

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

**EVALUACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MAÍCES SOBRESALIENTES PARA
LOS VALLES ALTOS DEL CENTRO DE MÉXICO**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES PRESENTA:**

CARLOS ADOLFO REYNOSO QUIROGA

COMITÉ:

TUTOR ACADÉMICO: DR. ANDRÉS GONZÁLEZ HUERTA

TUTOR ADJUNTO: DRA. DELFINA DE JESÚS PÉREZ LÓPEZ

TUTOR ADJUNTO: DR. OMAR FRANCO MORA

EL CERRILLO PIEDRAS BLANCAS, MÉXICO, ENERO DE 2014

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIA.....	II
RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	IV
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
MATERIALES Y METODOS.....	10
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
CONCLUSIONES.....	31
BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA.....	34

AGRADECIMIENTOS

AGRADEZCO LA OPORTUNIDAD QUE ME BRINDARON PARA CONTINUAR MI PREPARACION:

A LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS.POR EL APOYO Y LAS FACILIDADES BRINDADAS EN LA REALIZACIÓN DEL PRESENTE TRABAJO.

AL CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAÍZ Y TRIGO (CIMMYT) POR LA OPORTUNIDAD DE UTILIZAR EL MATERIAL GENETICO EN LAS EVALUACIONES DEL PRESENTE TRABAJO.

AL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT) POR FINANCIAR MIS ESTUDIOS DE MAESTRÍA.

AL COMITÉ TUTORIAL:

DOCTOR ANDRES GONZALEZ HUERTA. POR TODO EL SOPORTE Y ASESORÍA BRINDADO DURANTE EL DESARROLLO DE LA MAESTRÍA.

DOCTORA DELFINA DE JESÚS PÉREZ LÓPEZ. POR SU DISPOSICIÓN EN ASESORARME DURANTE EL PROCESO DE MAESTRÍA.

DOCTOR JOSÉ LUIS TORRES FLORES. POR SU VALIOSA APORTACIÓN EN LA INVESTIGACIÓN .

DEDICATORIAS

AGRADEZCO A MIS PADRES POR SU GRAN APOYO, EJEMPLO Y AMOR.

A MIS HERMANOS POR SU APRECIABLE APOYO.

Y A TODOS MIS FAMILIARES Y AMIGOS.

RESUMEN

Los Valles Altos del Centro de México es un área agrícola muy importante para la producción de maíz (*Zea mays* L.) y específicamente para el mejoramiento genético y para la generación de tecnología. En este estudio fueron evaluados en parcelas demostrativas y/o de validación 17 híbridos de maíz en 17 ambientes de esta región para identificar material genético sobresaliente considerando principalmente su rendimiento de grano, las alturas de planta y mazorca y el ciclo vegetativo de los cultivares. Los resultados más importantes mostraron que los 17 híbridos podrían clasificarse como material de ciclo intermedio con base en floraciones masculina (de 87 a 97 días) y femenina (de 89.4 a 99 días). La variable más afectada por la heterogeneidad que existe entre los 17 ambientes del centro de México fue el rendimiento de grano (RG), que varió desde 2.20 (El Batán fecha 2) hasta 8.64 t (Tlaxcoapan); la diferencia entre las localidades de menor y mayor RG fue de 6.44 t. Tlaxcoapan, Santa Lucía, Amealco (fecha 1), Boximo y Epitacio Huerta fueron las mejores localidades (8.19, 8.10, 7.35 y 7.95 t) para la evaluación de los ensayos. H-55, considerado como testigo, produjo 6.30 t ha⁻¹ y sólo fue superado estadísticamente por CMT 099004 (6.90 t ha⁻¹). Los cultivares H-55, CML457/ CML459//IML-6, CMT 099003, CMT 099027, H-57, CMT 0290502, CMT 099002 e Insurgentes (de 6.1 a 6.3 t ha⁻¹) tuvieron RG estadísticamente iguales. Los ocho híbridos anteriores representan el material más sobresaliente para iniciar nuevos programas de mejoramiento genético o de generación de tecnología, y también son recomendables para la producción de semilla certificada o siembra comercial en el área de estudio.

Palabras clave: evaluación en parcelas de agricultores, híbridos élite, métodos multivariados, prueba de t, *Zea mays* L.

ABSTRACT

The High Valleys of Central Mexico is a very important area for maize (*Zea mays* L.) production and specifically for plant breeding and technology generation. In this study were evaluated on-farm strip 17 maize hybrids in 17 environments in this region to identify outstanding genetic material considering its performance mainly grain yield, plant and ear heights and the growing cycle of the cultivars. The main results showed that the 17 hybrids could be classified as intermediate cycle based on FM (87 to 97 days) and FF (89.4 to 99 days). The variable most affected by the heterogeneity among the 17 environments from central Mexico was the grain yield (RG), which ranged from 2.20 (El Batán date 2) to 8.64 t (Tlaxcoapan), the difference between the poor and better environments was 6.44 t. Tlaxcoapan, Santa Lucía, Amealco (date 1), Epitacio Huerta, and Boximo were the best locations (8.19, 8.10, 7.35 and 7.95 t) for the evaluation of the tests. H-55, regarded as the control had 6.30 t ha⁻¹ and was only statistically surpassed by CMT 099004 (6.90 t ha⁻¹). The cultivars identified as H-55, CML457/ CML459//IML-6, CMT 099003, CMT 099027, H-57, CMT 0290502, CMT 099002 and Insurgentes (from 6.1 to 6.3 t ha⁻¹) were statistically equal in RG. The previous eight hybrids represent the most outstanding material to start new breeding programs or technology generation and there are also recommended for the production of certified seed or commercial planting in this study area.

Key words: multivariate methods, on-farm strip evaluation, outstanding hybrids, t test, *Zea mays* L

I. INTRODUCCION

La formación, evaluación, registro y uso comercial de una nueva y mejor variedad es uno de los objetivos principales de la mejora vegetal. La identificación de material genético sobresaliente es una etapa fundamental durante este proceso, y es de gran importancia en nuevos programas de fitomejoramiento, en la generación de tecnología, en la multiplicación e intercambio de germoplasma entre instituciones de investigación o entre agricultores y en la recomendación para siembra comercial, como un prerrequisito para su aprovechamiento integral (Perez *et al.*, 2014). Durante el proceso de evaluación en campo, con el uso de diseños experimentales el análisis de la interacción genotipo x ambiente y la estimación de la estabilidad del rendimiento de grano son esenciales para la identificación de cultivares superiores y ambos enfoques han sido ampliamente estudiados durante las últimas cuatro décadas (Rodríguez *et al.*, 2005), pero existe poca información escrita sobre su evaluación en terrenos de agricultores cooperantes mediante el uso de parcelas demostrativas y/o de validación.

La diversidad genética de los Valles Altos del Centro de México está representada por las razas de maíz que se cultivan en altitudes superiores a 2000 m, como Palomero Toluqueño, Arrocillo Amarillo, Cónico, Chalqueño y Cacahuacintle; las dos primeras son maíces reventadores, Cónico y Chalqueño son semidentados y la última es un maíz blanco, harinoso y de semillas grandes (Wellhausen *et al.*, 1951), pero en las últimas tres décadas se han hecho esfuerzos sobresalientes para ampliar su variabilidad genética con la

introducción de variedades e híbridos formados con germoplasma de clima tropical y subtropical de origen mexicano o extranjero (Torres *et al.*, 2011).

Aunque el uso de germoplasma mejorado de maíz ha aumentado en la región latinoamericana, el patrón de adopción ha sido irregular; el uso de híbridos está concentrado en zonas donde este cereal es un cultivo comercial, mientras que en las regiones caracterizadas por una agricultura orientada al autoconsumo, la mayoría de los agricultores cultivan variedades criollas. La superficie sembrada con variedades mejoradas e híbridos sigue siendo particularmente modesta en algunos de los países y regiones más pobres de Latinoamérica, entre ellos México (20.3%), América Central (21.8%) y el Caribe (31.3%). El maíz es el cultivo más importante en el estado de México con 573 000 ha cultivadas, una producción estimada en 1.801.330 t y rendimiento promedio de grano de 3.1 t ha⁻¹; la principal zona productora es el Valle Toluca – Atlacomulco, con alrededor de 250,000 ha y rendimientos de grano de 2.5 a 6.5 t ha⁻¹ (González *et al.*, 2006; González *et al.*, 2008).

El material genético considerado en el presente trabajo involucra un grupo de híbridos precomerciales y comerciales recomendables para los Valles Altos del Centro de México, pero existe poca información escrita sobre su potencial de rendimiento y sobre su adaptabilidad a diversas localidades de esta región. En este contexto, el objetivo del presente estudio fue evaluar en parcelas demostrativas y/o de validación 17 híbridos de maíz: 10 de grano blanco y 7 de grano amarillo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Algunas de las causas que han motivado el estudio de los maíces de México son: a) su gran importancia a nivel nacional y mundial, b) esta especie muy probablemente fue domesticada en México, en donde se localiza el teocintle [*Zea mexicana* (Schrader)Kuntze], su pariente silvestre más cercano, y donde aún existe una gran diversidad de formas locales, como la registrada en la región Andina, c) su producción nacional está basada en variedades criollas sembradas comercialmente o empleadas como progenitores de variedades mejoradas e híbridos, d) el maíz es una especie anual, de fácil cruzamiento, que produce una gran cantidad de semillas, por lo que las metodologías empleadas en su mejoramiento han sido evaluadas ampliamente (Ortega y Sánchez, 1989).

Además, el maíz es la base de la alimentación de los mexicanos, debido a que un 57 % de su producción se destina a consumo humano, básicamente como tortilla (Sánchez *et al.*, 1998), con un consumo *per capita* de 122 kg. Entre 2.5 y 3.0 millones de campesinos están relacionados directamente con su cultivo, pero al considerar el promedio de los hogares rurales, esta cifra podría aumentar a 18 millones. Se siembran 8.5 millones de ha pero se tiene un déficit en la producción nacional de 5 776 000 t (SAGAR, 2000). Para lograr la autosuficiencia de este cereal es más viable aumentar el rendimiento por ha que ampliar la superficie dedicada a su cultivo. En este contexto, el uso de insumos adecuados, como semilla de híbridos trilineales y dobles, aún cuando incrementa los costos del cultivo, podría proporcionar los mejores beneficios en términos de rendimiento. En países como

Estados Unidos y Canadá se han obtenido avances muy significativos en la mejora del potencial productivo del maíz, con ganancias genéticas entre 57 y 79 %. Este logro se ha atribuido al mejoramiento genético de híbridos y a un mejor entendimiento de la tecnología empleada (Russell *et al.*, 1993; Tollenaar y Lee, 2011).

Saín y Martínez (1999) señalaron que el impacto potencial que existe para elevar la productividad del maíz con semillas de híbridos varía entre 84 y 400 % y entre 51 y 300 % con variedades. A pesar de su relevancia, la utilización de semilla mejorada en México varía de 18.8 a 25 % (Espinosa *et al.*, 1999; Saín y Martínez, 1999; Herrera *et al.*, 2002). La escasa adopción de variedades mejoradas podría atribuirse a la falta de adaptación de los materiales ofrecidos, la percepción del riesgo que entraña su empleo, la diferencia en costos entre la semilla mejorada y la usada por los agricultores, y su deficiente distribución. Todos estos factores son más evidentes en las regiones de secano o temporal, como las de los Valles Altos del Centro de México, pues son áreas poco atractivas para las empresas privadas. La desatención de tales regiones se ha visto agudizada por el retiro gradual del mercado de la Productora Nacional de Semillas (PRONASE), el cual inicio en 1981 (López y García, 1997).

En los últimos años las condiciones económicas de los productores de maíz en México han sido adversas, debido a que se han incrementado los costos del cultivo mientras que el precio del grano se ha mantenido constante. El costo de la semilla mejorada representa hasta un 27 % del costo total de los insumos, lo que ha motivado que los agricultores siembren generaciones avanzadas de híbridos y otras semillas de origen dudoso, que hace que se dejen de producir volúmenes importantes de grano (Morales *et al.*, 2005). Para

solucionar parcialmente este problema. Las generaciones avanzadas de híbridos, en promedio, rinden 15 % menos que los híbridos F_1 ; este porcentaje se incrementa en siembras comerciales con híbridos de cruce simple y trilineal, que presentan más depresión endogámica en sus generaciones avanzadas (Valdivia y Vidal, 1995; González *et al.*, 1993), pero si se conociera la diversidad genética entre progenitores la semilla de cruces entre híbridos F_1 comerciales podría representar una buena opción, especialmente para agricultores de escasos recursos económicos (Morales *et al.*, 2005).

Aun cuando se dispone de 50 razas de maíz en México (Wellhausen *et al.*, 1951; Hernández y Alanís, 1970; Sánchez y Goodman, 1992; Márquez, 1999), en el mejoramiento genético sólo se usa intensamente cuatro de ellas: Chalqueño para el centro del país; Cónico para una región similar de más corto periodo de cultivo; Celaya para el Bajío y regiones aledañas, y Tuxpeño para la región cálido-húmeda del Golfo y sureste de México. En menor proporción se han empleado Cónico Norteño, Bolita (Gutiérrez y Luna, 1989), Pepitilla (Gámez *et al.*, 1996) y Zapalote Chico. Las razas Palomero Toluqueño, Arrocillo Amarillo, Chapalote y Nal-Tel, no se han utilizado pero podrían contribuir con genes especiales (Sánchez *et al.*, 2000). Las razas Chalqueño y Cónico presentan problemas de acame debido a un sistema radical escaso, alto ahijamiento, porte alto y adaptación limitada; las razas Celaya y Tuxpeño, de origen tropical y subtropical, respectivamente, tienen mazorca grande, resistencia al acame, grano pesado y adaptación amplia (Wellhausen *et al.*, 1951; Wellhausen *et al.*, 1960; Goodman, 2000). El uso de mayor número de razas en los programas de selección e hibridación trae consigo mayor diversidad genética, específicamente de origen alélico, la que puede ser causante de un mayor

potencial heterótico para la hibridación, confiriendo en esta misma y en la selección mayor estabilidad fenotípica ante los agentes adversos del medio ambiente. El alto potencial heterótico interracial y la mayor diversidad alélica, serían dos razones suficientes para justificar el empleo de razas diferentes a las cuatro que ahora se usan (Márquez *et al.*, 1999).

En la Mesa Central de México existe la mayor diversidad mundial de características de grano de los grupos dentado y reventador tipo arroz, perteneciente a las razas Arrocillo Amarillo, Cacahuacintle, Cónico, Chalqueño y Palomero Toluqueño. Las principales áreas de cultivo de los maíces criollos de estas razas que han dado origen a los híbridos de cruce trilineal y doble que ahora se están recomendando en siembra comercial en esta región de México se localizan en los estados de Hidalgo, México, Puebla y Tlaxcala. Su tipo vegetativo de la planta es endémico de esta región y se caracteriza por tener vainas de las hojas muy pubescentes, hojas caídas, espiga poco ramificada, sistema radicular superficial y pobre, con indicios de tolerancia a la sequía y a bajas temperaturas pero no a heladas, con transpiración muy eficiente (Kuleshov, 1981), las mazorca son cónicas y los granos tienen ápice (Goodman, 1972). Los maíces de estas razas se cultivan a altitudes entre 1800 y 2700 m, pero las de Cónico y Chalqueño ocupan más del 95 % de la superficie cultivada (Vasal *et al.*, 1995); su color de grano es diverso, blanco, crema, amarillo, rojo, azul o negro, cada cual con características agronómicas y usos antropocéntricos específicos (Herrera, 1999).

En las razas Arrocillo Amarillo, Cacahuacintle, Cónico, Chalqueño y Palomero Toluqueño se han observado diferencias genéticas como resultado del proceso de selección natural y artificial a que han estado sujetas y que hacen las hacen distintas o divergentes

entre si (Wellhausen *et al.*, 1951; Ortega y Sánchez, 1989; Sánchez y Goodman, 1992; González *et al.*, 2008), pero las relaciones de parentesco entre las variedades e híbridos de instituciones del sector público y las comercializadas por empresas privadas no está bien documentado en la literatura especializada (González *et al.*, 2006; González *et al.*, 2008). La diversidad fenotípica de la raza Chalqueño para la región Chalco-Amecameca es amplia y fue subdividida en tres grupos: Chalqueño Cremas, Chalqueño Palomos y Elotes Chalqueños. También se identificaron formas intermedias entre Chalqueño y otras razas, cuya diversidad podría ser el resultado de la introgresión y de los procesos de selección natural y artificial (Herrera, 1999). Wellhausen *et al.* (1951) señalaron que en otras regiones ubicadas a altitudes entre 2000 y 2400 m se siembran formas semejantes al Chalqueño en condiciones de humedad residual. Es de esperarse que estas formas tengan diferencias genéticas por la evolución bajo domesticación diferencial.

Otra opción para mejorar el germoplasma de Valles Altos del Centro de México, para que puedan utilizarse en regiones ecológicas con alto potencial productivo, es el aprovechamiento de la heterosis para rendimiento, que comúnmente se encuentra en cruzamientos entre materiales de diferente origen genético y geográfico. En México, el mejoramiento genético del maíz por hibridación fue iniciado en 1943 por la hoy extinta Oficina de Estudios Especiales de la Secretaría de Agricultura y Ganadería (Wellhausen *et al.*, 1951). El propósito fue obtener híbridos más rendidores que los criollos sembrados en la Mesa Central, El Bajío y los trópicos húmedo y seco. En la década de los 1950's fueron liberados los híbridos tropicales H-501, H-502 y H-503, que superaron a los criollos en 30 % o más (Reyes *et al.*, 1955). En 1961 se liberó H-507 (INIFAP, 1996) que sólo superó en

10 % a H-503. Los híbridos tropicales modernos, como H-512, no sobrepasan con mucho al rendimiento de H-507. Este estancamiento, denominado barrera genética de la hibridación, se atribuye a la falta de explotación, mediante selección recurrente, de la varianza genética aditiva de las poblaciones que han servido de fuente de líneas autofecundadas, como paso previo o simultáneo a la derivación de líneas autofecundadas para la explotación de heterosis entre y dentro de razas (Molina, 1988).

La estrategia de mejorar por selección, hibridación o por selección seguida por hibridación, dependerá de la proporción que representan las varianzas genética aditiva y de dominancia en la población, respecto a la variación genética total. Moll y Robinson (1967) señalaron que la varianza genética aditiva es cuando menos dos veces mayor que la de dominancia; si los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) son más importantes la población deberá mejorarse por selección recurrente, pero si los efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) son más importantes la población deberá mejorarse por hibridación (Comstock *et al.*, 1949; Reyes *et al.*, 2004). Por la misma razón, Lonquist (1965) recomendó explotar primero la varianza genética aditiva (ACG) por selección y después la varianza no aditiva (ACE) por hibridación.

La heterosis intervarietal puede ser variable, y guarda relación con la divergencia genética de los progenitores: generalmente es mayor entre razas (Rivera, 1977), o entre progenitores de diferentes regiones (Moll *et al.*, 1962), pero existen límites de divergencia genética para su expresión (Moll *et al.*, 1965). La heterosis dentro de poblaciones de la raza Chalqueño es reducida (Rivera, 1977; Hernández, 1994; Valderrama, 1996). Romero *et al.* (2002) observaron que la heterosis para rendimiento estuvo positivamente correlacionada

con la divergencia geográfica y genética, pero la asociación entre éstas dos últimas fue débil o inconsistente. Antuna *et al.* (2003), De la Cruz *et al.* (2003) y Caballero y Cervantes (1990) observaron que las cruzas de mayor rendimiento estuvieron formadas por líneas de diferente origen y que en aquellas que mostraron altos efectos de ACE, al menos uno de los progenitores fue de alta ACG. Es posible también encontrar líneas sobresalientes de una misma población que permitan formar cruzas sobresalientes (Vasal *et al.*, 1995).

La estrategia anterior podría ser muy importante en los Valles Altos del Centro de México para la formación de variedades mejoradas e híbridos de alto rendimiento y estabilidad. Desafortunadamente, existe poca información reportada en la literatura especializada con relación a la determinación de variabilidad genética, diversidad fenotípica, interacción genotipo x ambiente, estabilidad e identificación de nuevos grupos y patrones heteróticos de los maíces de esta región, que permitan el replanteamiento de los programas de mejoramiento genético, generación de tecnología y producción de semilla, entre otros.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localidades de evaluación

Los experimentos se establecieron bajo condiciones de punta de riego en el ciclo agrícola primavera-verano del 2011 en las siguientes 13 localidades del Estado de México (EM), Michoacán (M), Querétaro (Q), Hidalgo (H) y Puebla (P): Batán (EM: Fechas 1 y 2), Boximo (EM), La Providencia (EM), El Cerrillo Piedras Blancas (EM: Fechas 1 y 2), Toluca (EM: Fechas 1 y 2), Amealco (Q: Fechas 1 y 2), Texcoco (EM), Santa Lucía (EM), Jocotitlán (EM), Patzcuaro (M), Epitacio Huerta (M), Tlaxcoapan (H) y Felipe Ángeles Puebla. La elección de estas localidades se realizó considerando sus diferencias en ubicación geográfica, altitud, clima, suelo, precipitación, topografía, altitud y clima, principalmente (Cuadro 1).

3.2. Material genético

Las 17 variedades e híbridos utilizados fueron elegidos por la Red de evaluación de MASAGRO. Se consideró este material genético por primera instancia ya que son los materiales experimentales, pre comerciales y comerciales de última generación para los valles altos del Centro de México, y en segunda instancia por su potencial para estudiar la diversidad fenotípica y su adaptabilidad en esta región de México.

3.3. Tamaño de la unidad experimental

Cada una de éstas constó de diez surcos de 10.0 m de longitud, con separación entre hileras de 0.80 m. En cada unidad se sembraron 230 semillas distanciadas a 0.20 m.

Cuadro 1 Material genético evaluado en el presente estudio.

Híbrido y/o genealogía	Color del grano	Institución	Tipo
1. (CML457/CML459)//IML-6	Blanco	CIMMYT	Triple
2. ASPROS-823	Blanco	ASPROS	Triple
3. CMT 099001 (CML457/CHWE235)//CHWE231	Blanco	CIMMYT	Triple
4. CMT 099003 (CML457/CHWL147)//CHWE229	Blanco	CIMMYT	Triple
5. CMT 099027 (CML457/CHWE235)//CHWE233	Blanco	CIMMYT	Triple
6. CV-702	Blanco	CERES	Triple
7. H-55	Blanco	INIFAP	Triple
8. H-57	Blanco	INIFAP	Triple
9. HID-15	Blanco	ICAMEX	Doble
10. P1684	Blanco	PIONEER	
11. CMD 080001 (CML 460/CHYL0 22)// (CML462/CHYL10)	Amarillo	CIMMYT	Triple
12. CMT 029502 (CML 460/CML461)// CML462	Amarillo	CIMMYT	Triple
13. CMT 099002 (CML 460/CML461)// CHYE140	Amarillo	CIMMYT	Triple
14. CMT 099004 (CML 462/CML461)// CHYE140	Amarillo	CIMMYT	Triple
15. INSURGENTES	Amarillo	ICAMEX	Triple
16. P1832	Amarillo	PIONEER	

17. TORITO AMARILLO 1	Amarillo	UACH	
-----------------------	----------	------	--

3.4. Conducción de los experimentos en campo

La preparación del suelo con tractor consistirá en un barbecho, una cruz y una rastra. Antes del surcado se fertilizará con la dosis 70N-80P-30K. La siembra manual se efectuó bajo condiciones de secano durante el mes de abril de 2011. Con la segunda labor cultural se incorporaron otras 70 unidades de nitrógeno e inmediatamente se aplicaron atrazina y 2,4-D amina, en dosis de 1.5 kg y 1.5 L ha⁻¹, respectivamente, ambos disueltos en 200 L de agua; esta actividad permitieron complementar el control de maleza manual y mecánico efectuado antes de los 90 días de establecidos los experimentos. La cosecha se efectuó en la primera y segunda semana de diciembre.

3.5. Registro de variables

Se registraron los siguientes caracteres: floración masculina y femenina, altura de planta y de mazorca, peso de grano por mazorca, peso de olote por mazorca, rendimiento de grano por hectárea e índice de prolificidad. Los procedimientos y las unidades de medición empleados en el registro de los datos de estas variables están descritos en CIMMYT (1995) y en González *et al.* (2008).

3.6. Análisis estadístico

Cada una de las variables registradas en este estudio fue analizada con estadística paramétrica y se calcularon sus medias y sus varianzas; con sus estimadores se obtuvieron los valores de t para comparar las medias de las variedades e híbridos de maíz. Los procedimientos algebraicos para su obtención están descritos en Gomez y Gomez (1984).

Adicionalmente se aplicaron dos técnicas multivariadas: los análisis de componentes principales y de conglomerados, ambas descritas por Sánchez (1995) y González *et al.* (2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

inifap

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS



México
ISSN: 2007-0934

REVISTA MEXICANA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

Texcoco, Estado de México 20 de diciembre de 2013
Ref.: 437-13

DR. ANDRÉS GONZÁLEZ HUERTA
PROFESOR-INVESTIGADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
PRESENTE:

Por este medio le agradezco y acuso de recibido su artículo "Análisis de 17 híbridos de maíz sembrados en 17 ambientes de los Valles Altos del centro de México" cuyos autores(as) son: Carlos Adolfo Reynoso Quiroga, Andrés González Huerta, Delfina de Jesús Pérez López, Omar Franco Mora, José Luis Torres Flores, Gustavo Ardían Velázquez Cárdelas, Carmen Bretón Lugo, Artemio Balbuena Melgarejo y Omar Vilchis Mercado, que fue enviado para su posible publicación a la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Le notificamos que el autor(a) principal y los coautores(as), no podrán alterarse y quedaran como se envía en esta versión.

Asimismo, me permito informarle que su contribución será sometida a revisión técnica por los árbitros que se designen en caso de ser aceptado, se le notificará sobre las observaciones correspondientes.

Agradezco su colaboración y le envío un cordial saludo.

Atentamente

DRA. DORA MA. SANGERMAN-JARQUÍN
EDITORA EN JEFA DE LA REVISTA
MEXICANA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

c.c.p. * Archivo
DMS./mdna

Carretera Los Reyes-Texcoco, km 13.5. Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56250
E-mail: revista_atm@yahoo.com.mx. Tel. y Fax: 01 595 9212681

ANÁLISIS DE 17 HÍBRIDOS DE MAÍZ SEMBRADOS EN 17 AMBIENTES DE LOS VALLES ALTOS DEL CENTRO DE MÉXICO

ANALYSIS OF 17 MAIZE HIBRYDS SOWN IN 17 ENVIRONMENTS IN THE HIGH VALLEYS OF CENTRAL MEXICO

Carlos Adolfo Reynoso Quiroga¹, Andrés González Huerta^{2§}, Delfina de Jesús Pérez López², Omar Franco Mora², José Luis Torres Flores³, Gustavo Adrián Velázquez Cardelas⁴, Carmen Breton Lugo³, Artemio Balbuena Melgarejo¹ y Omar Mercado Vilchis⁵

¹ Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx). Toluca, Estado de México (T-EM). Apartado Postal 435 (Idem). Tel. 01(722) 2965518. Ext. 148 (carqwalker@hotmail.com). ² Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento, Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMéx. T-E. Idem (djperezl@uaemex.mx; abalbuenam@uaemex.mx; ofrancom@uaemex.mx). ³ Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). El Batán, Estado de México. Km. 45 Carretera México-Veracruz. CP. 56130. Tel. 01(595) 9521900. Ext. 1117 (j.torres@cgiar.org; c.breton@cgiar.org). ⁴ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional del Centro, Campo Experimental Valle de México. Carretera Los Reyes-Texcoco, Km 13.5. Coatlinchán, Estado de México. CP. 56250. Tél. 01 595 92 12657. Ext. 135 (gvecar@yahoo.com). ⁵ Geovillas de la Independencia Núm. 15. San Mateo Oztacatipan, Estado de México. CP. 50200. Tel. 01(722) 2440930 (omarmercado_vilchis@yahoo.com.mx). [§] Autor para correspondencia: agonzalezh@uaemex.mx.

RESUMEN

Los Valles Altos del Centro de México es un área agrícola muy importante para la producción de maíz (*Zea mays* L.) y específicamente para el mejoramiento genético y para la generación de tecnología. En este estudio fueron evaluados en parcelas demostrativas y/o de validación 17 híbridos de maíz en 17 ambientes de esta región para identificar material genético sobresaliente considerando principalmente su rendimiento de grano, las alturas de planta y mazorca y el ciclo vegetativo de los cultivares. Los resultados más importantes mostraron que los 17 híbridos podrían clasificarse como material de ciclo intermedio con base en floraciones masculina (de 87 a 97 días) y femenina (de 89.4 a 99 días). La variable más afectada por la heterogeneidad que existe entre los 17 ambientes del centro de México fue el rendimiento de grano (RG), que varió desde 2.20 (El

Batán fecha 2) hasta 8.64 t (Tlaxcoapan); la diferencia entre las localidades de menor y mayor RG fue de 6.44 t. Tlaxcoapan, Santa Lucía, Amealco (fecha 1), Boximo y Epitacio Huerta fueron las mejores localidades (8.19, 8.10, 7.35 y 7.95 t) para la evaluación de los ensayos. H-55, considerado como testigo, produjo 6.30 t ha⁻¹ y sólo fue superado estadísticamente por CMT 099004 (6.90 t ha⁻¹). Los cultivares H-55, CML457/ CML459//IML-6, CMT 099003, CMT 099027, H-57, CMT 0290502, CMT 099002 e Insurgentes (de 6.1 a 6.3 t ha⁻¹) tuvieron RG estadísticamente iguales. Los ocho híbridos anteriores representan el material más sobresaliente para iniciar nuevos programas de mejoramiento genético o de generación de tecnología, y también son recomendables para la producción de semilla certificada o siembra comercial en el área de estudio.

Palabras clave: evaluación en parcelas de agricultores, híbridos élite, métodos multivariados, prueba de t, *Zea mays* L.

ABSTRACT

The High Valleys of Central Mexico is a very important area for maize (*Zea mays* L.) production and specifically for plant breeding and technology generation. In this study were evaluated on-farm strip 17 maize hybrids in 17 environments in this region to identify outstanding genetic material considering its performance mainly grain yield, plant and ear heights and the growing cycle of the cultivars. The main results showed that the 17 hybrids could be classified as intermediate cycle based on FM (87 to 97 days) and FF (89.4 to 99 days). The variable most affected by the heterogeneity among the 17 environments from central Mexico was the grain yield (RG), which ranged from 2.20 (El Batan date 2) to 8.64 t (Tlaxcoapan), the difference between the poor and better environments was 6.44 t. Tlaxcoapan, Santa Lucia, Amealco (date 1), Epitacio Huerta, and Boximo were the best locations (8.19, 8.10, 7.35 and 7.95 t) for the evaluation of the tests. H-55, regarded as the control had 6.30 t ha⁻¹ and was only statistically surpassed by CMT 099004 (6.90 t ha⁻¹). The cultivars identified as H-55, CML457/ CML459//IML-6, CMT 099003, CMT

099027, H-57, CMT 0290502, CMT 099002 and Insurgentes (from 6.1 to 6.3 t ha⁻¹) were statistically equal in RG . The previous eight hybrids represent the most outstanding material to start new breeding programs or technology generation and there are also recommended for the production of certified seed or commercial planting in this study area.

Key words: multivariate methods, on-farm strip evaluation, outstanding hybrids, t test, *Zea mays* L.

INTRODUCCIÓN

La formación, evaluación, identificación, registro y uso comercial de una nueva y mejor variedad es esencial en nuevos programas de fitomejoramiento, en la generación de tecnología, en la multiplicación e intercambio de germoplasma entre instituciones de investigación o entre agricultores y en la recomendación para siembra comercial, como un prerrequisito para su aprovechamiento integral (Pérez *et al.*, 2014). La evaluación del material genético en campo con el uso de diseños experimentales para el análisis de la interacción genotipo x ambiente y la estabilidad del rendimiento son necesarios para la identificación de cultivares superiores, y en México ambos enfoques han sido ampliamente estudiados en las últimas cuatro décadas (Rodríguez *et al.*, 2005; González *et al.*, 2010), pero existe poca información publicada sobre la evaluación de híbridos élite en terrenos de agricultores cooperantes mediante el uso de parcelas demostrativas y/o de validación, particularmente en los Valles Altos del Centro.

La diversidad genética que existe en los estados de Hidalgo, México, Puebla y Tlaxcala está representada por las razas de maíz (*Zea mays* L.) que se cultivan en altitudes superiores a 2000 m, como Palomero Toluqueño, Arrocillo Amarillo, Cónico, Chalqueño y Cacahuacintle; las dos primeras son maíces reventadores, Cónico y Chalqueño son semidentados y la última es un maíz blanco, harinoso y de semillas grandes (Wellhausen *et al.*, 1951).

En las últimas tres décadas se han hecho esfuerzos sobresalientes para mejorar la adaptabilidad de variedades e híbridos formados con germoplasma élite de clima tropical y subtropical de origen mexicano y/o extranjero (Torres *et al.*, 2011), pero su uso en Latinoamérica está concentrado en zonas específicas y en las regiones caracterizadas por una agricultura orientada al autoconsumo la mayoría de los agricultores cultivan variedades criollas; la superficie sembrada con las primeras es inferior al 32 %, como en México (20.3%), América Central (21.8%) y el Caribe (31.3%).

El maíz es la base de la alimentación de los mexicanos, debido a que un 57 % de su producción se destina a este rubro, básicamente como tortilla (Sánchez *et al.*, 1998), con un consumo *per capita* de 122 kg. Entre 2.5 y 3.0 millones de campesinos están relacionados directamente con su cultivo, pero esta cifra podría aumentar a 18 millones si se considera el promedio de los hogares rurales. Aun cuando se siembran 8.5 millones de ha se tiene un déficit en la producción de 5 776 000 t (SAGAR, 2000). Para lograr su autosuficiencia es más viable aumentar el rendimiento por ha que ampliar su superficie de cultivo. En Estados Unidos y Canadá se han obtenido ganancias genéticas entre 57 y 79 %, atribuibles al mejoramiento genético de híbridos y a un mejor entendimiento de la tecnología aplicada (Tollenaar y Lee, 2011). En el estado de México se siembran 573 000 ha y se producen 1 801 330 t, con un rendimiento de grano de 3.1 t ha⁻¹; la principal zona productora es el Valle Toluca – Atlacomulco, con casi 250,000 ha. En experimentos, los rendimientos de grano varían de 4.0 a 8.7 t ha⁻¹ (González *et al.*, 2006; González *et al.*, 2008), pero en terrenos de agricultores existe poca información publicada.

Saín y Martínez (1999) comentaron que podría elevarse la productividad del maíz entre 84 y 400% con híbridos y con variedades entre 51 y 300 %, pero el empleo de semilla mejorada en México apenas varía de 18.8 a 25 % (Espinosa *et al.*, 1999; Herrera *et al.*, 2002); su escasa adopción podría atribuirse a la falta de adaptabilidad, la diferencia en costos entre la semilla mejorada y la usada por los agricultores, y su deficiente distribución.

El material genético considerado en el presente trabajo involucra un grupo de híbridos experimentales, pre comerciales y comerciales recomendables para el Centro de México, pero existe poca información sobre su potencial de rendimiento y sobre su adaptabilidad, así el objetivo principal fue analizar 17 ambientes y 17 híbridos élite sembrados en parcelas demostrativas y/o de validación para identificar material genético sobresaliente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localidades de evaluación

Los experimentos se establecieron en punta de riego en primavera-verano del 2011 en las siguientes 13 localidades del Estado de México (EM), Michoacán (M), Querétaro (Q), Hidalgo (H) y Puebla (P): Batán (EM: Fechas 1 y 2), Boximo (EM), La Providencia (EM), El Cerrillo Piedras Blancas (EM: Fechas 1 y 2) Toluca (EM: Fechas 1 y 2), Amealco (Q: Fechas 1 y 2), Texcoco (EM), Santa Lucía (EM), Jocotitlán (EM), Patzcuaro (M), Epitacio Huerta (M), Tlaxcoapan (H) y Felipe Ángeles (P). La elección de estas localidades se realizó considerando sus diferencias en ubicación geográfica, altitud, clima y precipitación, principalmente (Cuadro 1).

Material genético

Los 17 híbridos utilizados fueron elegidos por la Red de Evaluación del Programa Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional (MasAgro). Este material experimental, pre comercial y comercial representa una opción viable para los Valles Altos del Centro de México por su potencial de rendimiento y su adaptabilidad a esta región (Cuadro 2).

Tamaño de la parcela

Cada una de éstas constó de diez surcos de 10.0 m de longitud, con separación entre hileras de 0.80 m (Área de 80.0 m²). En cada unidad se sembraron 230 semillas distanciadas a 0.20 m.

Cuadro 1. Descripción del área de estudio.

Localidades	Altitud	coordenadas	clima	t° media	mm agua
El Batán (EM)	2232	19.30° N, 98.53°	tempado semi seco	15.9	686
Boximo (EM)	2545	19°42'26"N 99°47'12"	templado sub húmedo	13.2	1008
La Providencia (EM)	2702	19°40',100°18'	templado sub húmedo	14.3	950
Cerrillo Piedras Blancas(EM)	2620	99.679,19.415	templado semiseco	13.5	747
Toluca(EM)	2650	99.679,19.4	templado semiseco	14.0	800
Amealco (Q)	2630	100° 08 38",20° 11 17"	templado húmedo	15.0	980
Jocotitlán (EM)	2735	19°42'26"N 99°47'12"	templado sub húmedo	13.2	1008
Patzcuaro (M)	2200	19° 37',101° 25'	templado sub húmedo	15.0	1100
Epitacio Huerta (M)	2500	20°08',100°17'	templado sub húmedo	18.0	1075
Texcoco (EM)	2200	19.30° N, 98.53°	templado semi seco	15.9	686
Santa Lucía (EM)	2240	98.98,19.748056	templado semi seco	14.0	780
Tlaxcoapan (H)	2075	20°05'43, 20°05'43	templado	17.0	880
Felipe Àngeles (P)	2270	19° 05',97° 36°	templado sub húmedo	15.2	990

Fuente: MasAgro (2012).

Manejo de las parcelas

La preparación mecánica del suelo consistió en un barbecho, una cruz y una rastra. Antes de surcar se fertilizó con 70N-80P-30K. La siembra manual se hizo con punta de riego en abril de 2011. Se manejaron 62 500 plantas ha⁻¹. Con la segunda escarda se incorporaron 70 unidades de nitrógeno y se aplicaron atrazina y 2,4-D amina (1.5 kg y 1.5 L ha⁻¹) disueltos en 200 L de agua para complementar el control de maleza manual y mecánico efectuado antes de los 90 días de establecidos los experimentos. La cosecha manual se efectuó en noviembre y diciembre, después que el material genético alcanzó la madurez fisiológica.

Cuadro 2. Material evaluado en este estudio.

Híbrido y/o genealogía	Color del grano	Institución	Tipo	RG t ha ⁻¹
1. (CML457/CML459)//IML-6	Blanco	CIMMYT	Triple	
2. ASPROS-823	Blanco	ASPROS	Triple	6.20
3. CMT 099001 (CML457/CHWE235)//CHWE231	Blanco	CIMMYT	Triple	
4. CMT 099003 (CML457/CHWL147)//CHWE229	Blanco	CIMMYT	Triple	
5. CMT 099027 (CML457/CHWE235)//CHWE233	Blanco	CIMMYT	Triple	
6. CV-702	Blanco	CERES	Triple	6.80
7. H-55 (Testigo)	Blanco	INIFAP	Triple	7.30
8. H-57	Blanco	INIFAP	Triple	7.20
9. HID-15	Blanco	ICAMEX	Doble	
10. P1684	Blanco	PIONEER	Triple	5.80
11. CMD 080001 (CML 460/CHYL0 22)// (CML462/CHYL10)	Amarillo	CIMMYT	Triple	5.90
12. CMT 029502 (CML 460/CML461)// CML462	Amarillo	CIMMYT	Triple	
13. CMT 099002 (CML 460/CML461)// CHYE140	Amarillo	CIMMYT	Triple	
14. CMT 099004 (CML 462/CML461)// CHYE140	Amarillo	CIMMYT	Triple	
15. INSURGENTES	Amarillo	ICAMEX	Triple	5.00
16. P1832	Amarillo	PIONEER	Triple	5.10
17. TORITO AMARILLO 1	Amarillo	UACH	Triple	4.60

Origen: MasAgro (2012).

Registro de variables

Se registraron los siguientes caracteres: floraciones masculina (FM) y femenina (FF), cociente entre floraciones (CF), alturas de planta (AP) y mazorca (AM), cociente entre alturas (CA), rendimiento de grano por hectárea (RG) e índice de prolificidad (IP). Los procedimientos y las unidades de medición empleados en el registro de datos están descritos en CIMMYT (1995) y en González *et al.* (2008).

Análisis estadístico

Cada variable registrada fue analizada con estadística paramétrica. Se calcularon sus medias y sus varianzas y con sus estimadores se obtuvieron los valores de t para comparar las medias de los 17 ambientes y de los 17 híbridos de maíz; se hizo la comparación entre cada ambiente y su promedio aritmético, y se contrastó la diferencia entre la media de cada híbrido y la media de H-55 (testigo). El valor de t calculado se obtuvo con 16 grados de libertad, a los niveles de significancia del 5 ó 1 %. Los procedimientos algebraicos están descritos en Steel y Torrie (1980). Adicionalmente se aplicaron el análisis de componentes principales (biplot entre híbridos y variables) y el de conglomerados (método UPGMA, para agrupar localidades o híbridos), descritas por Sánchez (1995) y por González *et al.* (2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En México se siembran 8500000 ha con maíz, pero en sus Valles Altos del Centro se explotan 3500000 ha en los estados de Hidalgo, México, Puebla y Tlaxcala, y en 95% de esta superficie predominan las razas Cónico y Chalqueño (Welhausen *et al.*, 1951; SAGAR, 2000), es por eso que esta región del país es muy importante para el mejoramiento genético, para la generación de tecnología y, específicamente, para la evaluación e identificación de material sobresaliente. En este

contexto existen pocos estudios publicados sobre la evaluación de cultivares en parcelas demostrativas y/o de validación de tecnología (González *et al.*, 2008).

Con relación a los 17 ambientes de evaluación y considerando únicamente la información que se indica en el Cuadro 1, en el presente estudio se observó que éstos se agruparon en cuatro categorías: en el grupo 1 están el Batán, Texcoco, Santa Lucía y Tlaxcoapan; en el grupo 2 se localizaron a Patzcuaro y Felipe Ángeles; en el grupo 4 se observan el Cerrillo Piedras Blancas y Toluca; el grupo 3 está conformado por el resto de los ambientes (Figura 1). Estos resultados confirman que esta región del centro de México es muy heterogénea; el clima, la precipitación pluvial, la altitud, su ubicación geográfica y el tipo de suelo son los principales componentes de esta variabilidad cuando se realizan ensayos a través de localidades en el mismo año (Pérez *et al.*, 2014). De estos resultados se infiere también que la elección de un solo ambiente de cada uno de estos cuatro grupos permitirá ahorrar tiempo y recursos financieros en la evaluación e identificación de cultivares sobresalientes. Por ejemplo, para estudios futuros se recomienda elegir a Tlaxcoapan, Felipe Ángeles, Epitacio Huerta y Toluca, que representan a los estados de Hidalgo, Puebla, Michoacán y México, respectivamente; con relación a su altitud existe una diferencia de 600 msnm (Cuadro 2).

No obstante lo anterior en esta recomendación debe observarse que las heladas, fenómeno meteorológico muy común en esta región, no han sido consideradas, por lo que también es necesario conocer la contribución de éstas y del tiempo sobre el rendimiento de grano y otros componentes del rendimiento. La poca disponibilidad de semilla de los materiales experimentales y pre comerciales ha sido una de las principales limitantes para establecer los ensayos en tiempo y/o en espacio (González *et al.*, 2008; González *et al.*, 2010).

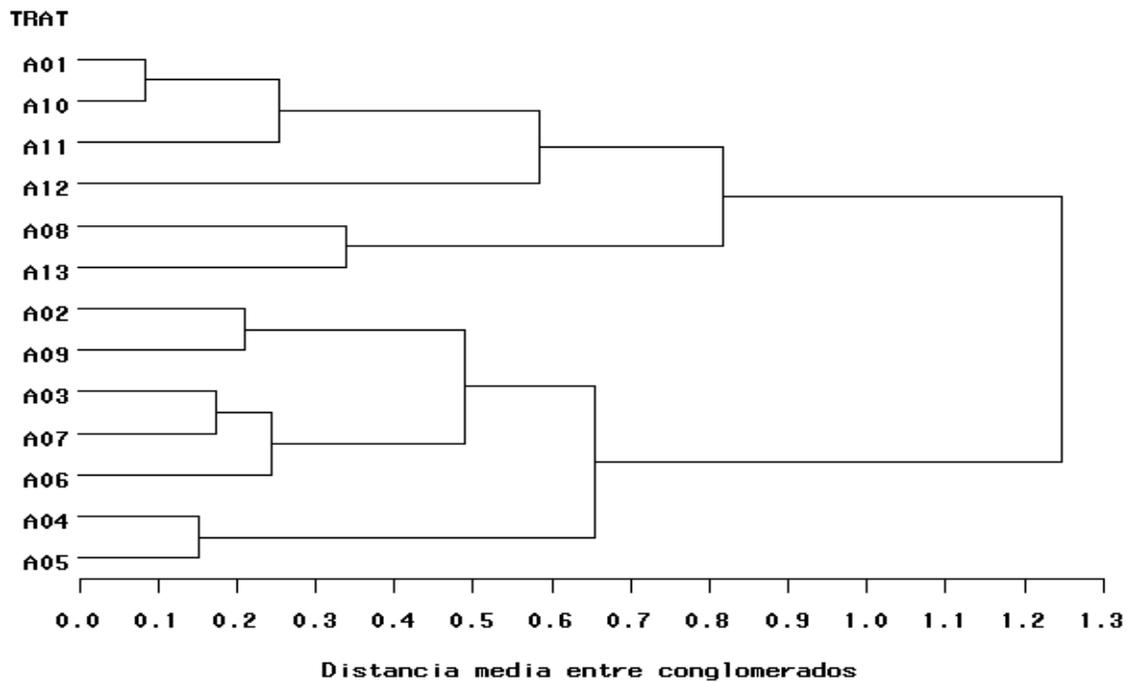


Figura 1. Agrupación de los 13 ambientes con base en la información del Cuadro 1.

Con relación a seis de las ocho variables evaluadas en el presente estudio se observó que los 17 ambientes también originaron variabilidad fenotípica importante; éstos se clasificaron en tres categorías: iguales a su media aritmética e inferiores o superiores estadísticamente a ésta (Cuadro 3; Figura 2).

Cuadro 3. Promedios aritméticos para los 17 ambientes considerados en este estudio.

Localidad /ambiente	FM	FF	AP	AM	IP	CF	CA	RG
EL Batan 1	93.21	95.07	235.90**	125.37**	0.62	0.98	0.53	6.10
El Batan 2	87.18**	90.00**	171.24**	78.06**	0.46	0.97	0.45	2.20**
Boximo	93.94*	96.53*	205.94**	98.53**	0.63	0.97	0.48	7.35
La Providencia	101.18**	100.53**	211.47**	93.53	0.49	1.00	0.44	4.28
El Cerrillo P.B. 1	101.94**	105.71**	186.41**	86.29**	0.56	0.97	0.46	4.41
El Cerrillo P.B. 2	93.76**	96.65*	217.18**	115.41**	0.58	0.97	0.53	6.36
Toluca (1)	102.88**	101.53**	202.32**	95.78	0.39	1.01	0.47	4.74
Toluca (2)	91.00	93.88	201.54**	86.47**	0.36	0.97	0.42	5.64
Amealco (1)	90.47	93.65	182.78**	85.22**	0.73	0.97	0.47	8.10*
Amealco (2)	90.00	94.00	188.53**	85.12**	0.46	0.96	0.44	5.20
Jocotitlan	103.65**	109.59**	162.94**	64.71**	0.39	0.95	0.40	5.20
Patzcuaro	79.67**	81.39**	198.22	81.28**	0.23	0.98	0.41	6.52
Epitacio Huerta	85.82**	90.06**	196.52	89.26**	0.5	0.95	0.46	7.95
Texcoco	86.88**	90.88**	193.73**	98.25**	0.68	0.95	0.51	5.63
Santa Lucia	75.71**	77.35**	154.29**	84.71**	0.43	0.98	0.49	8.19*
Tlaxcoapan	78.82**	79.71**	262.65**	140.59**	0.35	0.99	0.53	8.64*
Felipe Ángeles	102.58**	106.64**	202.29**	98.35**	0.67	0.97	0.48	4.85

FM, floración masculina (días); FF, floración femenina (días); AP, altura de planta (cm); AM, altura de mazorca (cm); IP, índice de prolificidad; CF, coeficiente de floraciones; CA, coeficiente de alturas; RG, rendimiento de grano ($t\ ha^{-1}$).

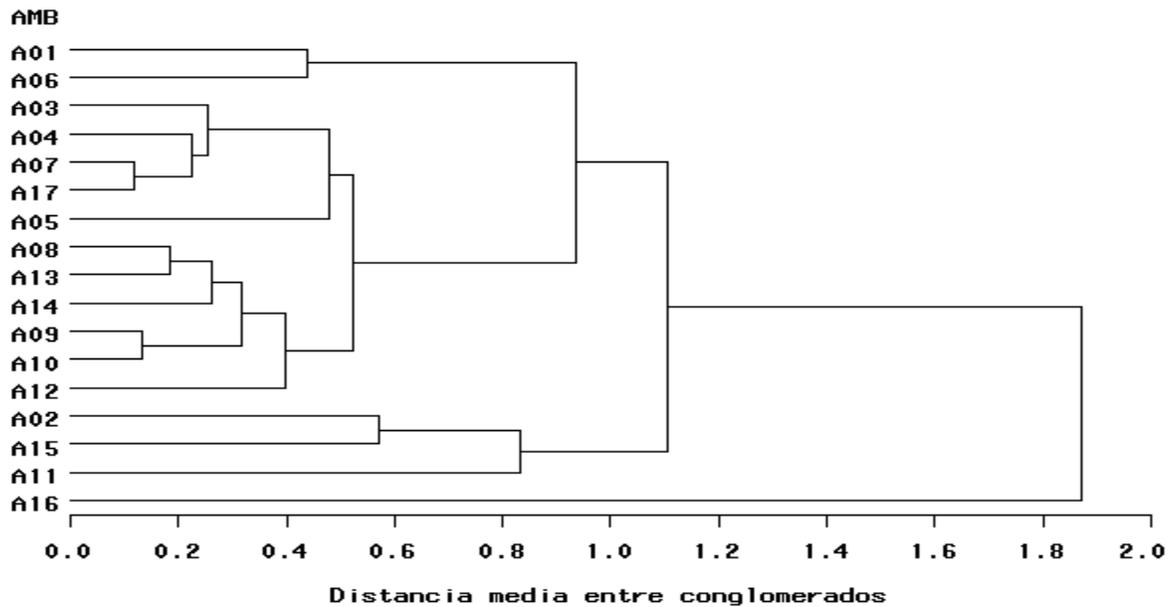


Figura 2. Agrupación de los 17 ambientes con base en ocho variables agronómicas. Los códigos están definidos en el Cuadro 3.

Los promedios aritméticos para floración masculina (FM) variaron desde 75.7 hasta 103.65 días, y para floración femenina (FF) fueron de 77.3 a 109.6 días (Santa Lucía y Jocotitlán, respectivamente). Estos resultados muestran que la heterogeneidad ocasionada por los 17 ambientes fue de 28 días para FM y 32 días para FF (Cuadro 3). Ambos periodos son suficientes para evitar daños por heladas en siembras comerciales y experimentales establecidas en condiciones de temporal en el mes de abril en esta región de Valles Altos, independientemente del tipo de cultivar que se emplee.

Con relación a las alturas de planta (AP) y de mazorca (AM) se registraron valores desde 1.62 hasta 2.62 m para AP y de 0.64 hasta 1.40 m para AM (Jocotitlán y Tlaxcoapan, respectivamente). La variabilidad fenotípica originada por los 17 ambientes fue de 1.0 m para AP y de 0.76 m para

AM (Cuadro 3). Estos resultados muestran que ambas características están influenciadas significativamente por el tipo de localidad y/o de ambiente que se elija para la evaluación de los ensayos en campo.

Los caracteres agronómicos que mostraron escasa variabilidad fenotípica a través de los 17 ambientes fueron coeficientes de floración (CF, de 0.95 a 1.01) y de alturas (CA, de 0.40 a 0.53); en ambas y en índice de prolificidad (IP, de 0.23 a 0.73), la diferencia entre la media de cada ambiente y su gran media aritmética fue estadísticamente igual (Cuadro 3). Las tres variables podrían utilizarse para realizar selección indirecta para incrementar la producción de grano debido a que éstas son más estables e involucran dos características morfológicas.

En el cuadro 3 puede observarse que la variable más afectada por la heterogeneidad que existe entre los 17 ambientes del centro de México fue rendimiento de grano (RG), que varió desde 2.20 (El Batán fecha 2) hasta 8.64 t (Tlaxcoapan); la diferencia entre las localidades de menor y mayor RG fue de 6.44 t. Tlaxcoapan, Santa Lucía, Amealco (fecha 1), Boximo y Epitacio Huerta fueron los mejores ambientes (8.19, 8.10, 7.35 y 7.95 t) para la evaluación de los ensayos; en éstas se obtuvo un RG promedio mayor que el de la media nacional (1.47 t ha⁻¹; SAGAR, 2000), de la media del estado de México (3.1 t ha⁻¹), y de la media de los ensayos conducidos en experimentos establecidos en el Valle Toluca-Atlacomulco, en el Estado de México (6.36 t ha⁻¹; González *et al.*, 2006; González *et al.*, 2008; González *et al.*, 2010).

Con base en las ocho variables registradas en el presente estudio, en la figura 2, si se corta el dendograma a una distancia promedio de 0.60, se observan cinco grupos: en G1 se detectó a Batán (fecha 1) y Cerrillo Piedras Blancas (fecha 2); G3 agrupó a Batán (fecha 2) y Santa Lucía; en G4 se clasificó a Jocotitlán; en G5 se identificó a Tlaxcoapan; en G2 están el resto de los ambientes. El mayor RG (8.64 t), las mayores dimensiones de la planta (AP, 2.62 m) y de la mazorca (AM, 1.40

m) y el menor ciclo vegetativo (78.8 y 79.7 días a FM y FF) se identificaron en G5. Los grupos 3 y 4 sólo difirieron en FM, FF y AM (103.65, 109.59 y 0.74 m para G4); ambos grupos tuvieron un RG similar al del grupo 2 (5.36 t) pero éste último presentó mayores dimensiones de planta y mazorca (1.97 y 0.90 m) y ciclo vegetativo intermedio (93.3 y 95.9 días a FM y FF; Cuadro 3).

Los 17 híbridos que son considerados en el presente estudio representan una fracción élite del material genético experimental, pre comercial y comercial que podría ser sobresaliente para los Valles Altos del Centro de México; del 1 al 10 son maíces de grano blanco y del 11 al 17 son de grano amarillo (Cuadro 4; Figura 4); los 10 primeros son empleados principalmente para la elaboración de tortillas y los otros siete se destinan a la alimentación animal, ambos destacan el uso principal que se da a los maíces en México y en América Latina (Sánchez *et al.*, 1998; González *et al.*, 2008). Se esperaba que los híbridos de grano blanco, de mayor ciclo vegetativo, tuvieran mayor RG. Esta contradicción se explica por el hecho de que se presentaron heladas tempranas en la primera semana de septiembre de 2011, favoreciéndose más los maíces precoces de grano amarillo.

Las medias aritméticas para FM, FF, AP, AM, IP, CF, CA y RG para los maíces blancos (G1), excepto ASPROS 823 que se agrupó con los amarillos (G2), fueron de 91.73 días, 94.44 días, 211.75 cm, 105.67 cm, 0.51, 1.0, 0.50 y 6.02 t ha⁻¹, y para G2 correspondieron a 91.62 días, 93.82 días, 183.66 cm, 82.16 cm, 0.48, 1.0, 0.43 y 5.90 t ha⁻¹ (Cuadro 4, Figura 3). Estos resultados muestran que la principal diferencia entre ambos maíces estuvo relacionada con AP y AM, con mayores dimensiones para G1.

Los promedios aritméticos que se muestran en el Cuadro 4 sugieren que este material genético tiene características agronómicas deseables para establecer un sistema de producción intensivo. Los coeficientes de alturas (entre 0.4 y 0.5), y de floraciones (de 1.0), así como las alturas de planta (de 1.67 a 2.25 m) y de mazorca (de 0.75 a 1.16 m) que se registraron garantizan menores porcentajes

de acame de tallo y raíz, muy común en las razas de Valles Altos como Cónico, Chalqueño, Cacahuacintle y Palomero Toluqueño (González *et al.*, 2007; González *et al.*, 2008). Estas ventajas podrían aprovecharse para la siembra comercial de híbridos en altas densidades de población (hasta 100 000 plantas ha⁻¹) y con mayores dosis de nitrógeno (hasta 300 kg ha⁻¹) con el propósito de incrementar el RG. Los 17 híbridos también podrían clasificarse como material de ciclo intermedio con base en FM (de 87 a 97 días) y FF (de 89.4 a 99 días); esta característica es muy deseable para evitar daños por heladas tempranas o tardías en esta región del centro de México.

Cuadro 4. Promedios aritméticos para los 17 híbridos considerados en este estudio (1 a 10, grano blanco; 11 a 17, grano amarillo).

Híbrido	FM	FF	AP	AM	IP	CF	CA	RG
1	91.6	93.9	209.3	101.7	0.6**	1.0	0.5	6.1
2	97.3**	99.3**	186.0**	86.9**	0.6**	1.0	0.5	4.8**
3	95.6**	99.1**	223.2**	112.4**	0.5	1.0	0.5	5.4**
4	91.3	93.9	209.8*	98.1	0.5	1.0	0.5	6.4
5	92.5	95.2	222.1**	112.2**	0.5	1.0	0.5	6.1
6	92.6	95.7	225.6**	116.4**	0.6**	1.0	0.5	5.9**
7	91.8	94.4	200.9	99.8	0.5	1.0	0.5	6.3
8	91.4	93.8	200.6	101.7	0.5	1.0	0.5	6.3
9	91.5	94.6	209.2	108.0*	0.4**	1.0	0.5	5.9**
10	87.3**	89.4**	205.1	100.8	0.5	1.0	0.5	5.8**
11	88.6**	90.9**	179.6**	88.1**	0.5	1.0	0.5	5.5**
12	95.4**	96.2*	181.8**	79.8**	0.4**	1.0	0.4**	6.1
13	89.0**	90.3**	195.1	84.6**	0.5	1.0	0.4**	6.2
14	91.2	93.4	181.6**	76.9**	0.5	1.0	0.4**	6.9**
15	91.2	94.4	186.7**	80.5**	0.4**	1.0	0.4**	6.3
16	89.9**	92.5*	167.0**	75.6**	0.5	1.0	0.5	5.6**
17	90.4*	93.6	191.5*	84.9**	0.5	1.0	0.4**	5.8**

1: CML457/CML459//IML-6; 2: ASPROS-823; 3: CMT 099001 (CML457/CHWE235)//CHWE231); 4: CMT 099003 (CML457/CHWL147)//CHWE229); 5: CMT 099027 (CML457/CHWE235)//CHWE233); 6: CV-702; 7: H-55 (Testigo); 8: H-57; 9: HID-15; 10: P1684; 11: CMD 080001 (CML 460/CHYL0 22)// (CML462/CHYL10); 12: CMT 029502 (CML 460/CML461)// CML462); 13: CMT 099002 (CML 460/CML461)// CHYE140); 14: CMT 099004 (CML 462/CML461)// CHYE140); 15: INSURGENTES; 16: P1832; 17: TORITO AMARILLO 1. FM, floración masculina (días); FF, floración femenina (días); AP, altura de planta (cm); AM, altura de mazorca (cm); IP, índice de prolificidad; CF, coeficiente de floraciones; CA, coeficiente de alturas; RG, rendimiento de grano (t ha⁻¹).

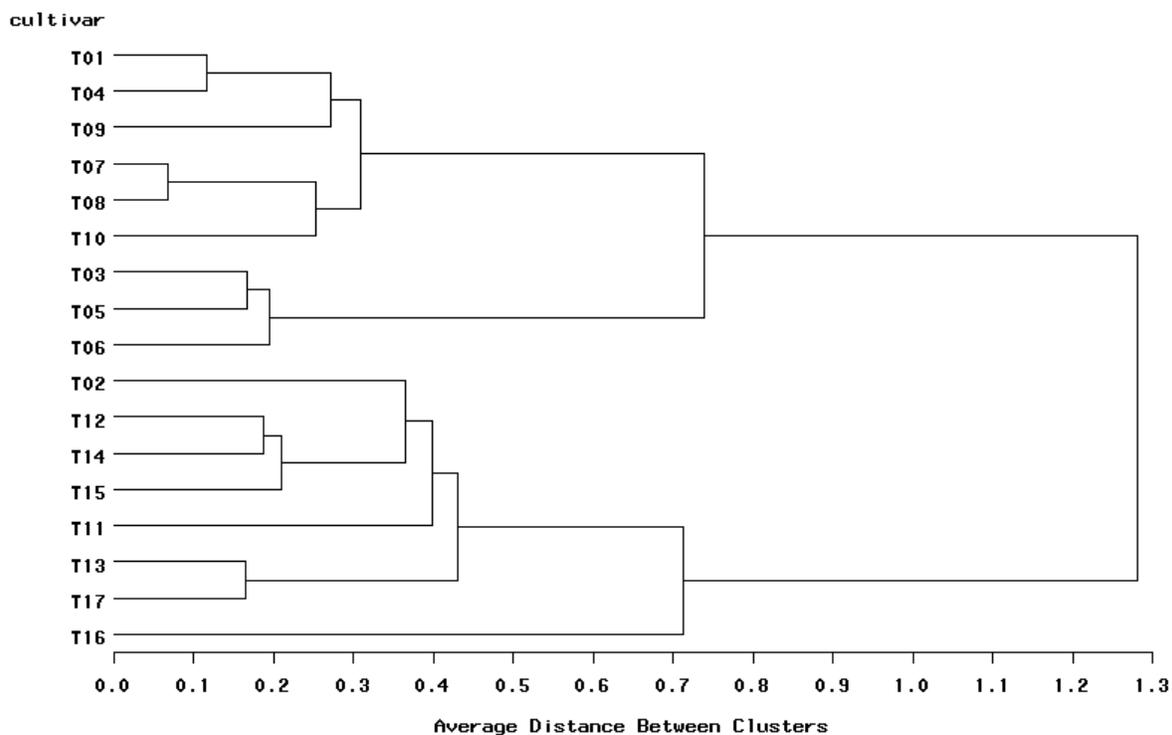


Figura 3. Agrupación de 17 híbridos de maíz con base en las ocho variables agronómicas. Método de media aritmética no ponderada (Método UPGMA).

El RG varió de 4.80 a 6.90 t ha⁻¹. H-55, considerado como testigo, produjo 6.30 t ha⁻¹ y sólo fue superado estadísticamente por CMT 099004 (6.90 t ha⁻¹). Los cultivares H-55, CML457/CML459//IML-6, CMT 099003, CMT 099027, H-57, CMT 0290502, CMT 099002 e Insurgentes (de 6.1 a 6.3 t ha⁻¹) tuvieron RG estadísticamente iguales. ASPROS 823, CMT 099001 y CMT 0290502 presentaron el mayor ciclo vegetativo (FM y FF); los dos primeros con el menor RG. En el cultivar CV-702 se registraron las mayores dimensiones de la planta (AP y AM) pero su producción de grano fue estadísticamente inferior a la del testigo H-55. Los materiales más precoces fueron los identificados como 12, 13, 14 y 15, los cuales son de grano amarillo y también tuvieron valores de

RG iguales o superiores a los del testigo (Cuadro 4). En la Figura 4 se observa que AP, AM y CA explicaron la mayor variabilidad asociada a la componente principal 1, mientras que la componente principal 2 se atribuyó principalmente a FM y FF. Estos resultados son similares a los observados por González *et al.* (2008), quienes evaluaron variedades e híbridos de maíz en el Valle Toluca-Atacomulco, Estado de México, con un rendimiento de grano promedio de 6.36 t ha⁻¹, pero también son inferiores a los obtenidos por González *et al.* (2010), quienes evaluaron cultivares en esta misma región y detectaron híbridos con rendimientos de grano superiores a 8.0 t ha⁻¹. Los ocho híbridos anteriores representan el material más sobresaliente para iniciar nuevos programas de mejoramiento genético, generación de tecnología, para la producción de semilla certificada o para la recomendación en siembra comercial en esta área de estudio.

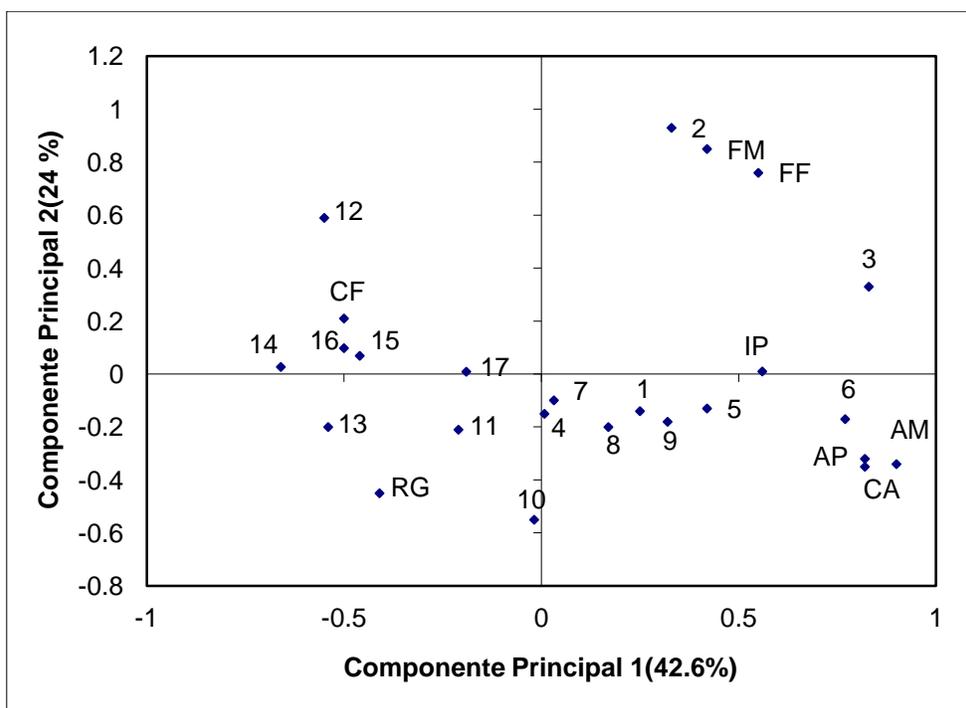


Figura 4. Interrelaciones entre 17 híbridos de maíz (en número) y ocho variables agronómicas (en letra). Los códigos están descritos en el Cuadro 3.

CONCLUSIONES

Los resultados más importantes mostraron que los 17 híbridos podrían clasificarse como ciclo intermedio con base en FM (de 87 a 97 días) y FF (de 89.4 a 99 días). La variable más afectada por la heterogeneidad que existe entre los 17 ambientes del centro de México fue rendimiento de grano (RG), que varió desde 2.20 (El Batán fecha 2) hasta 8.64 t (Tlaxcoapan); la diferencia entre las localidades de menor y mayor RG fue de 6.44 t. Tlaxcoapan, Santa Lucía, Amealco (fecha 1), Boximo y Eпитacio Huerta fueron los mejores ambientes (8.19, 8.10, 7.35 y 7.95 t) para la evaluación de los ensayos. H-55, considerado como testigo, produjo 6.30 t ha⁻¹ y sólo fue superado estadísticamente por CMT 099004 (6.90 t ha⁻¹). Los cultivares H-55, CML457/ CML459//IML-6, CMT 099003, CMT 099027, H-57, CMT 0290502, CMT 099002 e Insurgentes (de 6.1 a 6.3 t ha⁻¹) tuvieron RG estadísticamente iguales; éstos representan el material más sobresaliente para iniciar nuevos programas de mejoramiento genético o de generación de tecnología, y también son recomendables para la producción de semilla certificada o siembra comercial en esta área de estudio.

LITERATURA CITADA

- 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.
- Espinosa, C. A.; Tapia, A.; Avendaño, R. 1999. Variedades y producción de semillas en México. Ciencia y Desarrollo 49:62-67.
- González, H. A.; Sahagún, C. J.; Pérez, L. D. J.; Domínguez, L. A.; Serrato, C. R.; Landeros, F. V.; Dorantes, C. E. 2006. Diversidad fenotípica del maíz Cacahuacintle en el Valle de Toluca, México. Revista Fitotecnia Mexicana 29(3):255-261.

- González, H. A.; Vázquez, G. L.M.; Sahagún, C. J.; Rodríguez, P. J. E.; Pérez, L. D.J. 2007. Rendimiento del maíz de temporal y su relación con la pudrición de mazorca. Revista Agricultura Técnica en México 33(1): 33-42.
- González, H. A.; Vázquez, G. L. M.; Sahagún, C. J.; Rodríguez, P. J. E. 2008. Diversidad fenotípica de variedades e híbridos de maíz en el Valle Toluca-Atlaconulco, México. Revista Fitotecnia Mexicana 31(1):67-76.
- González, A.; Pérez, D.J.; Sahagún, J.; Franco, O.; Morales, E.; Rubí, M.; Gutiérrez, F.; Balbuena, A. 2010. Aplicación y comparación de métodos univariados para evaluar la estabilidad en maíces del Valle Toluca-Atlaconulco, México. Revista Agronomía Costarricense 34(2):129-143.
- Herrera, C. B. E.; Castillo, G. F.; Sánchez, G. J. J.; Hernández, C. J. M.; Delgado A. A. 2002. Uso de semilla criolla y caracteres de mazorca para la selección de semilla de maíz en México. Revista Fitotecnia Mexicana 25(1):17-24.
- Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional (MasAgro). 2012. <http://www.MasAgro.gob.mx>. Última consulta: 30 de noviembre de 2013.
- Pérez, L. D. J.; González, H. A.; Franco, M. O.; Rubí, A. M.; Ramírez, D. J.F.; Castañeda, V. A.; Aquino, M. J.G. 2014. Aplicación de métodos multivariados para identificar cultivares sobresalientes de haba para el estado de México, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5(2):265-278.
- SAGAR. 2000. Situación actual y perspectivas de la producción de maíz en México. SAGAR. México, D. F., 75 p.
- Saín, G.; Martínez, G. J. A. 1999. Adopción y uso de semilla mejorada por pequeños agricultores en el sudeste de Guatemala. In: Memoria del Seminario Taller sobre Adopción de Tecnologías: la

- perspectiva del agricultor y sus implicaciones para la elaboración de políticas. G. Saín (ed.). San José, Costa Rica, 1-3 Diciembre 1997. CIMMYT PROFRIJOL:PASOLAC: ICTA. pp:83-98.
- Sánchez, G. J. J. 1995. El análisis biplot en clasificación. *Revista Fitotecnia Mexicana* 18(2):188-203.
- Sánchez, R. G.; Martínez, A. F.A.; López, I. L.A. 1998. Oportunidades de desarrollo del maíz mexicano. Alternativas de competitividad. *Boletín Informativo*. Vol. XXX. Núm. 309. FIRA. 88p.
- Steel, R. G. D.; Torrie, J. H. 1980. *Bioestadística: Principios y Procedimientos*. 2ª Ed. McGraw Hill. Colombia.
- Tollenaar, M.; Lee, A. 2011. Strategies for enhancing grain yield in maize. *Plant Breeding Reviews* 34:37-82.
- Torres, F. J. L.; Morales, R. E. J.; González, H. A.; Laguna, C. A.; Córdova, O. H. 2011. Respuesta de híbridos trilineales y probadores de maíz en Valles Altos del Centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2(6):829-844.
- 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. Folleto Técnico No. 5, Oficina de Estudios Especiales, Secretaría de Agricultura y Ganadería, México, D. F. 237 p.

VI. BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- Antuna G O, F Rincón S, E Gutiérrez R, N A Ruiz T, L Bustamante G (2003). Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. Rev. Fitotec. Mex. 26(1):11-17.
- Balderrama C S (1996) Efectos de aptitud combinatoria en poblaciones de maíz nativas de Valles Altos de México. Tesis de Maestría, Centro de Genética, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. 94 p.
- Caballero H F, T Cervantes S (1990) Estudio genético y taxonómico de poblaciones de maíz de la raza Tuxpeño. Agrocienca Serie Fitociencia 1(2):43-64.
- Comstock R E, H F Robinson, P H Harvey (1949) A breeding procedure designed to make maximum of both general and specific combining ability. Agron. J. 41:360-367.
- De la Cruz L, J Ron P, J L Ramírez D, J J Sánchez G, M M Morales R, M Chuela B, S A Hurtado de la P, S Mena M (2003) Heterosis y aptitud combinatoria entre híbridos comerciales y germoplasma exótico de maíz de Jalisco, México. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 26:1-10.
- Gómez 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).
- González S C, J Ron P, J L Ramírez D (1993) Cruzas entre híbridos comerciales de maíz. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 16:30-41.
- Gomez K A, A A Gomez (1984) Statistical Procedures for Agricultural Research. 2 nd Editon. John Wiley and Sons, Inc. Singapore.

Goodman M M (1972) Distance analysis in biology. *Syst. Zoology* 21:174-186.

Hernández X E (1972) Exploración etnobotánica en maíz. *Fitotecnia Latinoamericana* 8:46-51.

Hernández C J M (1994) Estimación de efectos genéticos en poblaciones nativas de maíz sobresalientes en Valles Altos Centrales, Bajío y Trópico. Tesis de Doctorado, Centro de Genética, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. 190 p.

Herrera C B E (1999) Diversidad genética y valor agronómico entre poblaciones de maíz de la raza Chalqueño. Tesis de Doctorado. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. 141 p.

Kuleshov N N (1981) Maíces de México, Guatemala, Cuba, Panamá y Colombia. En: *Las plantas cultivadas de México, Guatemala y Colombia*. Trad. Jorge León. CATIE, Turrialba, Costa Rica, pp:40-53.

Lonnquist J H (1965) Métodos de selección útiles para el mejoramiento dentro de poblaciones. Trad. M. Gutiérrez G. *Fitotecnia Latinoamericana* 1 y 2:1-10.

López P M A, J C García (1997) Las industrias de la semilla de maíz en Brasil y México: desempeño anterior, problemas actuales y perspectivas para su futuro. Documento de trabajo de economía del CIMMYT 97-02. CIMMYT. México, D. F. 75 p.

Márquez S F, J A Carrera V, E Barrera G, L Sahagún C, M Sierra M (1999) Influencia del ambiente de selección en el mejoramiento de razas de maíz por retrocruza limitada. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 22(1):1-15.

Márquez SF (1992) La interacción genético-ambiental en Genotecnia Vegetal. En: *Memorias del Simposio Interacción Genotipo-Ambiente en Genotecnia Vegetal*. 26 y 27 de marzo, Sociedad Mexicana de Fitogenética, Guadalajara, Jalisco, p. 1-27.

- Molina G J D (1988) Selección familiar combinada alternante. *Agrociencia* 74: 65-71.
- Moll R H, H F Robinson (1967) Quantitative genetics in investigations of yield of maize. *Sonderab dracks aus, Der Zuckter*, 37. Band, Heft 4, Spring-Verlag, Berlin 37:191-199.
- Moll R H, W S Salhuana, H F Robinson (1962) Heterosis and genetic diversity in variety crosses of maize. *Crop Sci.* 2:197-198.
- Morales F M M, J Ron P, J J Sánchez G, J L Ramírez D, L de la Cruz L, S Mena M, S Hurtado de la P, M Chuela Bonaparte (2005) Diversidad genética y heterosis entre híbridos comerciales de maíz de Jalisco liberados en la década de 1990. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 28(2):115-126.
- Ortega P R, J Sánchez G (1989)** Aportaciones al estudio de la diversidad de maíz en las partes altas de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 12:105-119.
- Reyes C P, L S Wortman, E J Wellhausen (1955) Maíz híbrido para tierra caliente. Folleto de Divulgación No. 18. Programa Cooperativo de la Secretaría de Agricultura y Ganadería de México y la Fundación Rockefeller.
- Reyes L D, J D Molina G, M A Oropeza R, E C Moreno P (2004) Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza Tuxpeño. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol 27:49-56.
- Rivera F C H (1977) Efecto de la divergencia genética en la heterosis de cruas intervarietales de maíz. Tesis de Maestría, Especialidad de Genética. Colegio de Postgraduados. Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México. 86 p.
- Romero P J, F Castillo G, R Ortega P (2002) Cruzas de poblaciones nativas de maíz de la raza Chalqueño. II. Grupos genéticos, divergencia genética y heterosis. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 25(1): 107-115.

Russell W A (1993) Achievements of maize breeders in North America. In: International Crop Science I. Crop Science Society of America, 677 S. Segoe Rd. Madison WI, USA, pp:225-233.

Sánchez G J J, M M Goodman, O Rawlings (1993) Appropriate characters for racial classification in maize. Econ. Bot. 47(1):44-59.

Sánchez G J J, M M Goodman, C W Stuber (2000) Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of México. Econ. Bot. 5:43-59.

Vasal S K, G Srinivasan, N Vergara A, F González C (1995) Heterosis y aptitud combinatoria en germoplasma de maíz de Valles Altos. Rev. Fitotec. Mex. 18:123 -139.

Valdivia B R, V A Vidal M (1995) Efecto de generaciones avanzadas en la producción de diferentes tipos de híbridos de maíz. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 18(1):69-76.