

RENDIMIENTO DEL MAÍZ DE TEMPORAL Y SU RELACIÓN CON LA PUDRICIÓN DE MAZORCA*

GRAIN YIELD OF MAIZE GENOTYPES UNDER RAINFED CONDITIONS AND THEIR RELATION TO EAR ROT

Andrés González Huerta^{1§}, Luis Miguel Vázquez García¹, Jaime Sahagún Castellanos², Juan Enrique Rodríguez Pérez² y Delfina de Jesús Pérez López¹

¹Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México. Apartado Postal 435, Km 15 carretera Toluca-Ixtlahuaca, Entronque al Cerrillo. 50200 Toluca, Estado de México, México. ²Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. [§]Autor para correspondencia: agh@uaemex.mx

RESUMEN

En el Valle Toluca-Atlacomulco, Estado de México, México, se cultivan 250 000 ha con maíz, principalmente con criollos de las razas adaptadas a esta región. En el presente estudio se evaluó la susceptibilidad de 25 genotipos de maíz a la pudrición de mazorca causada por *Fusarium spp.* y su relación con días a floración femenina, acame y rendimiento de grano. Los genotipos fueron evaluados en campo durante 2004 en tres localidades bajo condiciones de temporal e infección natural de la enfermedad, bajo un diseño de bloques completos al azar y cuatro repeticiones por localidad. El análisis de datos se efectuó como una serie de experimentos. Las diferencias entre variedades e híbridos y entre Palomero Toluqueño y Cacahuacintle con Cónico y Chalqueño explicaron el mayor porcentaje de variación entre genotipos para las cuatro características mencionadas. La variedad Ixtlahuaca (testigo) fue más tardía que Palomero Toluqueño y más precoz que los otros genotipos; presentó porcentajes de acame y pudrición de mazorca inferiores a Palomero Toluqueño, Cacahuacintle y Chalqueño; sin embargo, el acame fue superior al de los híbridos de otras razas. Ixtlahuaca obtuvo mayor rendimiento que Palomero y Cacahuacintle, pero fue superada por Chalqueño, por híbridos Cónico-Chalqueño y los de otras razas como AS-722, Cónico y H-40. El análisis genotipo x característica indicó que Palomero Toluqueño fue más precoz y de menor rendimiento. Cacahuacintle, la más susceptible al acame

y pudrición de mazorca causada por *Fusarium*. Cónico y Chalqueño tuvieron mayor resistencia al acame y pudrición de mazorca y mayor rendimiento que Palomero Toluqueño y Cacahuacintle. Los híbridos comerciales Cónico, H-33, H-40, H-44 y H-90E mostraron mayor rendimiento y baja pudrición de mazorca; ésta se correlacionó positivamente con el acame y ambas características se correlacionaron negativamente con rendimiento.

Palabras clave: *Fusarium graminearum*, *Fusarium moniliforme*, *Zea mays* L., análisis genotipo x característica, razas de Valles Altos.

ABSTRACT

At the Toluca-Atlacomulco Valley, in the State of Mexico, Mexico, 250 000 ha of maize are annually sown mainly with landraces belonging to races adapted to this highland region. The objectives of this study were to evaluate the susceptibility of 25 maize genotypes to *Fusarium spp.* and to determine its relationship with days to female flowering, stalk and root lodging, ear-rot and grain yield. The genotypes were grown during 2004 at three locations under natural disease incidence in a randomized complete block design with four replications. The analysis of the data gathered across

* Recibido: Octubre de 2005
Aceptado: Enero de 2007

environments was performed as a series of experiments. The differences between hybrids and landraces and between Palomero Toluqueño and Cacahuacintle with Cónico and Chalqueño races explained most of the variability found among genotypes for the evaluated traits. The Ixtlahuaca landrace (control) showed a delayed flowering than Palomero Toluqueño and was earlier than other genotypes. Ixtlahuaca had lower stalk and root lodging and ear-rot percent than Palomero Toluqueño, Cacahuacintle, and Chalqueño; however, its stalk and root lodging percent was higher than that of hybrids of other races. Ixtlahuaca outyielded Palomero Toluqueño and Cacahuacintle, but was outyielded by Chalqueño, Cónico-Chalqueño hybrids, and hybrids of other races such as AS-722, Cóndor, and H-40. The genotype by-trait analysis indicated that Palomero Toluqueño was the earliest and lowest grain yielder race. Cacahuacintle was the most susceptible to stalk and root lodging and to ear-rot caused by *Fusarium* spp. Cónico and Chalqueño races were more resistant to stalk and root lodging and ear-rot, and outyielded Palomero Toluqueño and Cacahuacintle. As a group, the hybrids Cóndor, H-33, H-40, H-44, and H-90E showed high grain yield and low ear-rot percent. Ear-rot was positively correlated with stalk and root lodging and both traits were negatively correlated with grain yield.

Keywords: *Fusarium moniliforme*, *Fusarium graminearum*, *Zea mays* L., genotype by trait analysis, highland maize races.

INTRODUCCIÓN

La incidencia de enfermedades de la mazorca del maíz está relacionada con la susceptibilidad intrínseca del genotipo, el manejo agronómico y las condiciones ambientales a las que se exponen durante su desarrollo. Las especies de *Fusarium*, como *F. moniliforme* Sheld y *F. graminearum* Schw, causan pudrición de tallo y mazorca, tienen amplia distribución y son endémicas en todas las regiones productoras de maíz del mundo (Mendoza *et al.*, 2003). La identificación de genotipos de maíz resistentes a pudrición de tallo y mazorca podría ser de gran utilidad para el manejo eficiente y económico de esta enfermedad. Payak y Sharma (1985) estimaron que la pérdida de rendimiento que causan las enfermedades del maíz a nivel mundial se encuentra en 7 y 17%, mientras que en México oscila entre 7.5 y 38.0% (Castañón y Latournerie, 2004; Morán *et al.*, 1993). En los Valles

Altos Centrales de México se siembran variedades criollas de maíz adaptadas a esta región pero que son susceptibles al acame de tallo y raíz (Wellhausen *et al.*, 1951) con incidencia del 19 y 69% (Morán *et al.*, 1993; Morales *et al.*, 2005). Además, se ha observado que el acame incrementa la incidencia de pudrición de mazorca y por consiguiente puede reducir el rendimiento de grano (Niño *et al.*, 1998; González y Larios, 1993).

En el Valle Toluca-Atlacomulco, se siembran 250 000 ha de maíz y 87% de los agricultores no utilizan semilla certificada, por lo que el rendimiento fluctúa entre 2.5 y 6.5 t ha⁻¹. Se han reportado hasta 12.0 t ha⁻¹ con el uso de híbridos de líneas genética y geográficamente diferentes (Vasal *et al.*, 1996; Niño *et al.*, 1998). El conocimiento del origen geográfico y genético, así como de la diversidad fenotípica de los materiales que se siembran en una región ha sido de gran ayuda para definir mejores estrategias para su mejoramiento genético, pero no siempre se dispone de esta información; en ocasiones porque se incluyen genotipos desconocidos y en el caso de los híbridos, existen políticas de privacidad en las empresas comercializadoras de semillas que no permiten hacer público este tipo de información. Para atender este problema es conveniente incluir en los ensayos de rendimiento algunos genotipos con genealogía conocida, para que por medio de técnicas multivariadas, como el análisis genotipo x característica propuesto por Sánchez (1995), se pueda determinar su diversidad fenotípica y relaciones de parentesco.

En la literatura especializada no existe información consistente sobre el material genético considerado en el presente estudio, Cónico, Chalqueño, Cacahuacintle y Palomero Toluqueño, particularmente sobre antecedentes de su potencial productivo, raza a la que pertenecen, relaciones de parentesco, y su resistencia al acame y pudrición de mazorca causada por *Fusarium*. De contarse con esa información, los híbridos que se desarrollaron con germoplasma de los Valles Altos, podrían haber sido más productivos y con mayor resistencia al acame y a enfermedades de la mazorca que los materiales criollos. Los objetivos de la investigación fueron 1) evaluar 25 genotipos de maíz respecto a las siguientes características: resistencia a la pudrición de mazorca causada por *Fusarium* y su relación con la floración femenina, acame y rendimiento de grano, 2) determinar cuál o cuáles de las características separan los grupos definidos y qué relación existe entre ellas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio experimental

El estudio se realizó en 2004 en las localidades El Cerrillo Piedras Blancas, Metepec y Jocotitlán, situadas en el Valle Toluca-Atlacomulco, Estado de México, México. Metepec está situado a 19°13' N, 99°35' O, a 2606 msnm, su clima es templado húmedo, con precipitación media anual de 980 mm y predomina el suelo andosol, El Cerrillo está localizado a 19°17' N, 99°39' O, a 2640 msnm, clima templado húmedo, predomina el suelo Vertisol con precipitación media anual de 790 mm, Jocotitlán se localiza a 19°42' N, 99°43' O, a 2553 msnm, clima templado seco, presenta suelo Planosol Mólico y precipitación media anual de 669 mm (García, 1988).

Material genético

Con base en las características del material genético, la información disponible en la literatura especializada y los resultados de los análisis estadísticos, a los 25 genotipos (12 criollos y 13 híbridos), se les asignó un número de referencia y fueron clasificados en cinco grupos: Palomero Toluqueño (22); Cacahuacintle (4, 5, 6, 7, 8 y 9); Cónico [San Lucas (23) e Ixtlahuaca (20)] y Chalqueño [Chalqueño (11), ETA 13 (12) y Negro (21)], que podrían pertenecer a las razas de maíz descritas por Wellhausen *et al.* (1951); el quinto grupo se formó con los 13 híbridos de las razas Cónico-Chalqueño, como H-33 (14), H-44 (15) y H-90E (17), e híbridos de otras razas como AS-721 (1), AS-722 (2), AS-820 (3), Cándor (10), Gavilán (13), H-40 (14), HIT-3 (18), HIT-7 (19), VS-46E (24) y Z-60 (25), que podrían contener germoplasma complejo de clima templado de Valles Altos de México y de otros países, como líneas de Cónico-Chalqueño y del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). La variedad Ixtlahuaca, de la raza Cónico (Nava y Mejía, 2002), fue empleada en este estudio como testigo ya que es de grano cremoso, presenta ciclo intermedio-precoc, rendimiento de 3.5-7.1 t ha⁻¹, y se adapta a siembras de temporal y también ha sido empleada como testigo en ensayos de variedades e híbridos liberados desde los 80's en el Valle Toluca-Atlacomulco (Niño *et al.*, 1998; Nava *et al.*, 2000). Cacahuacintle 5 fue descrita por González *et al.* (2006), mientras que H-33 y H-40 fueron caracterizados por Gámez *et al.* (1996) y Velásquez *et al.* (2005), respectivamente.

Diseño y tamaño de la parcela experimental

Los 25 genotipos fueron evaluados en campo bajo condiciones de infección natural de los hongos causantes de la pudrición de mazorca en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones en cada localidad. El análisis de la información de las tres localidades se efectuó como una serie de experimentos. La parcela experimental constó de tres surcos de 6.0 x 0.80 m; cada surco tuvo 11 matas distanciadas 0.60 m y en cada una se establecieron tres plantas. La hilera central de cada parcela se consideró como unidad experimental útil.

Manejo agronómico

La siembra manual de los tres experimentos se realizó el 7 (Jocotitlán), 14 (Metepec) y 26 (Cerrillo) de abril de 2004, después del inicio de la temporada de lluvias. La fertilización se realizó con 140 kg ha⁻¹ Nitrógeno, 80 kg ha⁻¹ Fósforo y 30 kg ha⁻¹ Potasio (140N-80P-30K): se aplicó 50% de nitrógeno y la totalidad de fósforo y potasio en la siembra y el nitrógeno restante se incorporó al suelo con la segunda labor cultural. Se sembraron 62 500 plantas ha⁻¹. La maleza se controló en forma mecánica y química; para el control químico se aplicó 1.0 L y 1.0 kg de 2,4-D amina y atrazina, respectivamente, ambos disueltos en 200 L de agua. La cosecha se efectuó después que los 25 genotipos alcanzaron la madurez fisiológica.

Características determinadas

Las características evaluadas fueron: floración femenina DFF (determinada como el número de días transcurridos desde la siembra hasta que 50% de las plantas presentaron estigmas visibles), acame de tallo y raíz ACM (número de plantas que presentaron tallos rotos o una inclinación de 30° o más a partir de la perpendicular en la base de la planta; su promedio se expresó en porcentaje), pudrición de mazorca PM (se determinó como el porcentaje de granos dañados de cada una de las mazorcas causado por especies de *Fusarium* como *F. moniliforme* Sheld. y *F. graminearum* Schw.) y rendimiento de grano RGH. Los datos se ajustaron por plantas faltantes y los rendimientos se extrapolaron a t ha⁻¹. El daño causado por pudrición de mazorca se determinó visualmente con base en las guías de campo elaboradas por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (De León, 1984; CIMMYT, 1995); en una escala del 1 al 5, con la siguiente equivalencia: 1= 0% de granos infectados, 2= 10% de granos infectados, 3= 20% de granos infectados,

4= 30% de granos infectados y, 5= 40% o más de granos infectados. La identificación del agente causal de esta enfermedad se realizó en el laboratorio de fitopatología del Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX) empleando la técnica descrita por Nelson (1992), cultivado en cámara húmeda, en un medio de papa-dextrosa-agar y por microscopía aplicada a mazorcas infectadas provenientes de los experimentos.

Análisis estadístico

De acuerdo con los procedimientos experimentales descritos por Martínez (1988), a las características cuantificadas se les aplicó un análisis de varianza con contrastes entre grupos de genotipos y comparación de medias entre la variedad Ixtlahuaca (testigo) y el resto de los genotipos, con la prueba de diferencia mínima significativa ($\alpha \leq 0.01$). El análisis genotipo x característica se realizó según la técnica del 'biplot' descrita por Sánchez (1995). En el análisis de varianza combinado, la suma de cuadrados de genotipos se dividió en los cinco contrastes mutuamente ortogonales que se describen a continuación: contraste 1= variedades *versus* híbridos; contraste 2= Palomero Toluqueño (PT) y Cacahuacintle (CCC) *versus* Cónico (C) y Chalqueño (CH); contraste 3= PT *versus* CCC; contraste 4= C *versus* CH, y contraste 5= híbridos C - CH *versus* híbridos de otras razas. El método biplot para el análisis genotipo x característica es una técnica multivariada exploratoria para el estudio de la estructura de una matriz de datos compuesta de unidades taxonómicas (arregladas en hileras) y los valores de las características que los describen (arregladas en columnas). Su propósito es reemplazar los análisis individuales en los que los dos primeros componentes principales se usan para representar genotipos, variables o cuadros de coeficientes de correlación. La representación gráfica del biplot permite determinar si existen patrones entre las unidades taxonómicas (genotipos) como resultado de los valores de las características y cuáles separan a los grupos definidos y la relación entre las variables consideradas en el análisis (Sánchez, 1995).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza y localidades de evaluación

Se detectaron diferencias significativas entre localidades (L), genotipos (G) e interacción GxL para floración

femenina, acame, pudrición de mazorca y rendimiento de grano (Cuadro 1). Estos resultados indican que existe heterogeneidad ambiental entre las tres localidades relacionadas con clima y suelo; también sugieren que existen diferencias entre genotipos relacionados con su origen geográfico y genético que podrían aplicarse en el mejoramiento genético de estas características, sin embargo la interacción GxL detectada podría dificultar la identificación de genotipos superiores. García (1988) y Niño *et al.* (1998) analizaron la heterogeneidad ambiental de este Valle, la cual está relacionada principalmente con diferencias en altitud, precipitación pluvial, temperatura y suelo predominante. A esta heterogeneidad se le atribuyen la diferencia de resultados obtenidos en las localidades de Metepec y Jocotitlán con respecto de El Cerrillo (Cuadro 2). No obstante las diferencias en altitud, precipitación y clima, tipo de suelo fue el factor que determinó la diferencia entre las tres localidades. En El Cerrillo predomina suelo Vertisol, que presenta problemas de drenaje en el periodo de máxima precipitación, (julio-septiembre), esto contribuyó a que se registraran los mayores promedios para acame (38.0%) y pudrición de mazorca (9%); por lo tanto se obtuvo el más bajo rendimiento de grano (4.95 t ha^{-1}) en comparación con Metepec y Jocotitlán, donde predominan suelos con mejor drenaje, Andosol y Planosol Mólico, respectivamente.

Los cinco contrastes mutuamente ortogonales analizados fueron altamente significativos para las cuatro características evaluadas; sin embargo, los resultados mostraron que el mayor porcentaje de la suma de cuadrados de genotipos (entre 33 y 93%) se explicó principalmente por las diferencias que existieron entre variedades e híbridos (contraste 1) y entre los criollos de las cuatro razas (contraste 2) de Valles Altos (Cuadro 1). Los resultados sugieren que esta variabilidad podría aplicarse en un programa de mejoramiento genético, pero la interacción GxL significativa que se detectó, sugiere que al menos uno de ellos tuvo mejor adaptación a una localidad específica, lo que dificulta la identificación de genotipos de alto rendimiento, estabilidad (Rodríguez *et al.*, 2002), y resistentes al acame y a pudrición de mazorca.

Análisis genotipo x característica

La representación gráfica del análisis biplot mostró que las componentes principales 1 (67.4%) y 2 (18.2%) explicaron 87.6% de la suma de cuadrados de las cuatro variables originales. Los días a floración femenina y rendimiento de grano mostraron interacción negativa con el componente principal 1, mientras que acame y pudrición de mazorca

Cuadro 1. Cuadrados medios para cuatro características cuantificadas en 25 genotipos de maíz establecidos en 2004 en tres localidades del Estado de México.

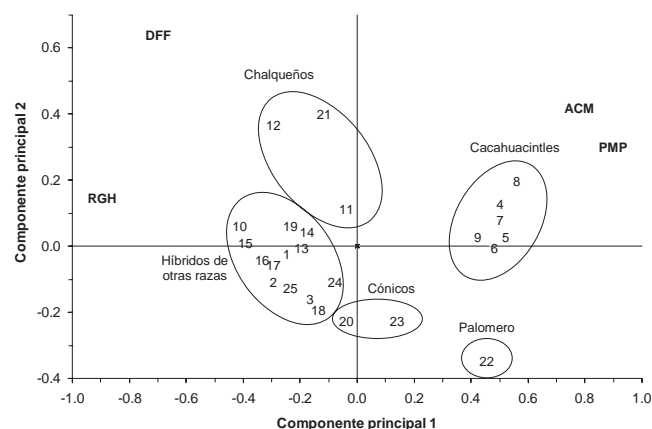
Fuente de variación	G. L.	DFF (días)		ACM (%)		PMP (%)		RGH (t ha ⁻¹)	
Localidades (L)	2	245.5**		1761.6**		257.7**		229.41**	
Repeticiones/L	9	13.0		78.6		14.0		1.05	
Genotipos (G)	24	257.8**		3878.9**		430.0**		22.14**	
Contraste 1	1	1160.6**	18.75†	75487.3**	81.08	4331.8**	41.96	157.43**	29.61
Contraste 2	1	899.2**	14.53	1353.8**	1.45	4572.6**	44.30	235.76**	44.35
Contraste 3	1	498.5**	8.05	1089.4**	1.17	907.2**	8.78	6.07**	1.14
Contraste 4	1	2051.2**	33.14	1561.0**	1.67	97.3**	0.94	16.84**	3.16
Contraste 5	1	68.5**	1.10	7360.2**	7.90	83.8**	0.81	49.32**	9.27
Interacción GxL	48	14.9**		221.8**		18.1*		1.33**	
Error combinado	216	3.6		63.8		11.8		0.70	
Media		102.2		33.2		8.0		6.69	
C. V. (%)		1.9		24.0		42.8		12.50	

DFF= días a floración femenina; ACM= porcentaje de acame; PM= porcentaje de mazorcas podridas; RG= rendimiento de grano; contraste 1= variedades *versus* híbridos; contraste 2= Palomero Toluqueño (PT) y Cacahuacintle (CCC) *versus* Cónico (C) y Chalqueño (CH); contraste 3= PT *versus* CCC; contraste 4= C *versus* CH; contraste 5= híbridos C-CH *versus* híbridos de otras razas; †= Porcentaje de la suma de cuadrados de genotipos explicada por cada uno de los cinco contrastes mutuamente ortogonales.

Cuadro 2. Comparación de medias entre localidades para cuatro características registradas en 25 genotipos de maíz evaluados en 2004 en el Valle Toluca-Atacomulco, Estado de México, México.

Localidad	Floración femenina (días)	Acame (%)	Pudrición de mazorca (%)	Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)
El Cerrillo Piedras Blancas	102.06	37.98	8.92	4.95
Metepec	99.08	31.87	8.94	7.48
Jocotitlán	99.73	29.94	6.15	7.65
DMS ($\alpha=0.01$)	0.69	2.93	1.26	0.30

(PMP) positiva. Las cuatro variables tuvieron interacción positiva con el componente principal 2. Estos resultados muestran dos grupos de variables independientes: 1) se identificó a las que dependen del desarrollo reproductivo (DFF) y (RGH) y 2) las que están asociadas a las dimensiones de la planta (ACM y PMP). Estos resultados sugieren que el mejoramiento genético orientado hacia el rendimiento de grano a través de selección en las cuatro razas permitió desarrollar variedades de alto rendimiento y mayor ciclo vegetativo, aunque susceptibles al acame y a pudrición de mazorca causada por *Fusarium* spp. Los resultados sugieren también que el mejoramiento genético ha contribuido a la formación de híbridos de alto rendimiento de grano, de ciclo intermedio a tardío y altamente resistentes al acame y a la pudrición de mazorca (Figura 1). El análisis de laboratorio efectuado a mazorcas infectadas en campo indicó que los agentes causales de esta enfermedad fueron *Fusarium oxysporium*, *F. moniliforme*, *F. graminearum* y *F. poae*.

**Figura 1. Representación gráfica del biplot entre las dos primeras componentes principales del análisis genotipo x característica. Cada uno de los 25 genotipos se identifica con el número que aparece en el Cuadro 3.**

Con relación a los genotipos, el resultado del biplot (Figura 1) mostró una clara diferencia entre variedades e híbridos, resultado que también fue detectado con el contraste 1 del análisis de varianza combinado. El biplot también permitió detectar cinco grupos de genotipos: el grupo 1 se formó con las seis poblaciones de Cacahuacintle colectadas en el Valle de Toluca que presentaron los mayores porcentajes de acame y pudrición de mazorca (Cuadro 3). El grano blanco, harinoso y grande que caracteriza a esta raza se usa en la elaboración de pozole, harinas, tamales y pinole; la mazorca inmadura (elote) de excelente calidad, se consume como hortaliza. En el Estado de México se cultiva principalmente en los municipios de Calimaya, Toluca, Capultitlán, Metepec, San Mateo Atenco y Tenango del Valle. Esta raza fue progenitora de Cónico, el maíz predominante en el Valle de Toluca-Atlacomulco, así como de Chalqueño y Cónico Norteño (Wellhausen *et al.*, 1951).

El grupo 2 estuvo constituido sólo por Palomero Toluqueño, maíz reventador con menor rendimiento de grano y mayor precocidad (Cuadro 3). Esta raza se caracteriza por presentar pequeñas dimensiones de mazorca y grano, utilizado en la obtención de aceite, para alimento de aves y ganado y elaboración de palomitas y otras confituras (Wellhausen *et al.*, 1951; Romero *et al.*, 2006); predominante en el Valle de Toluca, hoy se encuentra en peligro de extinción, debido a que se utiliza principalmente en la resiembra (Romero *et al.*, 2006). Su influencia se ha detectado en: Cónico-Palomero Toluqueño en el norte y centro de Puebla, Chalqueño en Tlaxcala, Cónico Norteño en Querétaro, Chalqueño Pepitilla en Michoacán, Cónico Norteño-Chalqueño y Celaya-Cónico en Guanajuato (McClintock *et al.*, 1981).

En el grupo 3 se identificó a las variedades de la raza Cónico (Ixtlahuaca y San Lucas), caracterizadas por presentar ciclo vegetativo intermedio, mayor tolerancia al acame y a la pudrición de mazorca y mayor rendimiento que Palomero Toluqueño y Cacahuacintle. Ixtlahuaca y San Lucas fueron colectadas en los municipios de Ixtlahuaca y Metepec respectivamente, donde predomina ampliamente la raza Cónico (Wellhausen *et al.*, 1951). Nava y Mejía (2002) clasificaron a la variedad Ixtlahuaca en la raza Cónico.

El grupo 4 se formó con variedades de la raza Chalqueño (Chalqueño, ETA 13 y Negro), que mostraron mayor número de días a floración femenina y un rendimiento alto que los criollos de otras razas. Cónico y Chalqueño predominan en los Valles Altos del Centro de México, 3.5 millones de hectáreas en los estados de Hidalgo, México, Puebla, y

Tlaxcala, donde se utilizan para siembras de temporal y punta de riego, respectivamente. Ambas razas están relacionadas genéticamente. Los progenitores de Cónico fueron Palomero Toluqueño y Cacahuacintle, mientras que los Chalqueños fueron Cónico y Tuxpeño (Wellhausen *et al.*, 1951). Chalqueño fue colectada en el área Chalco-Amecameca y ETA-13 y Negro lo fueron en Jocotitlán y Jiquipilco. Herrera *et al.* (2002) determinaron que la diversidad de esta raza es compleja y que puede dividirse en: Chalqueño cremoso, elotes Chalqueños y Chalqueño; los dos primeros grupos se encuentran en la región Chalco-Amecameca-Juchitepec, y el tercero en regiones aledañas a la anterior en el Estado de México y en Guanajuato, Michoacán, Hidalgo, Puebla y Tlaxcala (Wellhausen *et al.*, 1951).

En el grupo 5 se identificó a 13 híbridos, tres de éstos de las razas Cónico-Chalqueño y diez formados con germoplasma complejo de otras razas, que presentaron los menores porcentajes de acame y pudrición de mazorca. Los híbridos HIT-3 y HIT-7 están constituidos por tres y dos líneas del CIMMYT, respectivamente, y comparten la misma hembra. Por su parte H-40 está constituido por dos líneas endogámicas del CIMMYT y una línea del INIFAP (Velásquez *et al.*, 2005). En este grupo se incluyeron los híbridos de mayor rendimiento, como AS-722, Cóndor, H-33, H-40, H-44 y H-90E, que produjeron entre 7.76 y 9.04 t ha⁻¹ (Cuadro 3). Estos resultados sugieren que los progenitores del resto de los híbridos de este grupo podrían ser líneas del CIMMYT, derivadas de compuestos de amplia base genética con origen racial complejo, y/o de las razas Cónico-Chalqueño.

Es posible incrementar el rendimiento del maíz en el Valle de Toluca por medio del mejoramiento genético de variedades e híbridos de ciclo intermedio a tardío resistentes al acame y a la pudrición de mazorca causada por *Fusarium*. La introducción de variedades de grano harinoso y reventador permitirían incrementar la diversidad genética y reducir el acame y la pudrición de mazorca que se presentan en las razas Cacahuacintle y Palomero Toluqueño, debido a que, desde el clásico trabajo de razas de maíz en México publicado por Wellhausen *et al.* (1951) en los 50's, en ambas razas se detectó este problema. El análisis genotipo x característica permitió la diferenciación confiable de los genotipos con base en los parámetros evaluados y su origen geográfico y genético; sin embargo, dado que existe una gran diversidad genética asociada a criollos de las razas Cónico y Chalqueño que no está documentada en la literatura especializada, el uso de poblaciones sobresalientes o con datos pasaporte, así

como de características estables, como las que emplearon Herrera *et al.* (2002), sería de gran utilidad en estudios para evaluar la diversidad del maíz en el Valle Toluca-Atlacomulco y para determinar las interrelaciones entre éstas y otras poblaciones de genealogía desconocida.

Comparación de medias con relación al testigo

Floración femenina

Los genotipos más precoces fueron Palomero Toluqueño, San Lucas (90 y 92 días) y dos Cacahuacintles (San Juan Tilapa y San Marcos de la Cruz, con 98.5 y 99.5 días), que difirieron estadísticamente de la variedad Ixtlahuaca (testigo, 96 días); ETA 13 y Negro Carioca fueron las variedades más tardías con 108.9 y 108.5 días respectivamente (Cuadro 3). La diferencia entre el grupo más precoz y el grupo más tardío fue de 16 días. Estos resultados sugieren que Palomero Toluqueño y Cónico podrían ser útiles para desarrollar genotipos precoces para siembras de temporal (Cuadro 3, Figura 1). La agricultura de temporal que predomina en este Valle también ha jugado un papel importante en el desarrollo y en el uso de genotipos con diferente ciclo biológico. Las variedades mejoradas, los híbridos, así como los criollos de las razas Chalqueño y Cacahuacintle son recomendados para siembras de riego, punta de riego y humedad residual, mientras que las de Cónico y Palomero Toluqueño se siembran exclusivamente bajo condiciones de temporal (Wellhausen *et al.*, 1951; Niño *et al.*, 1998).

Acame y pudrición de mazorca

Palomero Toluqueño (43.5%), Cacahuacintle (48.0-57.2%), San Lucas (47.7%) y Chalqueño (45.7-54.2%) fueron significativamente más susceptibles al acame que el testigo (32.1%), pero ésta última mostró mayor acame que nueve de los híbridos de otras razas (9.8-18.3%). El testigo presentó mayor resistencia a la pudrición de mazorca causada por *Fusarium* que Palomero Toluqueño (8.6%), Cacahuacintle (16.7-20.9%), Chalqueño (6.1%), Negro (7.6%) y Gavilán (7.2%) y fue estadísticamente igual que el resto de los genotipos (Cuadro 3). Estos resultados sugieren que es necesario mejorar la resistencia al acame y a la pudrición de mazorca en los criollos de las cuatro razas regionales descritas por Wellhausen *et al.* (1951). Ixtlahuaca, con ciclo intermedio, resistente al acame y a la pudrición

de mazorca y con rendimiento de grano superior al promedio podría emplearse con este propósito.

Los porcentajes de acame observados en el presente estudio fueron similares a los de Morales *et al.* (2005), pero difirieron con los resultados encontrados por González y Larios (1993), quienes consignan que los criollos de la raza Cónico registraron daños superiores al 85%, mientras que las variedades mejoradas e híbridos los daños fueron del 18 al 66%. Morán *et al.* (1993) reportaron daños entre 29 y 69%. Los daños por pudrición de mazorca que se determinaron en el presente estudio coinciden con los reportados por Payak y Sharma (1985) y por Castañón y Latournerie (2004) entre 7 y 23%. Los porcentajes de infección que se advierten en este estudio fueron inferiores a los de De León y Pandey (1989) y Morán *et al.* (1993), que representaron de 26 a 31% y de 19 a 38%, respectivamente. Mendoza *et al.* (2003) observaron que los porcentajes de infección de mazorca en líneas endogámicas, causadas por *F. moniliforme* Sheld, fueron del 10 al 25%, pero que en cruza simples fueron de 10 al 50%. Las diferencias entre los resultados mostrados y los reportados por los autores citados están relacionadas con el tipo de variedad y raza, así como con las condiciones ambientales y de manejo agronómico, diferentes a las del presente estudio.

Rendimiento de grano

La variedad testigo con rendimiento promedio de 6.65 t ha⁻¹, superó estadísticamente a Palomero Toluqueño 4.2 t ha⁻¹, Cacahuacintle 4.59-5.29 t ha⁻¹, pero fue superada significativamente por Chalqueño 7.57-8.22 t ha⁻¹, por los híbridos Cónico-Chalqueño 7.76-9.04 t ha⁻¹ y por los híbridos de otras razas como AS-722, 7.40 t ha⁻¹; Cóndor, 8.08 t ha⁻¹ y H-40 8.05 t ha⁻¹. Además, Palomero Toluqueño es de grano pequeño y reventador, Cacahuacintle es de grano grande y harinoso, Chalqueño, Cónico y los 13 híbridos son de grano semidentado o cristalino y de tamaño mediano y más denso que el de las primeras dos razas. Los resultados anteriores muestran que el mejoramiento genético para reducir acame, mejorar resistencia a enfermedades de la mazorca e incrementar rendimiento de grano ha sido más eficiente en los híbridos que en los criollos de las cuatro razas y menos eficiente en Cacahuacintle y Palomero Toluqueño, respecto a Ixtlahuaca.

Cuadro 3. Comparación de medias entre la variedad testigo Ixtlahuaca y el resto de los genotipos de maíz evaluados en 2004 en tres localidades del Estado de México, México, con la prueba de diferencia mínima significativa (DMS, $\alpha=0.01$).

No.	Genotipo/Raza	DFF	ACM	PM	RGH
22	Palomero Toluqueño	90.16	43.54	8.67	4.20
4	Cacahuacintle 1 (San Juan Tilapa)	98.50	56.15	18.00	4.87
5	Cacahuacintle 2 (SM, ciclo 1)	94.91	56.65	17.56	5.09
6	Cacahuacintle 3 (SM, ciclo 2)	95.83	48.12	17.62	5.18
7	Cacahuacintle 4 (Cerrillo, ciclo 3)	97.33	56.79	17.58	4.79
8	Cacahuacintle 5 (San Marcos La Cruz)	99.58	57.28	20.90	4.59
9	Cacahuacintle 6 (selección precoz)	96.58	48.00	16.71	5.29
	Media de Cacahuacintle	97.12	53.83	18.06	4.96
20	Ixtlahuaca (testigo)	95.91	32.10	2.82	6.65
23	San Lucas	92.16	47.69	4.64	6.96
	Media de Cónico (C)	94.03	39.89	3.73	6.80
11	Chalqueño	100.50	50.98	6.10	7.87
12	ETA 13	108.91	45.70	5.31	8.22
21	Negro	108.50	54.24	7.58	7.57
	Media de Chalqueño (CH)	105.97	50.30	6.33	7.88
14	H-33	101.66	35.74	3.80	7.76
16	H-44	101.83	25.09	2.27	8.45
17	H-90E	99.41	30.85	2.97	9.04
	Media de híbridos C-CH	100.96	30.56	3.01	8.41
1	AS-721	104.00	13.54	4.23	6.79
2	AS-722	100.75	10.17	5.22	7.90
3	AS-820	100.25	11.38	5.10	6.58
10	Cóndor	105.83	9.88	4.65	8.08
13	Gavilán	103.33	13.46	7.22	7.04
15	H-40	104.83	14.31	2.90	8.05
18	HIT-3	99.66	13.06	4.45	6.31
19	HIT-7	105.75	18.34	5.03	6.55
24	VS-46E	99.66	26.02	4.91	6.60
25	Z-60	101.33	12.41	3.82	6.92
	Media de híbridos de otras razas	102.53	14.25	4.75	7.08
	DMS ($\alpha=0.01$)	2.01	8.47	3.64	0.88

DFF= días a floración femenina; ACM= porcentaje de acame; PMP= porcentaje de mazorcas podridas; RGH= rendimiento de grano t ha⁻¹.

CONCLUSIONES

Las diferencias entre los grupos de variedades e híbridos, así como entre Palomero Toluqueño y Cacahuacintle con Cónico y Chalqueño, explicaron el mayor porcentaje de variación observada entre los genotipos estudiados para días a floración femenina, acame, pudrición de mazorca y rendimiento de grano.

Los híbridos Cóndor, H-33, H-40, H-44 y H-90E sobresalieron por su mayor rendimiento y menor pudrición de mazorca.

El incremento en la pudrición de mazorca se asoció con un incremento significativo del acame y ambas características contribuyeron a una disminución significativa del rendimiento.

AGRADECIMIENTOS

A las empresas de semillas ASGROW, ASPROS, HARTZ SEED, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), M. en F. Artemio Balbuena Melgarejo, Ing. Luis B. Aguilar Morales, M. en C. Luis González Díaz, e Ing. Juan Reyes Carmona, por la donación de 5.0 kg de semilla de cada genotipo. De manera muy especial a la Escuela Secundaria Técnica Agropecuaria No. 13, Ing. Roberto González y al Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria del Estado de México (ICAMEX), Ing. Jaime Segura Lazcano, por proporcionarnos semilla y el terreno para el establecimiento de los experimentos en el 2004 en Jocotitlán y Metepec, respectivamente. Al M. en F. Jesús Aquino Martínez, Jefe del Laboratorio de Fitopatología del ICAMEX, por su apoyo en la identificación de las especies de *Fusarium* en laboratorio.

LITERATURA CITADA

- Castañón, N. G. and Latournerie, L. M. (2004) Performance of *S₁* maize (*Zea mays* L.) families in different soil pH. *Bragantia* 63(1):63-72.
- Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y Trigo. (CIMMYT). 1995. Manejo de los ensayos e informe de los datos para el programa de ensayos internacionales de maíz del CIMMYT. 5ª Reimpresión. México, D. F. 21p.
- De León, C. (1984). Enfermedades del maíz. Una guía para su identificación en campo. CIMMYT, 3ª Reimpresión. México, D. F. 114 p.
- De León, C. and Pandey, S. (1989). Improvement of resistance to ear and stalk rots and agronomic traits in tropical maize gene pools. *Crop Sci.* 29:12-17.
- Gámez V., A. J.; Ávila, P. M. A.; Ángeles, A. H.; Díaz, H. C.; Ramírez, V. H.; Alejo, J. A. y Terrón, I. A. (1996). Híbridos y variedades de maíz liberados por el INIFAP hasta 1996. Toluca, Estado de México, México, 102 p. (Publicación Especial No. 16).
- García, E. (1988). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 246 p.
- González H., A. y Larios G. M. A. (1993). Estudio comparativo del rendimiento de grano en maíz: 7 híbridos experimentales, 2 variedades sintéticas y 7 criollos sobresalientes. *Revista Ciencias Agrícolas Informa* 1:19-26.
- González, H. A.; Sahagún, C. J.; Pérez, L. D. J.; Domínguez, L. A.; Serrato, C. R.; Landeros, F. V. y Dorantes, C. E. (2006). Diversidad fenotípica del maíz Cacahuacintle en el Valle de Toluca, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 29(3):255-261.
- Herrera, C. B. E.; Castillo, G. F.; Sánchez, G. J. J.; Hernández, C. J. M. y Delgado A. A. (2002). Uso de semilla criolla y caracteres de mazorca para la selección de semilla de maíz en México. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(1):17-24.
- Herrera, C. B. E.; Castillo, G. F.; Sánchez, G. J. J.; Hernández, C. J. M.; Ortega, P. R. y Major, G. M. (2004). Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia* 38(2):191-206.
- McClintock, B.; Kato, Y. T. A. y Blumennschein, A. (1981). Constitución cromosómica de las razas de maíz. Su significado en la interpretación de relaciones entre las razas y variedades en las Américas. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Estado de México, México. 521 p.
- Martínez, G. A. (1988). Diseños experimentales, métodos y elementos de teoría. Ed. Trillas, 1ª Edición, México, D. F. 756 p.
- Mendoza, E. M.; López, B. A.; Oyervides, G. A.; Martínez, Z. G.; De León C. y Moreno, M. E. (2003). Herencia genética y citoplásmica de la resistencia a la pudrición de mazorca del maíz (*Zea mays* L.) causada por *Fusarium moniliforme* Sheld. *Rev. Mex. Fitopatol.* 21(3):267-271.
- Morales R., M. M.; Ron, P. J.; Sánchez, G. J. J.; Ramírez, D. J. L.; De la Cruz L. L.; Mena S. M.; Hurtado S. P. y Chuela, B. M. (2005). Diversidad genética y heterosis entre híbridos comerciales de maíz de Jalisco liberados en la década de 1990. *Rev. Fitotec. Mex.* 28(2):115-126.
- Morán, R. V.; Ramírez, D. J. L. y Ron, P. J. (1993). Ganancia genética de variedades mejoradas de maíz liberadas en diferentes épocas. *Rev. Fitotec. Mex.* 16(2):102-112.
- Nava, P. F.; Mejía, C. J. A.; Castillo, G. F. y Molina, G. J. D. (2000). Evaluación de maíces precoces e intermedios en Valles Altos Centrales de México. I. Poblaciones sobresalientes. *Rev. Fitotec. Mex.* 23 (1):119-128.
- Nava, P. F. y Mejía, C. J. A. (2002). Evaluación de maíces precoces e intermedios en Valles Altos Centrales de México. II. Divergencia genética. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(2):187-192.
- Nelson, P. E. (1992). Taxonomy and Biology of *Fusarium moniliforme*. *Mycopathology* 117:29-36.

- Niño, C. V.; Nicolás, M. C.; Pérez, L. D. J. y González, H. A. (1998). Estudio de trece híbridos y cinco variedades de maíz en tres localidades del Valle Toluca-Atlacomulco. *Revista Ciencias Agrícolas Informa* 12:33-43.
- Payak, M. M. and Sharma, R. C. (1985). Maize diseases and approaches to their management in India. *Tropical Pest Management* 31:302-310.
- Rodríguez, P. J. E.; Sahagún, C. J.; Villaseñor M. H. E.; Molina G. J. D. y Martínez G. A. (2002). Estabilidad de siete variedades comerciales de trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(2):143-151.
- Romero, C. T.; González D. L. y Reyes R. G. (2006). Geografía e historia cultural del maíz Palomero Toluqueño (*Zea mays* everta). *Ciencia Ergo Sum* 13(1):47-56.
- Sánchez, G. J. J. (1995). El análisis biplot en clasificación. *Rev. Fitotec. Mex.* 18(2):188-203.
- Vasal S. K. y Córdova S. H. (1996). Heterosis en maíz: acelerando la tecnología de híbridos de dos progenitores para el mundo en desarrollo. *In: Memoria del curso internacional de actualización en fitomejoramiento y agricultura sustentable.* Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Departamento de Fitomejoramiento, Buenavista, Saltillo, México. p 32-54.
- Velásquez, C. G. A.; Tut C. C.; Lothrop, J. J.; Virgen V. y Salinas M. (2005). H-40, híbrido de maíz de grano blanco para los Valles Altos de México, Centro de Investigación Regional del Centro, Campo Experimental Valle de México, INIFAP, 23 p. (Folleto Técnico No. 21).
- Wellhausen, E. J.; Roberts L. M.; Hernández X. E.; en colaboración con Mangelsdorf P. C. (1951). Razas de maíz en México: su origen, características y distribución. Oficina de Estudios Especiales, Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAGAR), México, D. F. 237 p. (Folleto Técnico No. 5).