



VALORACIÓN AGROMORFOLÓGICA DE GERMOPLASMA DE MAÍZ AMARILLO EN VALLES ALTOS DE MÉXICO

AGROMORPHOLOGICAL ASSESSMENT OF YELLOW MAIZE GERMOPLASM IN HIGH LANDS OF MEXICO

Benjamín Hernández-Vázquez¹, Ma. del Carmen Mendoza-Castillo^{1*},
Fernando Castillo-González¹, J. Agapito Pecina-Martínez¹,
Adriana Delgado-Alvarado², Ricardo Lobato-Ortiz¹ y J. Jesús García-Zavala¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Montecillo, Texcoco, Estado de México. ²Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, San Pedro Cholula, Puebla, México.

*Autor para correspondencia (camen@colpos.mx)

RESUMEN

El potencial genético de los maíces nativos (*Zea mays* L.) y su adaptación a las condiciones agroclimáticas de cada región en particular puede ser utilizado en los programas de mejoramiento genético a fin de atender las demandas de grano a nivel local, regional y nacional, y así contribuir a minimizar la importación de maíz amarillo. El objetivo de este estudio fue valorar poblaciones de maíz amarillo de diferente origen geográfico de México, evaluar su comportamiento agromorfológico e identificar grupos o poblaciones adaptadas, con expresión favorable para ambientes de los Valles Altos de México. Se evaluaron 101 poblaciones de maíz de grano amarillo en 2014 y 2015 en Montecillo y Tecámac, Estado de México, y se registraron características morfológicas y agronómicas. Con el análisis de componentes principales y de conglomerados se definieron ocho grupos, los cuales mostraron diferencias significativas en las variables entre años, localidades, grupos e interacciones, que evidencian la diversidad y variabilidad del comportamiento del germoplasma evaluado. Los resultados permitieron observar la gama de opciones para aprovechar las características genéticas de las poblaciones, tales como la precocidad, porte de la planta, tamaño de mazorca y rendimiento de grano. Se pudo constatar que los materiales nativos presentan características agronómicas y de adaptación al ambiente que se pueden aprovechar en los programas de mejoramiento genético para áreas con condiciones óptimas o restrictivas.

Palabras clave: *Zea mays*, maíz amarillo, diversidad genética, potencial agronómico.

SUMMARY

The genetic potential of maize landraces (*Zea mays* L.), and their adaptation to agro-climatic conditions in each particular region can be used in breeding programs to meet grain demands at the local, regional and national level, and thus contribute to minimize the import of yellow maize. This study assessed yellow maize populations from different geographic origin of Mexico by evaluation of their agromorphological performance and identified adapted groups or populations with favorable expression for the Mexican Highlands of Mexico. One hundred and one populations of yellow maize were evaluated in 2014 and 2015 in Montecillo and Tecamac, State of Mexico, and agronomic and morphological characteristics were recorded. Eight groups were defined through principal component and clusters analyses, which showed significant differences between years, localities, groups and interactions; these results show the diversity and variability of the evaluated germplasm performance. Results also showed the range of available genetic attribute options for these

populations, such as earliness, plant height, ear size and grain yield. It was possible to confirm that native materials possess agronomic and adaptation characteristics to the target environment that may be used in breeding programs for areas with optimal or restrictive conditions.

Index words: *Zea mays*, yellow maize, genetic diversity, agronomic potential.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos predominantes en los mercados internacionales y es el alimento básico para más de 200 millones de personas y se estima que este número crezca a medida que la población mundial alcance los 8.1 miles de millones de habitantes en 2025 (United Nation, 2017).

En México, cada año se siembran de siete a ocho millones de hectáreas de maíz en 2.3 millones de unidades de producción; producción que ha superado los 22 millones de toneladas anuales; sin embargo, se requieren 32.1 millones de toneladas para satisfacer la demanda nacional (Damián-Huato *et al.*, 2013), de las cuales, 10 millones de toneladas de grano amarillo se necesitan para la industria (Espinosa *et al.*, 2011) y que usualmente se tienen que importar, pues México sigue siendo deficitario, lo que provoca que el país sea de los principales importadores, principalmente de Estados Unidos (Velázquez, 2015; Com. Pers.1). Bajo este escenario, en México existe la necesidad de incrementar dicha producción y satisfacer la demanda anual para fines pecuarios e industriales, principalmente para la elaboración de almidón, glucosa, alta fructosa, gluten, fibra, sorbitol, aceites, maltodextrinas, color caramelo, dextrosa y proteínas (Espinosa *et al.*, 2011; Espinosa-Calderón *et al.*, 2013).

¹Velázquez M. A. (2015) Comentario de Maíz Amarillo I-2015. Observatorio de Precios. México, D. F. <http://studylib.es/doc/2662196/descargar-este-archivo--comentario-maiz-amarillo-1-2015.pdf> (Septiembre 2016).

Para incentivar la producción de maíz amarillo, en 2013 se anunció el programa para la reconversión de maíz blanco a maíz amarillo, basado en la lógica de que México es excedentario en producción de maíz blanco, pero deficitario en la producción de maíz amarillo. La estrategia de este programa estimula la producción a gran escala de maíz amarillo en México proyectada hacia el año 2020, que incluye la programación de una mayor superficie agrícola, uso de tecnologías de alta productividad para reducir costos e incrementar rendimientos, agricultura por contrato, financiamiento, acciones de logística y desarrollo de proveedores. En este sentido, la semilla mejorada, junto con los fertilizantes y plaguicidas, son insumos importantes para aumentar la productividad de maíz (García-Salazar y Ramírez-Jaspeado, 2014); sin embargo, la ausencia de semilla mejorada, aunada a la necesidad de un mejor manejo del riesgo agrícola, mayores garantías en la producción de alimentos en cantidad suficiente, induce el continuo aprovechamiento de maíces de usos especiales con características únicas que los hacen insustituibles en la elaboración de gran variedad de platillos tradicionales por las diferentes propiedades bioquímicas y nutrimentales que se han encontrado en las variedades nativas, lo cual determina su preferencia (Fernández *et al.*, 2013).

De esta manera, es urgente que se destine apoyo a la producción de maíz amarillo con asistencia técnica y paquetes tecnológicos donde se incluya el uso de semillas mejoradas, más aún cuando en México el consumo anual promedio de semilla durante el periodo 2008-2010 fue de 160 mil toneladas, 95 % correspondió a maíz blanco y sólo 5 % a maíz amarillo, 68 mil toneladas fueron de semilla mejorada y las restantes 92 mil toneladas fueron de semillas nativas. Las cifras anteriores indican que más de la mitad de la superficie sembrada con maíz no utiliza semilla mejorada y que se tiene una amplia brecha para elevar el potencial productivo del grano. Durante ese mismo periodo, la importación anual de semilla de maíz amarillo fue de 9600 toneladas, que abastecieron las necesidades del mercado, en el cual la producción nacional de semilla mejorada de maíz amarillo fue marginal, con la consecuente dependencia del mercado externo y los altos costos de la semilla (García-Salazar y Ramírez-Jaspeado, 2014).

Es entonces necesaria la exploración y aprovechamiento de las poblaciones nativas de maíz amarillo como fuente de germoplasma para la obtención de híbridos y variedades de polinización libre de alto potencial de rendimiento, por lo que el objetivo de este trabajo fue valorar poblaciones de maíz amarillo de diferente origen geográfico de México, evaluar su comportamiento agronómico e identificar grupos o poblaciones adaptadas con expresión favorable para ambientes de los Valles Altos de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Antecedentes y material genético

Desde 2010 el programa de mejoramiento genético de Fisiotecnia del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, en el Estado de México, inició los trabajos de adaptación, cruzamiento y estabilización de poblaciones de maíz de grano amarillo, originarias de varias regiones agroecológicas de México.

A partir de esta información se consideraron 13 poblaciones de planta morada, 14 poblaciones con origen común (Elotes Occidentales × Vandeño Negro), 11 poblaciones del programa de mejoramiento genético del Dr. Moisés Mendoza Rodríguez[†] de la Universidad Autónoma Chapingo [cinco poblaciones con origen común (Vs-209 × Ama dulce) y seis con origen común en uno de sus progenitores (MMR-2 H)], tres poblaciones con origen común en alguno de sus progenitores Tucel 60 (*erecta*), tres poblaciones con Uruguay 177A oro, dos poblaciones con origen común en el progenitor (Ama × Pulga palomero), 20 poblaciones nativas (tres de Tlaxcala, ocho de Puebla, cuatro del Estado de México, una de Oaxaca, una de la Meseta Comiteca de Chiapas y tres de Tamaulipas), 20 poblaciones con origen común donde uno de sus progenitores fue alguna de las colectas de Puebla, 14 compuestos sobresalientes por tamaño de mazorca, número de hileras y color de grano, y la generación F₃ del híbrido comercial H-San Marcos.

Sitios experimentales

Se establecieron cinco ensayos uniformes en dos localidades del Estado de México: 1) Montecillo (19° 29' N y 98° 53' O, 2250 msnm, temperatura y precipitación pluvial media anual de 15 °C y 645 mm, respectivamente y clima Cb (wo) (w) (i') g) y, 2) Tecámac (19° 35' N y 98° 55' O, 2298 msnm, temperatura media anual de 14.9 °C y 586 mm de precipitación media anual, y clima Bs₁kw(w)(i')g) (García, 1988), durante los ciclos agrícolas primavera-verano 2014 y 2015.

Diseño y unidad experimental

Los experimentos se realizaron bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de un surco de 5 m de largo y 0.80 m entre surcos. Para el ciclo 2014, las fechas de siembra fueron el 8 de mayo en Montecillo y el 2 de junio en Tecámac. Para 2015, las siembras se hicieron el 15 de mayo en Montecillo, y el 21 de mayo y 12 de junio en primera y segunda fecha de siembra, respectivamente, en Tecámac. Se depositaron dos semillas por golpe cada 0.25 m y después de la

segunda escarda se realizó el aclareo para dejar 21 plantas por unidad experimental y establecer una densidad de población de 50,000 plantas ha⁻¹.

Variables medidas

Para valorar las 101 poblaciones, se registraron las variables: vigor (VGR, como la apariencia de las plántulas en escala 1 a 5, donde 1 fue muy vigorosa y 5 con poco vigor); días a floración masculina (DFM) y femenina (DFF), considerado como el número de días desde la siembra hasta que en el 50 % de las plantas de la unidad experimental ocurriera liberación de polen y exposición de estigmas, respectivamente; asincronía floral (AF) como la diferencia entre DFM y DFF. También, en cinco plantas por unidad experimental se registró la altura de planta (AP) y de mazorca (AMZ) en cm, desde la base del tallo hasta la lígula de la hoja bandera y hasta el nudo de inserción de la mazorca primaria, respectivamente; posición de la mazorca (PoMZ) como la relación entre AP/AMZ; cuateo (CUA) como porcentaje de plantas con dos mazorcas; plantas jorras (JOR) como el porcentaje de plantas sin mazorca con respecto al número total de plantas.

Para obtener los componentes del rendimiento se utilizaron cinco mazorcas representativas de cada unidad experimental y se midió el peso (g) de mazorca (PMZ), longitud (cm) de mazorca (LMZ), diámetro (cm) de mazorca (DMZ), tomado en su parte media, número de hileras por mazorca (HMZ), número de granos por hilera (GHIL), índice de desgrane (ID, calculado como el porcentaje de grano con respecto al peso de la mazorca). Posteriormente, las mazorcas de cada parcela se desgranaron y se registró el peso (g) del grano por mazorca (PGMZ), diámetro de olote (DO, en cm tomado en su parte media) y profundidad de grano (cm) (PROFG, como la diferencia entre DMZ y DO dividida entre dos). El rendimiento de grano por hectárea (kg ha⁻¹), ajustado a 14 % de humedad, se determinó con la fórmula: $RTO = RP \times (100 - PHG) / 86 \times ID \times (10000 / D)$, donde: RP es el peso de mazorcas de la unidad experimental (kg), PHG es el porcentaje de humedad del grano al momento de cosecha, 86 es el factor para estandarizar el rendimiento a 14 % de humedad, ID es el índice de desgrane y D es la superficie de la parcela experimental (m²).

Análisis estadístico

Con la información obtenida, excepto rendimiento de grano, se realizó un análisis de componentes principales (CP) con la matriz de correlaciones entre características, mediante el procedimiento PRINCOMP de SAS® v. 9.4 (SAS Institute, 2013); se elaboró una gráfica con los tres primeros componentes que permitió ubicar a las poblaciones dentro de grupos. Posteriormente, se hizo un análisis

de conglomerados con el procedimiento CLUSTER de SAS, con datos estandarizados y promedio de grupos que permitió su identificación.

Con las variables DFM, DFF, AP, AMZ, LMZ, DMZ, HMZ, GHIL, PGMZ y RTO se analizó el potencial agronómico y de rendimiento de grano mediante un análisis de varianza combinado; con el paquete estadístico SAS® v. 9.4 (SAS Institute, 2013), a través de años, localidades y grupos formados por el análisis de conglomerados; así mismo, se aplicó la prueba de Tukey (0.05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de componentes principales (CP) mostró que en conjunto los tres primeros CP explicaron 75.06 % de la variación fenotípica total de las poblaciones evaluadas, con valores propios de 6.9, 3.6 y 2.9 para CP1, CP2 y CP3, y con explicación de 38.4, 20.3 y 16.4 % de la variabilidad, respectivamente.

De acuerdo con los valores de los vectores propios, CP1 tuvo mayor asociación con las variables PGMZ, PMZ, DMZ, AMZ y POSMZ (tamaño de mazorca y planta). CP2 se asoció mayormente con las variables DFM, DFF y HMZ (fenología). Para CP3 las variables AS, JOR, ID, PROFG, LMZ y DO (dimensiones del grano) presentaron la mayor asociación. Al graficar la dispersión de las poblaciones en el espacio, determinado por los tres primeros componentes principales, se pudo observar la integración de al menos ocho grupos.

La dispersión de las poblaciones con base en CP1, CP2 y CP3 (Figura 1) mostró que las poblaciones fueron contrastantes en su comportamiento, lo que evidencia que provienen de zonas geográficas diferentes. El 95 % de las poblaciones se agruparon en cuatro conjuntos grandes: en el cuadrante negativo de CP1 y positivo de CP2 y CP3 se ubicaron 14 poblaciones que se asemejan por su precocidad (73 DFM), porte bajo en planta y mazorca (179 y 83 cm), mazorcas medianas (13.4 cm), delgadas (4.1 cm) y con bajo peso (89.4 g).

En el cuadrante positivo de los tres CP se ubicó un grupo de seis poblaciones de ciclo intermedio (82 DFM), plantas de porte alto (245 cm), mazorca en posición alta (152 cm), mazorcas de longitud media (15.2 cm), gruesas (5.0 cm) y pesadas (160 g). Ocho poblaciones se concentraron en la parte media de CP1 y positivo de CP2 y CP3, caracterizadas por ser precoces (75 DFM), plantas de porte medio (213 cm), con mazorca en posición media (128 cm), mazorcas de longitud y diámetro medio (13.2 y 4.7 cm) y de peso medio (116 g). En la parte media de la dispersión se ubicó el grupo con la mayor

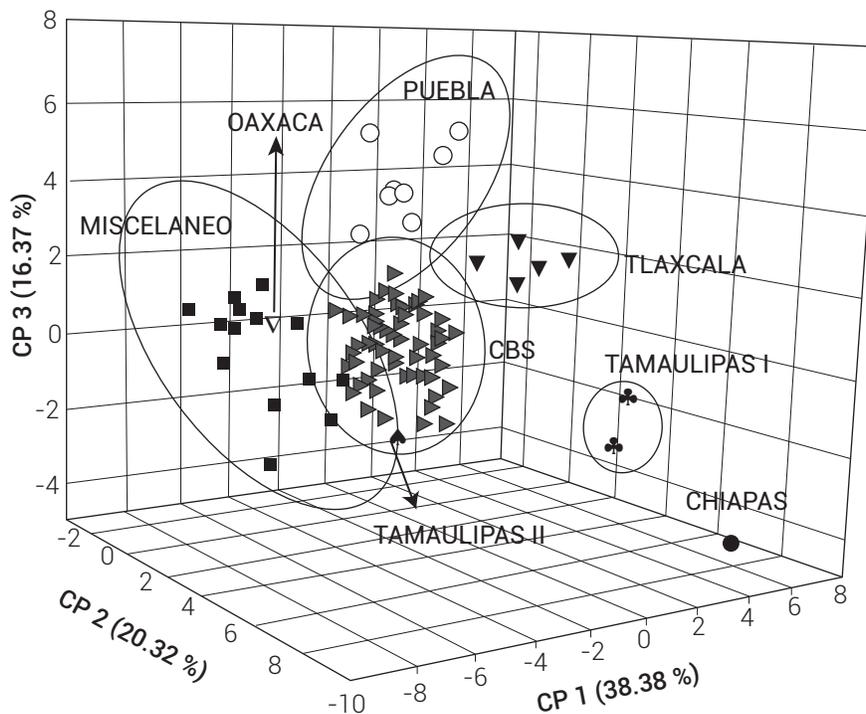


Figura 1. Dispersión de poblaciones de maíz de grano amarillo con base en los tres primeros componentes principales. Se muestran los grupos identificados en el análisis de conglomerados. ♣: Tamaulipas I, ●: Chiapas, ▽: Oaxaca, ▲: Tamaulipas II, ■: Misceláneo, ▽: Tlaxcala, ○: Puebla, ►: Compuestos Balanceados (CBS).

porción de poblaciones (67 %), las cuales correspondieron a poblaciones provenientes de cruza interpoblacionales y compuestos balanceados formados con poblaciones sobresalientes, caracterizadas por su precocidad (76 DFM), porte de planta y posición de la mazorca media (208 y 117 cm), mazorcas largas y diámetro intermedio (16.6 cm y 4.7 cm).

Se pudo observar que hubo poblaciones que se alejaron de la concentración de los grupos grandes (Figura 1); éstas se dispersaron con base en su ciclo biológico, porte de planta y longitud de mazorca. Así, se tuvieron tres poblaciones en el cuadrante positivo de CP2, que se asemejan por las floraciones tardías, aunque se observó que dos de ellas provienen de Tamaulipas (I) y se ubicaron en la parte media de CP1 y en el cuadrante negativo de CP3; la otra población, originaria de la región de Comitán, Chiapas, se ubicó en el cuadrante positivo de CP1 y negativo de CP3, con altura de mazorca, mazorcas largas y de diámetro medio. La otra población proveniente de Tamaulipas (II) se ubicó en el cuadrante positivo de CP2 y negativo de CP1 y CP3, lo que la ubicó como de ciclo intermedio, posición de la mazorca intermedia, mazorca de longitud intermedia y delgada; de acuerdo con Pecina-Martínez y colaboradores (2009), la población Tamaulipas I que sería del grupo 3 de la Huasteca Tamaulipeca y la población Tamaulipas II del grupo 4 de la zona montañosa del suroeste de Tamaulipas,

presentaron un comportamiento similar al encontrado por estos investigadores, ya que las poblaciones introducidas en ambientes contrastantes a su origen presentaron diversidad genética y características propias que las separa del resto de poblaciones. La población de Oaxaca fue la más precoz, de porte bajo y mazorcas medianas y se ubicó en los cuadrantes negativos de CP1, CP2 y CP3 (Figura 1).

En el análisis de conglomerados se definieron ocho grupos con base en las medidas de similitud; en este análisis se observó diversidad, principalmente para duración del ciclo biológico y características de mazorca. Las poblaciones con floraciones tardías y mazorcas grandes se ubicaron en la parte superior del dendrograma, mientras que aquéllas con ciclo precoz y mazorcas de tamaño intermedio se ubicaron en el extremo opuesto (Figura 2).

El grupo Tamaulipas I se caracterizó por presentar floraciones tardías, mazorcas delgadas con diez hileras. La población de Comitán, que formó el grupo Chiapas, tuvo plantas tardías (98 DFM), plantas altas con posición de mazorca muy alta, mazorcas largas (> 18 cm) y diámetro de mazorca intermedio (4.4 cm). El grupo Oaxaca fue el más precoz (67 DFM), de mazorca pequeña (12.4 cm) y con el menor número de granos por hilera. El grupo Tamaulipas II se caracterizó por tener plantas con floración intermedia (81 DFM), porte medio (202 cm de altura),

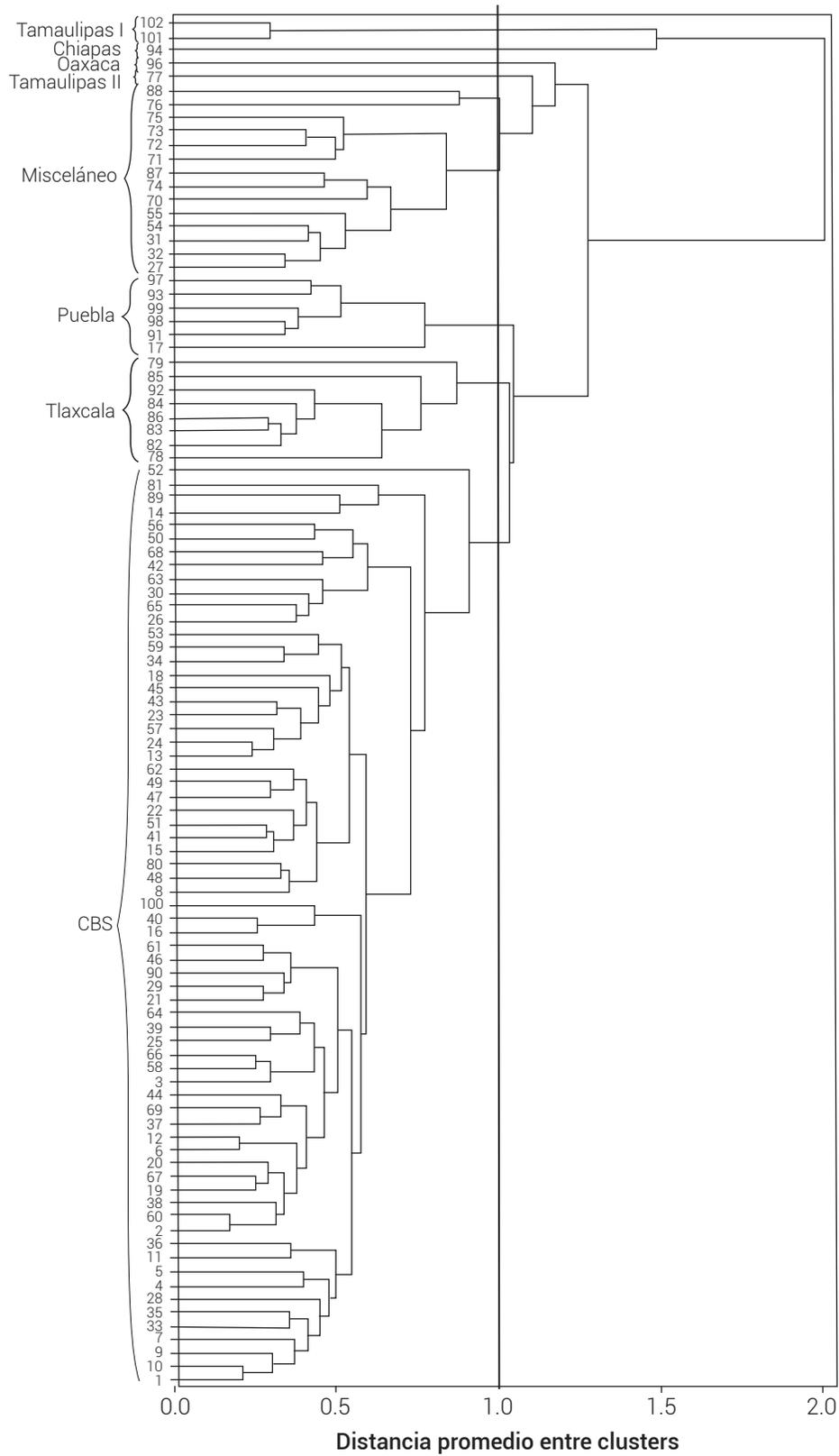


Figura 2. Dendrograma de poblaciones de maíz amarillo evaluadas en Montecillo y Tecámac, Estado de México, durante 2014 y 2015. Grupos: Tamaulipas I, Chiapas, Oaxaca, Tamaulipas II, Misceláneo, Tlaxcala, Puebla, Compuestos Balanceados (CBS).

mayor porcentaje de cuateo y longitud de mazorcas intermedia (13.5 cm). El grupo Misceláneo se formó por 14 poblaciones y se caracterizó por tener plantas precoces (73 DFM), baja altura de planta y de mazorca (179 y 83 cm, respectivamente) y menor peso de mazorca y grano. El grupo Tlaxcala lo conformaron cinco poblaciones de ciclo intermedio, plantas de porte alto, con los valores más altos en diámetro de mazorca, número de hileras y peso de mazorca y grano, y profundidad de grano. El Grupo Puebla se formó por ocho poblaciones, de ciclo precoz, plantas de porte medio, posición de mazorca alta, mazorcas intermedias (13.2 cm) y diámetro de mazorca de 4.5 a 4.7 cm. El grupo Compuestos Balanceados fue el más numeroso, 67 % de las poblaciones se concentraron en este grupo, donde las floraciones oscilaron entre 73 y 84 d, altura de planta media (184 a 229 cm), altura de mazorca media (97 a 133 cm), longitud de mazorca de 14 cm y diámetro de 4.6 cm, con peso de mazorca medio de 128 g (Cuadro 4).

El análisis de varianza combinado (Cuadro 1) mostró diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre años para las variables RTO, AP, AMZ, LMZ y GHIL, así como entre localidades, grupos y poblaciones dentro de grupos para todas las variables estudiadas; también se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre localidades para HMZ. En la interacción años \times localidades se tuvo significancia estadística para RTO y diferencias significativas ($P \leq 0.01$) para FM, FF, AP, AMZ, LMZ, DMZ y HMZ. La interacción años \times grupos fue significativa ($P \leq 0.05$) para LMZ y GHIL y significativa ($P \leq 0.01$) para RTO, FM, FF, AP y AMZ. Para las interacciones localidades \times grupos, años \times localidades \times grupos, años \times poblaciones dentro de grupos, localidades \times poblaciones dentro de grupos y años \times localidades \times poblaciones dentro de grupos, se tuvieron diferencias significativas, $P \leq 0.01$ y $P \leq 0.05$, en al menos 57 y 38 % de las variables evaluadas, respectivamente.

La significancia en las variables fenológicas entre años, localidades, grupos y las interacciones revelan la diversidad y variabilidad de respuestas del germoplasma evaluado, así como la capacidad de respuesta diferenciada de estas poblaciones año con año y bajo los ambientes de prueba, que puedan ser aprovechadas en programas de mejoramiento genético, así también lo mencionan otros investigadores al analizar diferentes variables donde tuvieron resultados similares (Castro-Nava *et al.*, 2014; Hortelano *et al.*, 2012; Pecina *et al.*, 2011).

En 2014 las poblaciones fueron significativamente ($P \leq 0.05$) más precoces, con floraciones promedio diferentes por un día y se tuvieron las mayores alturas de planta y de mazorca. La longitud de mazorca y número de granos por hilera fueron inferiores durante el ciclo agrícola de 2014, mientras que el diámetro y número de hileras por mazorca

no mostraron diferencias significativas; sin embargo, se tuvo una diferencia significativa en el rendimiento de grano hasta de 300 kg en promedio menos, con respecto a 2015, esta diferencia se pudo deber a que se tuvieron mazorcas más largas, mayor número de granos por hilera (Rafiq *et al.*, 2010; Reddy *et al.*, 2013) (Cuadro 2) y a las mejores condiciones ambientales prevalecientes en 2015, sobre todo con una mayor y mejor distribución de precipitación durante el desarrollo del cultivo.

La respuesta de poblaciones entre localidades se puede atribuir a la variabilidad genética de los diferentes grupos que muestran diferente capacidad de respuesta a las condiciones ambientales prevalecientes en cada localidad. En Tecámac, las condiciones fueron más restrictivas para el desarrollo del cultivo, con clima más seco y menor promedio de precipitación, comparado con Montecillo, que tuvo mejores condiciones pues las plantas crecieron bajo riego, con mayor temperatura, precipitación y humedad relativa.

Las siembras en Montecillo fueron 3 d más precoces y las alturas de planta y de mazorca fueron significativamente mayores en 17 y 19 %, respectivamente, con respecto a las que se realizaron en Tecámac; ésto pudo deberse en parte a las condiciones más frías y secas en la localidad de Tecámac, puesto que las alturas de planta y de mazorca están influenciadas por el ambiente (Lagos *et al.*, 2015). Las poblaciones exhibieron un mayor desarrollo vegetativo, expresado en altura de planta, bajo el clima menos frío de Montecillo; además, las dimensiones de la mazorca fueron significativamente mayores, con un mayor rendimiento de grano de hasta 27 % más con respecto al de Tecámac (Cuadro 3).

Los promedios para las variables agronómicas, de mazorca y rendimiento de grano en los diferentes grupos formados por el análisis de conglomerados se muestran en el Cuadro 4. Por su ciclo biológico los grupos Tamaulipas I y Chiapas tuvieron las poblaciones más tardías (≥ 90 d), seguidos por los grupos intermedios Tamaulipas II y Tlaxcala (81 y 82 DFM), los grupos Misceláneo, Puebla y Compuestos Balanceados fueron precoces (73, 75 y 76 d) y el grupo Oaxaca, con floraciones ≤ 70 d, fue súper-precoz.

En relación con altura de planta, la mayor la presentaron los grupos Tamaulipas I, Chiapas y Tlaxcala (249, 295 y 245 cm, respectivamente); los grupos Oaxaca, Tamaulipas II, Puebla y Compuestos Balanceados fueron de porte medio (194, 202, 213 y 208 cm, respectivamente) y el grupo Misceláneo (179 cm) de plantas con porte bajo. Para altura de la mazorca, el grupo Chiapas fue de posición muy alta (≥ 160 cm), los grupos Tamaulipas I, Tlaxcala y Puebla, alta (entre 121 y 160 cm), los grupos Tamaulipas II y Compuestos Balanceados de altura media (entre 100

Cuadro 1. Cuadros medios del análisis de varianza combinado para variables agronómicas y morfológicas de la evaluación de grupos de poblaciones de maíz amarillo. Montecillo y Tecámac, Estado de México, 2014 y 2015.

Fuente	GL	RTO	FM	FF	AP	AMZ	LMZ	DMZ	HMZ	GHIL
A	1	24,294,329 **	4.8 ns	19.7 ns	135352.8 **	42208.1 **	48.7 **	0.07 ns	0.5 ns	83.6 **
L	1	229,311,780 **	296.0 **	492.3 **	167297.6 **	66933.9 **	302.0 **	9.93 **	8.2 *	1191.7 **
A x L	1	3,507,010 *	442.1 **	499.6 **	24459.1 **	7761.3 **	18.3 **	0.61 **	17.5 **	17.6 ns
R(A x L)	12	1,241,041 ns	37.7 **	50.3 **	4732.1 **	9212.0 **	5.8 **	0.36 **	2.6 *	40.5 **
G	7	192,348,866 **	4565.1 **	4660.8 **	87114.7 **	94070.1 **	141.4 **	13.47 **	185.1 **	457.5 **
P(G)	93	7,374,033 **	97.5 **	91.4 **	1494.9 **	1506.2 **	6.4 **	0.40 **	10.0 **	31.3 **
A x G	6	3,317,750 **	13.7 **	20.0 **	2348.9 **	1804.0 **	4.3 *	0.04 ns	0.4 ns	24.1 *
L x G	7	14,663,755 **	56.0 **	33.2 **	1473.7 **	1791.0 **	7.0 **	0.22 **	1.6 ns	29.9 **
A x L x G	6	6,129,828 **	64.1 **	60.7 **	817.1 **	531.1 **	3.0 ns	0.24 **	3.9 **	18.1 ns
A x P(G)	91	3,048,193 **	10.0 **	12.2 **	321.9 **	373.6 **	2.3 **	0.12 **	2.0 **	9.6 ns
L x P(G)	93	1,590,631 **	16.5 **	13.7 **	225.5 ns	210.4 **	1.2 ns	0.06 ns	1.3 ns	6.6 ns
A x L x P(G)	91	1,933,001 **	9.1 **	9.3 **	202.0 ns	136.4 ns	1.0 ns	0.06 ns	1.4 ns	6.5 ns
Error [§]	1566	842,323	4.7	5.5	203.5	131.0	1.5	0.06	1.3	10.8
CV (%)		20.9	2.8	3.0	6.9	9.8	8.6	5.37	8.0	11.3

*, **, ns: significativo (P ≤ 0.05, 0.01) y no significativo; RTO: rendimiento de grano; FM: días a floración masculina; FF: días a floración femenina; AP: altura de planta; AMZ: altura de mazorca; LMZ: longitud de mazorca; DMZ: diámetro de mazorca; HMZ: número de hileras por mazorca; GHIL: número de granos por hilera; A: años; L: localidades; G: grupos; P: poblaciones; R: repeticiones; CV: coeficiente de variación. [§]GL del error para DFM, DFF, AS = 1576; y para AP, AMZ, LMZ, DMZ, HMZ, GHIL = 1573.

Cuadro 2. Valores promedio para floraciones y características morfológicas y de rendimiento de poblaciones de maíz amarillo evaluadas en dos localidades durante 2014 y 2015.

Año	FM	FF	AP (cm)	AMZ (cm)	RTO (t ha ⁻¹)	LMZ (cm)	DMZ (cm)	HMZ	GHIL
2014	76 b	78 b	229 a	128 a	4.2 b	14.1 b	4.6 a	14.6 a	28 b
2015	77 a	79 a	194 b	109 b	4.5 a	14.5 a	4.6 a	14.5 a	29 a
DSH (0.05)	0.6	0.7	6.9	9.6	0.1	0.2	0.1	0.2	0.6

Medias con letras iguales en las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). RTO: rendimiento de grano; FM: días a floración masculina; FF: días a floración femenina; AP: altura de planta; AMZ: altura de la mazorca; LMZ: longitud de mazorca; DMZ: diámetro de mazorca; HMZ: número de hileras por mazorca; GHIL: número de granos por hilera; DSH: diferencia significativa honesta.

Cuadro 3. Valores promedio de localidades para días a floraciones y características morfológicas y de rendimiento de poblaciones de maíz amarillo. Montecillo y Tecámac, Estado de México, 2014 y 2015.

Localidad	FM	FF	AP (cm)	AMZ (cm)	RTO (t ha ⁻¹)	LMZ (cm)	DMZ (cm)	HMZ	GHIL
Montecillo	74 b	77 b	232 a	132 a	5.2 a	15.1 a	4.7 a	14.6 a	30 a
Tecámac	77 a	80 a	192 b	106 b	3.8 b	13.9 b	4.5 b	14.5 b	28 b
DSH (0.05)	0.6	0.7	6.9	9.6	0.1	0.2	0.1	0.2	0.6

Medias con letras iguales en las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). RTO: rendimiento de grano; FM: días a floración masculina; FF: días a floración femenina; AP: altura de planta; AMZ: altura de la mazorca; LMZ: longitud de mazorca; DMZ: diámetro de mazorca; HMZ: número de hileras por mazorca; GHIL: número de granos por hilera; DSH: diferencia significativa honesta.

Cuadro 4. Promedios de grupos de poblaciones de maíz amarillo para variables agronómicas y morfológicas. Montecillo y Tecámac, Estado de México, 2014-2015.

Grupo	n	FM	FF	AP (cm)	AMZ (cm)	RTO (t ha ⁻¹)	LMZ (cm)	DMZ (cm)	HMZ	GHIL
Tamaulipas I	2	103 a	106 a	249 b	152 b	3.6 bc	14.3 b	3.9 e	10 d	30 b
Chiapas	1	98 b	101 b	295 a	201 a	4.9 a	18.5 a	4.4 c	11 d	33 a
Oaxaca	1	67 f	70 g	194 e	100 e	3.9 b	12.4 d	4.8 b	12 c	23 e
Tamaulipas II	1	81 c	83 d	202 de	113 d	3.9 b	13.5 c	4.1 d	12 c	27 cd
Misceláneo	14	73 e	75 f	179 f	83 f	2.7 d	13.4 c	4.1 d	13 b	27 cd
Tlaxcala	6	82 c	85 c	245 b	152 b	4.8 a	15.2 b	5.0 a	15 a	29 bc
Puebla	8	75 d	78 e	213 c	128 c	3.1 cd	13.2 cd	4.7 b	15 a	27 d
CBS	68	76 d	78 e	208 cd	117 d	4.8 a	14.6 b	4.7 b	15 a	30 b
DSH (0.05)		1.5	1.6	9.9	8	0.6	0.9	0.2	0.8	2.3

Medias con letras iguales en las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). n: número de poblaciones contenidas en cada grupo; RTO: rendimiento de grano; FM: días a floración masculina; FF: días a floración femenina; AP: altura de planta; AMZ: altura de la mazorca; LMZ: longitud de mazorca; DMZ: diámetro de mazorca; HMZ: número de hileras por mazorca; GHIL: número de granos por hilera; DSH: diferencia significativa honesta.

y 120 cm), y los grupos Oaxaca y Misceláneo con mazorca baja (entre 61 a 100 cm); se considera que una menor altura de mazorca podría significar un mayor número de hojas que provean fotoasimilados a la mazorca, y en consecuencia, un mayor rendimiento de grano (Bahena *et al.*, 2017; Lambert, 2010; Lambert *et al.*, 2014).

Con respecto a las características de la mazorca, el

grupo Chiapas tuvo significativamente las mazorcas más largas (18.5 cm), hasta 6.0 cm más largas que el grupo Oaxaca que tuvo las mazorcas más cortas (12.4 cm); los grupos Tamaulipas I, Tlaxcala y Compuestos Balanceados fueron estadísticamente iguales, con longitud de mazorca intermedia (14.3, 15.2 y 14.6 cm), mientras los grupos Tamaulipas II, Misceláneo y Puebla fueron estadísticamente iguales, con longitud de mazorca intermedia entre 13.2

y 13.5 cm. El diámetro de mazorca fue mayor en el grupo Tlaxcala, hasta 22 % más con respecto a las mazorcas de las poblaciones del grupo Tamaulipas I. Para el número de hileras por mazorca, los grupos Tlaxcala, Puebla y Compuestos Balanceados tuvieron los valores más altos, que correspondieron también a los de mayor diámetro de mazorca, mientras que el grupo Chiapas tuvo el mayor número de granos por hilera, que coincidió también con la mayor longitud de mazorca. Los grupos Chiapas, Tlaxcala y Compuestos Balanceados fueron estadísticamente iguales en rendimiento de grano y tuvieron los valores más altos; estas poblaciones presentaron el mayor número de hileras por mazorca y una tendencia hacia mayor número de granos por hilera, que son dos de los principales componentes del rendimiento (Pecina *et al.*, 2011) (Cuadro 4).

Los resultados muestran la gama de opciones de uso que existen en estas poblaciones de maíz de grano amarillo, para aprovechar las características genéticas y fenotípicas dentro de los programas de mejoramiento, como son la precocidad (grupos Oaxaca, Misceláneo, Puebla y Compuestos Balanceados) y también poblaciones de porte bajo a medio, aptas en ambientes restrictivos para obtener una mayor producción de grano o para su manejo en altas densidades de población bajo riego con altas dosis de fertilización, o poblaciones intermedias (grupos Tamaulipas II y Tlaxcala) para ambientes donde las condiciones ambientales sean más favorables. Así también, se evidencia la existencia de poblaciones de grano amarillo con rendimientos atractivos; específicamente, se encuentran en los grupos Chiapas, Tlaxcala y Compuestos Balanceados que fueron superiores en 36, 32 y 35 % al rendimiento medio (3.68 y 3.72 t ha⁻¹) observado para el Distrito de Desarrollo Rural Texcoco en 2014 y 2015 (SIAP, 2017) y cercanos a lo reportado por otros trabajos con materiales mejorados (6.0 t ha⁻¹) (Herrera-Cabrera *et al.*, 2013). Aunado a lo anterior, se pudo constatar que los maíces nativos amarillos cuentan con características agronómicas y de adaptación al ambiente que se expresan en la amplia diversidad genética, condición que se pueden aprovechar en los programas de mejoramiento para áreas de riego, temporal o condiciones restrictivas.

CONCLUSIONES

La amplia diversidad fenotípica encontrada en las poblaciones de maíz amarillo para los Valles Altos de México se expresó entre los grupos de poblaciones, donde las variables de mayor influencia para la formación de éstos fueron las relacionadas con fenología, altura de planta y dimensiones de mazorca y grano. Lo anterior es importante para el aprovechamiento de las poblaciones nativas de maíz amarillo de México, en la búsqueda y desarrollo

de nuevas variedades con mayor potencial productivo, de adaptación y con mejores características nutricionales. Se identificaron poblaciones sobresalientes que se pueden aprovechar por sus características de precocidad, altura de planta, buenas características de mazorca y rendimientos mayores a 4.5 t ha⁻¹. Las poblaciones de los grupos Oaxaca, Misceláneo, Puebla y Compuestos Balanceados, por su precocidad y porte bajo a medio, son factibles para su aprovechamiento inmediato en ambientes restrictivos y con manejo en altas densidades, mientras aquellas de ciclo intermedio de los grupos Tamaulipas II y Tlaxcala son para condiciones ambientales más favorables. Los grupos Tlaxcala y Compuestos Balanceados tuvieron mejores características de mazorca y los promedios de rendimiento más altos (4.8 t ha⁻¹).

BIBLIOGRAFÍA

- Bahena D. G., A. Castillo G., E. Broa R., M. D. Olvera S., M. A. Jaime H. y F. García M. (2017) Respuesta agronómica de maíces híbridos a la fertirrigación en Xalostoc, Morelos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8:531-543.
- Castro-Nava S., C. A. Reyes-Méndez y A. J. Huerta (2014) Diversidad genética de características del área foliar en maíces nativos de Tamaulipas bajo altas temperaturas. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37:217-223.
- Damián-Huato M. A., A. Cruz-León, B. Ramírez-Valverde, O. Romero-Arenas, S. Moreno-Limón y L. Reyes-Muro (2013) Maíz, alimentación y productividad: modelo tecnológico para productores de temporal de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 10:157-156.
- Espinosa C. A., M. Tadeo R., N. Gómez M., M. Sierra M., J. Virgen V., A. Palafox C. F. Caballero H., G. Vázquez C., F. A. Rodríguez M., R. Valdivia B., I. Arteaga E. e I. González R. (2011) 'V-55 A', variedad de maíz de grano amarillo para los Valles Altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34:149-150.
- Espinosa-Calderón A., M. Tadeo-Robledo, A. Turrent-Fernández, M. Sierra-Macias, N. Gómez-Montiel y B. Zamudio-González (2013) Rendimiento de variedades precoces de maíz grano amarillo para Valles Altos de México. *Agronomía Mesoamericana* 24:93-99.
- Fernández S. R., L. A. Morales C. y A. Gálvez M. (2013) Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36:275-283.
- García E. (1988) Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen; para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana. 4ta edición. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 217 p.
- García-Salazar J. A. y R. Ramírez Jaspeado (2014) El mercado de la semilla mejorada de maíz (*Zea mays* L.) en México. Un análisis del saldo comercial por entidad federativa. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37:69-77.
- Herrera-Cabrera B. E., F. Castillo-González, R. A. Ortega-Pazkca y A. Delgado-Alvarado (2013) Poblaciones superiores de la diversidad de maíz en la región oriental del Estado de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36:33-43.
- Hortelano S. R. R., A. Gil M., A. Santacruz V., H. López S., P. A. López y S. Miranda C. (2012) Diversidad fenotípica de maíces nativos del altiplano centro-oriente del estado de Puebla, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35:97-109.
- Lagos B. T. C., F. J. Torres M. y C. A. Benavides C. (2015) Comportamiento agronómico de poblaciones de maíz amarillo *Zea mays* L. en la región andina del departamento de Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas* 32:12-23.
- Lambert R. J. (2010) Divergent selection for ear leaf area in maize. *Maydica* 55:155-161.
- Lambert R. J., B. D. Mansfield and R. H. Mumm (2014) Effect of leaf area on maize productivity. *Maydica* 59:58-64.

- Pecina-Martínez J. A., M. C. Mendoza-Castillo, J. A. López-Santillán, F. Castillo-González y M. Mendoza-Rodríguez (2009) Respuesta morfológica y fenológica de maíces nativos de Tamaulipas a ambientes contrastantes de México. *Agrociencia* 43:681-694.
- Pecina M. J. A., M. C. Mendoza C., J. A. López S., F. Castillo G., M. Mendoza R. y J. Ortiz C. (2011) Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34:85-92.
- Rafiq C. M., M. Rafique, A. Hussain and M. Altaf (2010) Studies on heritability, correlation and path analysis in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Agricultural Research* 48:35-38.
- Reddy V. R., F. Jabeen, M. R. Sudarshan and A. S. Rao (2013) Studies on genetic variability, heritability, correlation and path analysis in maize (*Zea mays* L.) over locations. *International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology* 4:195-199.
- SAS Institute (2013) Base SAS 9.4. Procedures Guide. Statistical Procedures. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. 568 p.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2017) Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA, Ciudad de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Marzo, 2017).
- United Nations (2017) World Population Prospects 2017. Probabilistic Projections. Population Division. United Nations. New York. <https://population.un.org/wpp/Download/Probabilistic/Population/> (October, 2018).