaluaron las variables: 1) Biomasa aérea (BA) por planta (g/planta) en tres

plantas con competencia completa; 2) Rendimiento de grano (RG) por planta (g/planta) en las mismas tres plantas con competencia completa antes descritas; 3) Número de granos por mazorca (NG), mediante el producto número de hileras por mazorca x número de granos por hilera; 4) Peso individual de grano (g) (PIG), en una muestra de 100 granos tomados al azar de cada mazorca; 5) Índice de cosecha (IC), calculado mediante la fórmula $IC = RG/BA$; 6) Asincronía floral (ASI), calculada como el intervalo entre los días a floración masculina media (FM) y la floración femenina media (FF); 7) Días a madurez fisiológica (DMF), estimada por los días transcurridos desde la emergencia hasta la aparición de la capa negra en el grano; 8) Periodo de llenado de grano (PLLG), como los días transcurridos desde FF a DMF.

Se hicieron análisis de varianza por variable de acuerdo al diseño experimental usado, y contrastes ortogonales entre las poblaciones TS0 y TS8 y las poblaciones CIS4 y CIS6. Para la comparación de promedios entre ambientes se utilizó la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el factor ambientes sólo se detectaron diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) en las variables periodo de llenado de grano y días a madurez fisiológica (Cuadro 1). La ausencia de diferencias estadísticas entre ambientes en el resto de las variables se debe a que llovió en las etapas inicial e intermedia del periodo de llenado de grano, condición que no permitió una suficiente disminución de humedad en el ambiente de riego restringido. El periodo de llenado de grano se redujo en promedio, 3 d al pasar de la condición de riego a la de humedad restringida (Cuadro 2), lo que coincide con lo reportado por Yang *et al.* (2002).

La interacción ambiente x población sólo tuvo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la variable días a madurez fisiológica (Cuadro 1); las poblaciones CIS6 y TS0 alcanzaron la madurez 2 y 3 d antes en el ambiente de humedad restringida que en el ambiente sin restricción de humedad; las poblaciones mejoradas alcanzaron la madurez fisiológica al mismo tiempo en los dos ambientes de prueba. Es decir, la baja disponibilidad de humedad al final del periodo de llenado de grano provocó acortamiento de esta etapa en sólo dos de las poblaciones probadas, lo que muestra la variabilidad que existe en la respuesta de las poblaciones de maíz al ambiente de humedad restringida. Esta respuesta no se observó en el rendimiento de grano y sus componentes, debido a que la restricción de humedad se presentó en la etapa final del periodo de llenado de grano.

¹ M A Cantú A (1997) Resistencia a sequía en maíz tropical. Aspectos fisiológicos y de mejoramiento genético. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México.

Cuadro 1. Cuadrados medios del factor ambientes (A), del factor poblaciones (P) y de la interacción A x P de las variables estudiadas. Güemez, Tam., México. 2001

| FV | gl | RG | NG | PIG | ASI | DMF | PLLG | IC | BA |
|--------|----|--------|----------|---------|--------|---------|--------|---------|----------|
| A | 1 | 8.3 | 242.0 | 0.001 | 0.50 | 9.03** | 42.8** | 0.0001 | 67.6 |
| P | 3 | 993.1* | 8620.0** | 0.006** | 4.13** | 24.86** | 32.3** | 0.012** | 2020.1** |
| A x P | 3 | 64.0 | 2200.7 | 0.0002 | 0.17 | 3.86* | 4.9 | 0.0007 | 46.3 |
| Error | 18 | 289.6 | 1596.1 | 0.0006 | 0.53 | 0.48 | 4.4 | 0.0015 | 344.3 |
| CV (%) | | 16.3 | 10.2 | 8.88 | 29.00 | 0.78 | 5.6 | 8.60 | 8.0 |

* $\alpha \leq 0.05$; ** $\alpha \leq 0.01$; FV= Fuentes de variación; gl= Grados de libertad; RG= Rendimiento de grano por planta; NG= Número de granos por mazorca; PIG = Peso individual de grano; ASI= A sincronía floral; DMF= Días a madurez fisiológica; PLLG= Periodo de llenado de grano; IC= Índice de cosecha; BA= Biomasa aérea.

Cuadro 2. Efecto de la selección para tolerancia a estrés hídrico sobre el periodo de llenado de grano (PLLG) y los días a madurez fisiológica (DMF) de poblaciones avanzadas de maíz tropical bajo riego y humedad restringida. Güemez, Tam., México. 2001.

| Población | Ambiente | |
|-----------------|---|---------------------|
| | Riego | Humedad restringida |
| | Periodo de llenado de grano (días) | |
| CIS 4 | 38 | 34 |
| CIS 6 | 41 | 38 |
| TS 0 | 38 | 34 |
| TS 8 | 39 | 38 |
| Promedio | 39 a | 36 b |
| | Días a madurez fisiológica | |
| CIS 4 | 86 | 86 |
| CIS 6 | 88 | 86 |
| TS 0 | 90 | 87 |
| TS 8 | 90 | 90 |
| Promedio | 89 a | 87 b |

Promedios con letras diferentes entre ambientes son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

La población CIS6 superó en 18.2 % de rendimiento de grano por planta a la población original CIS4 (9.1 % por ciclo) y la población TS8 en 21.8 % a la TS0 (2.73 % por ciclo) (Cuadro 3). Posiblemente en la primera población existía mayor variabilidad genética para rendimiento de grano que permitió una mayor ganancia genética por ciclo de selección que en la población TS0. El incremento del rendimiento de grano en la población TS8 se asoció con un incremento en el peso individual de grano (23 %), mien-

tras que el incremento en la población CIS6 se asoció con un aumento en el número de granos por mazorca (18 %). Las dos generaciones avanzadas presentaron una menor asincronía floral respecto a las poblaciones originales, característica importante bajo condiciones de restricción de humedad, según Bolaños y Edmeades (1993), Chapman y Edmeades (1999) y Edmeades *et al.* (1999).

El aumento en el rendimiento de grano debido al mejoramiento genético, estuvo acompañado de un aumento ($P \leq 0.05$) en los días a madurez fisiológica en ambas poblaciones, como también señalaron Ortíz *et al.* (1985). Sin embargo, contrario a lo observado en otros trabajos (Bänziger *et al.* (1999), la selección practicada en el presente trabajo no provocó una mayor acumulación de biomasa aérea (Cuadro 3). El aumento en el rendimiento de grano sin cambiar la acumulación de biomasa aérea en las poblaciones avanzadas, dio como resultado un índice de cosecha de 15 y 11.4 % mayor en TS8 y CSI6 sobre las poblaciones originales TS0 y CIS4, respectivamente, lo que demuestra una mayor eficiencia de las plantas seleccionadas hacia la formación de grano.

La selección para tolerancia a sequía provocó un aumento en el rendimiento de grano de las poblaciones seleccionadas, tanto en condiciones de humedad restrictiva como no restrictiva; también aumentó la eficiencia de la planta para producir grano, al elevar el índice de cosecha, similar a lo señalado por Bolaños y Edmeades (1993) y Chapman y Edmeades (1999).

Cuadro 3. Efecto de la selección para tolerancia a estrés hídrico sobre las variables estudiadas en riego y humedad restringida de poblaciones avanzadas de maíz tropical. Güemez, Tam., México. 2001.

| Variable | CIS 4 | vs. | CIS 6 | TS 0 | vs. | TS 8 |
|---------------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|
| RG (g/planta) | 94.8 | * | 112.1 | 95.4 | * | 16.2 |
| NG | 349 | ** | 411 | 424 | ns | 385 |
| PIG (g) | 0.29 | ns | 0.29 | 0.24 | ** | 0.30 |
| DMF (días) | 86 | ** | 87 | 89 | ** | 90 |
| PLLG (días) | 36 | ** | 40 | 36 | * | 39 |
| IC | 0.44 | ** | 0.49 | 0.40 | ** | 0.46 |
| BA (g/planta) | 212.8 | ns | 224.6 | 236.0 | ns | 249.9 |

ns = no significativo; * $\alpha \leq 0.05$; ** $\alpha \leq 0.01$; RG = Rendimiento de grano por planta; NG = Número de granos por mazorca; PIG = Peso individual de grano; ASI = Asincronía floral; DMF = Días a madurez fisiológica; PLLG = Periodo de llenado de grano; IC = Índice de cosecha; BA = Biomasa aérea

CONCLUSIONES

Los ciclos de selección avanzados de las poblaciones ‘Tuxpeño-Sequía’ y ‘Compuesto Iguala Sequía’ presentaron cambios positivos en características agronómicas como rendimiento de grano, periodo de llenado de grano y asincronía floral. La selección mejoró la eficiencia de la planta para acumular biomasa en el grano, sin modificar el peso de la biomasa aérea total. El incremento en el rendimiento de grano fue resultado del aumento en el peso del grano en una de las poblaciones, y del aumento en el número de granos por mazorca en la otra.

AGRADECIMIENTOS

Al CIMMYT y al Dr. Miguel Ángel Cantú Almaguer, investigador del INIFAP-CEIGUA, por la aportación del material genético evaluado en la presente investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Bänziger M, G O Edmeades, D Beck, M Bellon (2000) Breeding for Drought and Nitrogen Stress Tolerance in Maize: From Theory to Practice. CIMMYT, México. 68 p.
- Bänziger M, G O Edmeades, H R Lafitte (1999) Selection for drought tolerance increases maize yields across a range of nitrogen levels. *Crop Sci.* 39: 1035-1040.
- Betran F J, D Beck, M Bänziger and G O Edmeades (2003) Genetic analysis of inbred and hybrid grain yield under water stress and nonstress environments in tropical maize. *Crop Sci.* 43:807-817.
- Bolaños J, 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 Crops Res.* 31:233-252.
- Bruce W B, G O Edmeades, T C Barker (2002) Molecular and physiological approaches to maize improvement for drought tolerance. *J. Exp. Bot.* 53:13-25.
- Cakir R (2004) Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Res.* 89:1-16.
- Chapman S C, G O Edmeades (1999) Selection improves drought tolerance in tropical maize populations. II. Direct and correlated responses among secondary traits. *Crop Sci.* 39:1315-1324.
- Edmeades G O, J Bolaños, S C Chapman, H R Lafitte, M Bänziger (1999) Selection improves drought tolerance in tropical maize populations. I. Gains in biomass, grain yield, and harvest index. *Crop Sci.* 39:1306-1315.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Información, INEGI (2006) Compendios Estadísticos Regionales. CD <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/español/sistemas/cer/default.asp> (22 Noviembre 2006).
- Ne Smith D S, J T Ritchie (1992) Maize (*Zea mays* L.) response to a severe soil water-deficit during grain filling. *Field Crops Res.* 29:23-35.
- Ortiz C J, L E Mendoza O y V A González H (1985) La fisiotecnia en la formación de arquetipos vegetales. *Ciencia y Desarrollo* 60:115-120.
- Rajaram S, B Hans-Joachim and M Van Ginkel (1996) CIMMYT's approach to breed for drought tolerance. *Euphytica* 92:147-153.
- SAS Institute, Inc (2000) SAS User's Guide. Release 8.1. ed. SAS Institute, Inc. Cary, NC.
- Schussler J R, M E Westgate (1994) Increasing assimilate reserves does not prevent kernel abortion at low water potential in maize. *Crop Sci.* 34:1569-1576.
- Westgate M E (1994) Water status and development of the maize endosperm and embryo during drought. *Crop Sci.* 34:76-83.
- Yang J, J Zhang, L Liu, Z Wang, Q Zhu, (2002) Carbon remobilization and grain filling in japonica/indica hybrid rice subjected to postanthesis water deficits. *Agron. J.* 94:102-109.