



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GENÉTICA

**RENDIMIENTO Y CALIDAD DE GRANO DE MAÍZ
TUXPEÑO ADAPTADO A VALLES ALTOS**

NORMA SANTIAGO LOPEZ

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO,

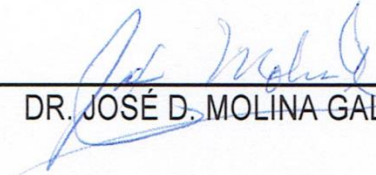
2014

La presente tesis, titulada: **RENDIMIENTO Y CALIDAD DE GRANO DE MAÍZ TUXPEÑO ADAPTADO A VALLES ALTOS**, realizada por la alumna: **NORMA SANTIAGO LOPEZ**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GENÉTICA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 
DR. J. JESÚS GARCÍA ZAVALA

ASESOR: 
DR. JOSÉ D. MOLINA GALÁN

ASESOR: 
DR. JOSÉ APOLINAR MEJÍA CONTRERAS

ASESOR: 
DR. ARMANDO ESPINOZA BANDA

ASESOR: 
M.C. ULISES SANTIAGO LÓPEZ

Montecillo, Texcoco, México, 8 de diciembre de 2014

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la vida, paciencia, salud y entendimiento.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo otorgado durante mi formación académica como Maestra en Ciencias.

Al Colegio de Postgraduados, por darme la oportunidad de seguir con mis estudios.

Al Dr. J. Jesús García Zavala, quien fue mi Profesor Consejero y director de tesis. Por su disposición, apoyo, comprensión y aportación durante la realización de la presente investigación.

Al Dr. José D. Molina Galán, por su indispensable apoyo y valiosas aportaciones.

Al Dr. J. Apolinar Mejía Contreras, por sus observaciones y sugerencias para la elaboración de esta tesis.

Al Dr. Armando Espinoza Banda, por su importante apoyo y contribución en los objetivos de mi vida.

Al M.C. Ulises Santiago López, por su valiosa ayuda en el análisis estadístico y sobre todo por ser un buen hermano, compañero, amigo y una excelente persona en mi vida.

A todos mis Profesores, por sus grandes y profundos conocimientos transmitidos durante mis estudios de maestría en ciencias.

DEDICATORIA

En especial a mi hija Griselda Itandehui Cruz Santiago y a mi esposo Fidencio Cruz Bautista, quienes son mi inspiración, alegría y compañeros en la vida.

A mis padres Félix Santiago Ramos y Senorina López Cruz, por darme la vida; por su amor, comprensión, confianza y apoyo incondicional.

A mis hermano(a)s: Elizabeth, Guadalupe, Ulises y Arquímedes, por el cariño, confianza y amor que siempre me han brindado.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN GENERAL.....	1
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	4
BIBLIOGRAFÍA.....	8
CAPÍTULO II ADAPTACIÓN DE MAÍZ TUXPEÑO A VALLES ALTOS MEDIANTE SELECCIÓN MASAL	11
2.1 RESUMEN.....	11
2.2 INTRODUCCIÓN.....	13
2.3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
2.5 CONCLUSIONES.....	20
2.6 BIBLIOGRAFÍA.....	21
CAPÍTULO III RENDIMIENTO DE GRANO DE POBLACIONES DE MAÍZ TUXPEÑO ADAPTADO AL VALLE DE MÉXICO	23
3.1 RESUMEN.....	23
3.2 INTRODUCCIÓN.....	25
3.3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
3.5 CONCLUSIONES.....	32
3.6 BIBLIOGRAFÍA.....	33
CAPÍTULO IV CALIDAD DE HARINA NIXTAMALIZADA DE POBLACIONES DE MAÍZ TUXPEÑO ADAPTADO AL VALLE DE MÉXICO	35
3.1 RESUMEN.....	35
3.3 INTRODUCCIÓN.....	37
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
3.6 CONCLUSIONES.....	45
3.7 BIBLIOGRAFÍA	45
V. DISCUSIÓN GENERAL.....	46
VI. CONCLUSIONES GENERALES	47

RENDIMIENTO Y CALIDAD DE GRANO DE MAÍZ TUXPEÑO ADAPTADO A VALLES ALTOS

YIELD AND GRAIN QUALITY OF TUXPEÑO MAIZE ADAPTED TO HIGH VALLEYS

Norma Santiago López, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2014

RESUMEN GENERAL

A pesar de la amplia variabilidad genética del maíz (*Zea mays* L.) en México, la utilización de ésta en el mejoramiento genético se ha restringido a un reducido número de variedades localmente adaptadas a cada región, por lo que el uso de germoplasma de maíz tropical exótico adaptado en zonas templadas es una tarea pendiente de completar todavía.

Por otro lado, la calidad del grano de maíz es muy importante, ya que este cereal es el componente principal de la dieta de los mexicanos, pues provee el 38.8% de proteínas, 45.2% de calorías y 49.15% del calcio, el cual es consumido diariamente, principalmente en las tortillas de maíz nixtamalizado; por ello, los agricultores prefieren sembrar aquellos híbridos y variedades que la industria de harinas nixtamalizadas y molineros en general consideran con calidad para sus productos. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el comportamiento agronómico y la calidad del grano de poblaciones exóticas de maíz Tuxpeño adaptadas al Valle de México. El trabajo experimental se estableció en los campos experimentales del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo (COLPOS), y del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicados ambos en el municipio de Texcoco, Estado de México, y donde prevalecen condiciones de clima templado. El material genético consistió de cuatro poblaciones de maíz Tuxpeño, cada una en sus versiones de ciclo uno (desadaptado) y ciclo siete de selección (adaptado); cuatro cruzas de la Población Tuxpeño 4 C10 por cuatro variedades de maíz Chalqueño; tres cruzas entre la Población Tuxpeño 4 C10 y las poblaciones adaptadas de Tuxpeño 1, 2, 3; y los testigos comerciales: H-S2, Promesa y San José.

La siembra de los materiales en ambas localidades se hizo en la segunda quincena de mayo de 2013; se usó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. La parcela

experimental consistió de 52 plantas sembradas en dos surcos de 6 m, con separación de 80 cm entre surcos y de 50 cm entre plantas.

Se midieron las variables rendimiento, floración masculina, floración femenina, altura de planta, altura de mazorca, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras y de granos por hilera. Para la determinación de calidad de harina del maíz Tuxpeño se evaluaron y compararon los ciclos originales, ciclo uno, con respecto a los avanzados ciclo siete, midiendo variables como porcentaje de humedad, peso hectolítrico, índice de flotación, impureza, peso de cien granos, y porcentajes de pedicelo, pericarpio, germen y grano. Los resultados indicaron que el rendimiento de los materiales fue diferente entre los ambientes. Los ciclos avanzados de las poblaciones de Tuxpeño probaron estar adaptados a Valles Altos, pues su rendimiento fue significativamente superior al del ciclo inicial; y la calidad del grano aun no alcanza los niveles deseados por las industrias harineras; no obstante, cabe señalar que la calidad del maíz Tuxpeño mejorado se incrementó en un 25%. Por otro lado, las cruzas de Chalqueño con Tuxpeño tuvieron un alto rendimiento a través de ambientes, y algunas de ellas rindieron tanto como los testigos, esto por efecto de una marcada heterosis intervarietal. Las cruzas de Tuxpeño x Tuxpeño no interaccionaron con el ambiente y tuvieron rendimientos altos, comparados con el del Chalqueño.

El incremento en el rendimiento del maíz Tuxpeño adaptado fue resultado de cambios genéticos favorables ocurridos durante la selección recurrente para adaptación, y se comprueba que el material tropical exótico adaptado a Valles Altos es una fuente valiosa de nuevos alelos para el mejoramiento del maíz local templado.

Palabras clave: *Zea mays*, adaptabilidad, cruzas, maíz Tuxpeño y Chalqueño, poblaciones, rendimiento, selección.

GENERAL ABSTRACT

Despite the wide genetic variability of maize (*Zea mays* L.) in Mexico, the use of such variability for maize genetic improvement has been restricted to a small number of locally adapted varieties for each region, so that the use of exotic tropical germplasm of maize adapted to temperate zones is a pending task of completing yet.

On the other hand, the quality of the maize kernel is very important, since maize grain is the main component of the diet of Mexicans, as it provides 38.8% of protein, 45.2% of calories and 49.15% of calcium, which is consumed daily, mainly in nixtamalized corn tortillas; therefore, farmers prefer to plant those hybrids and varieties that the industry of nixtamalized flour and millers generally consider of quality for their products. The aim of this study was to evaluate the agronomic performance and quality of grain of exotic populations of Tuxpeño maize adapted to the Valley of Mexico. The experimental work was established in the experimental fields of the Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo (COLPOS) and the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), both located in the municipality of Texcoco, State of México, where temperate conditions prevail. The genetic material consisted of four maize populations of Tuxpeño, each one in their versions cycle one (disadapted) and cycle seven of mass selection (adapted); four crosses of the Tuxpeño Population 4 C10 by four varieties of Chalqueño maize; three crosses of the Tuxpeño Population 4 C10 by the adapted Tuxpeño populations 1, 2, 3; and the commercial checks: H-S2, Promesa, and San José.

The materials were planted at both locations in the second half of May 2013 using a randomized complete block design with three replications. The experimental plot consisted of 52 plants planted in two rows of 6 m, with a separation of 80 cm between rows and 50 cm between plants. The traits measured were male flowering, silking, plant height, ear height, ear length, ear diameter, and number of rows and kernels per row.

For determining the quality of corn flour, it was compared the original cycles of Tuxpeño to the cycle seven measuring traits such as humidity percentage, hectolitic weight, flotation index, impurity, weight of one hundred grains, and percentages of pedicel, pericarp, germ, and grain. Results indicated that yield of the materials was different between environments. The advanced cycles of Tuxpeño populations proved to be adapted to the Valley of Mexico because their yield performance was much higher than that one of the initial cycles. Grain quality has not yet reached the desired levels that flour industries require; nevertheless, it should be noted that the quality of the improved Tuxpeño maize increased by 25%. On the other hand, crosses of Chalqueño with Tuxpeño had a high yield across environments, and some crosses yielded as much as the best check due to an intervarietal marked heterosis. Crosses of Tuxpeño x Tuxpeño did not interact with the environment and had high yields compared with the Chalqueño.

The increase of yield in the adapted Tuxpeño maize was the result of favorable genetic changes that occurred during the recurrent selection process for adaptation, and it could be verified that the exotic tropical materials adapted to High Valleys are a valuable source of new alleles for the improvement of local temperate maize.

Keywords: *Zea mays*, adaptability, crosses, Tuxpeño and Chalqueño maize, cycles, yield performance, selection.

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El maíz (*Zea mays* L.) es una especie única en el mundo, por la gran diversidad genética de la planta, de la mazorca y del grano; por su adaptación a grandes rangos de ambientes; por su resistencia a enfermedades e insectos; por su tolerancia a distintos estreses ambientales, por sus múltiples usos como alimento humano o animal, y por la gran variedad de productos artesanales, de construcción e industriales que se obtienen a partir de ésta (Paliwal *et al.*, 2001).

A pesar de que el maíz es la especie cultivada más importante en México, de la superficie total sembrada con este cultivo en el país, únicamente el 25 % de ésta se siembra con semilla mejorada (Espinosa-Calderón *et al.*, 2009), y en el 75 % de la superficie restante se utilizan semillas nativas (criollas) o variedades mejoradas acriolladas en diferentes formas, por lo que los mejoradores tienen la tarea actual de incrementar la oferta de materiales mejorados atractivos a los productores, pero preservando la diversidad genética de los materiales criollos.

No obstante que en México se siembran materiales criollos en mayor proporción, nuestro país produce el 2.7 % del maíz en el mundo (22 millones de toneladas en 2014), siendo el 6° productor a nivel global, detrás de Estados Unidos, China, Unión Europea, Ucrania y Argentina; el rendimiento promedio por hectárea es de 3.2 toneladas, y la producción representa el 11% del consumo mundial.

En los Valles Altos de México, que se localizan en los estados de: Puebla, Hidalgo, Tlaxcala, Querétaro, Michoacán, Morelos, Estado de México y el Distrito Federal, con una altitud superior a 2 200 m, se cultivan cerca de 1.5 millones de hectáreas con maíz, lo cual representa cerca de 20% de la superficie nacional establecida con esta especie; de dicha extensión, cerca del 50% (700 000 ha) se ubican en zonas de riego y buen temporal (Turrent, 1994), con un rendimiento medio estatal de 3.7 t ha⁻¹.

A pesar de la amplia variabilidad genética de germoplasma de maíz en México (Sánchez y Goodman, 1992), su utilización se ha restringido a un reducido número de variedades localmente adaptadas a cada región (Molina, 1990). Por ello, la introducción de material genético de áreas ecológicas diferentes a la del lugar del programa de mejoramiento genético (germoplasma “exótico”) ha sido practicada por varios investigadores (Brown, 1975; Hallauer, 1978; Goodman, 1985), quienes señalan que una de las principales aportaciones de la introducción de germoplasma exótico es el incremento de la diversidad genética para ampliar la fuente de genes de resistencia a enfermedades y plagas, así como para incrementar el rendimiento y la heterosis. Sin embargo, el germoplasma exótico generalmente no se utiliza *per se*; y los problemas de adaptación han sido la principal objeción para utilizarlo en los programas locales de mejoramiento (Arellano, 1983; Molina, 1990). Entonces, antes de cruzarlo con materiales locales o de usarlo *per se*, se sugiere hacer selección a bajas presiones por varios ciclos para adaptarlo. Así, en diversos trabajos en Valles Altos (Navas y Cervantes, 1991; Molina, 1993; Pérez-Colmenares *et al.*, 2000) se ha demostrado las bondades del potencial del germoplasma tropical adaptado por selección como estrategia para incrementar la diversidad genética del maíz local.

En el Colegio de Postgraduados se inició la selección para adaptación de maíz Tuxpeño a partir del año 1989 en Montecillo, Estado de México. Las variedades introducidas fueron sometidas a selección masal visual estratificada (Molina, 1983), obteniéndose ocho ó más ciclos de selección en Tuxpeño y otras variedades.

El maíz Tuxpeño se caracteriza por sus mazorcas grandes, cilíndricas, de grano dentado, predominando el color blanco, pero puede presentar diversos colores. Tiene un alto número de hileras y granos por hilera, lo que la hace ser una de las razas más productivas de México; presenta muy buena calidad agronómica en planta y resistencia a enfermedades. (CONABIO, 2010; Wellhausen *et al.*, 1951).

La raza de maíz Tuxpeño predomina en grandes áreas de México, principalmente en las partes bajas tropicales, así como en las subtropicales; presenta mayor concentración hacia la vertiente del Golfo de México; predomina su cultivo en primavera-verano, y las áreas con disposición de riego permiten su cultivo en el ciclo otoño-invierno; tiene un amplio y variado uso, para tortilla, elote, pozol (bebida fermentada muy apreciada en las zonas tropicales del país), tamales, etc., (CONABIO, 2011); es muy importante a nivel nacional por su producción y productividad, y también es la más utilizada para mejoramiento genético, por sus características agronómicas

sobresalientes. Es también fuente de germoplasma en la ampliación de la base genética de híbridos en los Estados Unidos de Norteamérica (Bellon *et al.*, 2005; Gámez *et al.*, 1996; Goodman, 1999; Mafuru *et al.*, 1999; Morris y López-Pereira, 2000; Ortega, 1985; Wellhausen *et al.*, 1951; Wellhausen, 1990).

Los avances tecnológicos en la agricultura, particularmente en el cultivo del maíz, han llevado al reemplazo de variedades nativas por mejoradas en muchas regiones; entonces hace falta preservar la variabilidad de los materiales nativos de las regiones y a la vez aumentar la diversidad genética de los mismos mediante la introducción de germoplasma exótico. A partir de esto y de la premisa de que la adaptabilidad es un carácter heredado genéticamente por las plantas a través de su proceso evolutivo, y de que su valor relativo está determinado principalmente por el grado de estabilidad y productividad de las variedades sometidas a diferentes ambientes, sus implicaciones en el mejoramiento de plantas son muy importantes para obtener la combinación de genes y acumulación de alelos favorables que dan como resultado el potencial genético de una especie.

Debido a que el rendimiento es una medida de la capacidad reproductiva (Hallauer *et al.*, 2010), se infiere que el grado de adaptación del maíz exótico está relacionado con su capacidad de producir una descendencia robusta en la zona donde éste se introdujo. Así, desde el punto de vista agronómico, Lin y Binns (1994) definen al término adaptabilidad como la capacidad de rendimiento de un cultivo: un cultivar se considera bien adaptado a una región si su rendimiento es alto en relación con el resto de los cultivares locales; en contraste, la estabilidad se refiere a la variabilidad del rendimiento: un cultivar se considera estable si la variabilidad de su rendimiento es baja a través de ambientes.

Actualmente, para elaborar un programa de mejoramiento genético en maíz, además de estudiar los atributos agronómicos del germoplasma, se deben considerar los aspectos de calidad, por el hecho de que los agricultores prefieren sembrar aquellos materiales que satisfagan la exigencia de la industria de harinas nixtamalizadas y de los consumidores. En la actualidad, el ritmo de vida ha llevado a la gente a cambiar sus costumbres alimenticias, ejemplo de ello es consumir tortillas de harina de maíz nixtamalizado, expandidas en tortillerías, o comprar la harina instantánea para elaborarlas, lo cual ahorra tiempo y esfuerzo, porque únicamente es necesario rehidratar esta harina para obtener masa fresca y fabricar las tortillas.

En los Valles Altos (>2200 msnm), gran parte del maíz producido tiene problemas de comercialización, debido a que la industria de harina nixtamalizada (IHN) demanda maíces de

tamaño mediano a grande (peso de cien granos “PCG” $>33\text{g}$) que sea retenido en 90% de la criba de 6/64”, con grano duro (índice de flotación “IF” $<20\%$), proporción de endospermo corneo superior a 48% y color de harina nativa superior a 77% de reflectancia, en tanto que la industria de masa y tortilla (IMT) demanda maíces duros e intermedios (IF=13 a 62%), con un peso hectolítrico mayor o igual a 74 kg hl⁻¹, la pérdida de sólidos durante la cocción debe ser menor a 5% y con un rendimiento de tortilla de 1.5 kg kg⁻¹ de maíz (Vázquez *et al.*, 2012). Siendo así, muchos de nuestros materiales de maíz no cuentan con dichas características, ya que producen masa y tortillas de colores grises que afectan su aceptabilidad por el consumidor y la industria (Salinas *et al.*, 2007).

OBJETIVO:

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el rendimiento y calidad de grano de poblaciones de maíz Tuxpeño adaptado a Valles Altos, de cruzas entre Tuxpeño y compuestos de Chalqueño, y de algunas cruzas entre materiales adaptados de Tuxpeño a Valles altos.

HIPÓTESIS

Ha: Las poblaciones adaptadas de maíz Tuxpeño superan en rendimiento y calidad de grano a los ciclos originales y a las variedades locales.

Ho: Las poblaciones adaptadas de maíz Tuxpeño no superan en rendimiento y calidad de grano a los ciclos originales y a las variedades locales.

BIBLIOGRAFÍA

- Arellano V., J. L. 1983 Avance generacional. *In* Resúmenes Ponencias sobre Metodologías de Investigación en Maíz. SARH: INIA: México, D.F. pp:17-21
- Brown, W. L. 1975. A broader germplasm base in corn and sorghum. *Proc. Annu. Corn Sorghum Res. Conf.* 30: 81-89
- Bellon, M. R., M. Adato, J. Becerril y D. Mindek. 2005. Impact of improved maize germplasm on poverty alleviation: The case of Tuxpeño-derived materials in Mexico. CIMMYT. México, D. F. 64 p.
- CONABIO 2010. Argumentación para conservar las razas de maíces nativos de México. Taller con especialistas en maíces nativos, realizado los días 17 y 18 de marzo de 2010 en las instalaciones de la CONABIO. México, D. F. http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo6_ReunionesTalleres/Tabl%20razas_marzo%202010.pdf.
- Espinosa-Calderón, A., M. Tadeo-Robledo, M. Sierra-Macías, A. Turrent-Fernández, R. Valdivia-Bernal y B. Zamudio-González. 2009. Rendimiento de híbridos de maíz bajo diferentes combinaciones de semilla androestéril y fértil en México. *Agron. Mesoamer.* 20: 211-216.
- Gámez Vázquez, A. J., M. A. Ávila P., H. Ángeles A., C. Díaz H., H. Ramírez V., AQ. Alejo J. y A. Terrón I. 1996. Híbridos y variedades de maíz liberados por el INIFAP hasta 1996. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. 102 p.
- Goodman, M. M. 1999. Broadening the genetic diversity in maize by use of exotic germplasm. *En*: Coors, J. G. y S. Spandley (eds). *The genetic and exploitation of heterosis in crops*. ASA-CSSA_SSSA. Madison, WI. 139-148.
- Hallauer, A.R., M.J. Carena, and J.B. Miranda Filho. 2010. *Quantitative genetics in maize breeding*. 3rd ed. 500 p. Spring, New York, USA.
- Molina G., J. D. 1990. Uso potencial de plasma germinal exótico de maíz. *In*: Resúmenes XIII Cong. Nal. Fitogenética. 3-7 de septiembre. Cd. Juárez, Chih. p. 344.

- Molina G., J. D. 1993. Comentarios a la plática “La variabilidad genética y el mejoramiento de los cultivos”. In: Ciencia. Revista de la Academia de la Investigación Científica. México. Núm. Especial. pp: 81-83
- Molina G., J. D. 1983. Selección Masal Visual Estratificada en Maíz. Centro de Genética. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Edo. de México. 35 p.
- Morris, M. L. y M. A. López Pereira. 2000. Impactos del mejoramiento de maíz en América Latina, 1966-1997. CIMMYT. México, D.F. 45 p.
- Navas A., A. A. y T. Cervantes S. 1991. Selección para rendimiento y adaptación a Valles Altos en cruza interracial tropical de maíz de México. Agrociencia Serie Fitociencia 2(4): 97-114.
- Ortega P., R. 1985a. Variedades y razas mexicanas de maíz y su evaluación en cruzamientos con líneas de clima templado como material de partida para mejoramiento. Traducción al español de la tesis de doctorado abreviada. Instituto de Plantas N. I. Vavilov. Leningrado, URSS. 22 p.
- Pérez-Colmenares A, J D Molina-Galán, A Martínez-Garza (2000) Adaptación a clima templado de una variedad de maíz tropical mediante selección masal visual estratificada. Agrociencia 34:533542.
- Salinas M Y, JJ López R, G B González F, G Vázquez C (2007) Compuestos fenólicos del grano de maíz y su relación con el oscurecimiento de masa y tortilla. Agrociencia 41:295-305.
- Sánchez G., J. J., and M. M. Goodman. 1992. Relationships among Mexican and some North American and South American races of maize. Maydica 37: 41-51.
- Turrent, F. A. 1994. Plan de Investigación del sistema maíz-tortilla en la región centro. Centro de Investigación Regional del Centro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Chapingo, Estado de México. (Publicación Especial Núm. 12.) 45 p.
- Vázquez C M G,H Mejía A, C Tut C, N Gómez M (2012) Características de grano y tortilla de maíces de alta calidad proteínica desarrollados para los Valles Altos Centrales de Mexico.Rev.Fitotec.Mex.35:23-31.

Wellhausen, E. J. 1990. Algunas reflexiones sobre el Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA). *Agronomía Mesoamericana* 1:97-106.

Wellhausen, E. J. 1990. Algunas reflexiones sobre el Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA). *Agronomía Mesoamericana* 1:97-106.

II. ADAPTACIÓN DE MAÍZ TUXPEÑO A VALLES ALTOS MEDIANTE SELECCIÓN MASAL

ADAPTATION OF TUXPEÑO MAIZE TO HIGH VALLEYS VIA MASS SELECTION

Norma **Santiago-López**¹, J. Jesús **García-Zavala**^{1*}, José D. **Molina-Galán**¹, Apolinar **Mejía-Contreras**¹, Armando **Espinoza-Banda**², Ulises **Santiago-López**³, Gilberto **Esquivel-Esquivel**⁴

¹Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Carretera México Texcoco, km 36.5, Montecillos, Texcoco, Estado de México. C. P.56230. ²Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Km. 27 Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Santa Fe, Torreón, Coahuila, México. C.P. 27000. ³Campo Experimental San Luis (INIFAP). Km 14.5 Carretera San Luis-Matehuala.C.P. 78431. ⁴Campo Experimental Valle de México, INIFAP. Carr. Los Reyes-Texcoco, Edo. de México C. P.56230

[\(*zavala@colpos.mx\)](mailto:*zavala@colpos.mx)

RESUMEN

En México existe una amplia variabilidad genética de maíz (*Zea mays* L.), la cual no ha sido aprovechada en su totalidad, pues los programas de mejoramiento genético han utilizado variedades de polinización libre de las razas locales, y han hecho poco o nulo uso de materiales exóticos de diferentes localidades. En los Valles Altos de México, donde prevalecen condiciones de clima templado, para mejorar el maíz sólo se han empleado variedades de las razas Cónico y Chalqueño, principalmente. En este estudio se evaluó el rendimiento de grano como parámetro de adaptación de cuatro poblaciones de maíz Tuxpeño seleccionado en Valles Altos. Las poblaciones se evaluaron en sus versiones de selección ciclo uno (desadaptado) y ciclo siete (adaptado), y además se incluyeron tres testigos comerciales: H-S2, Promesa, y San José. La evaluación de los materiales se hizo en los campos experimentales del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo (COLPOS) y del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicados ambos en el municipio de Texcoco, Estado de México. La siembra de los materiales en ambas localidades se hizo en la segunda quincena de mayo de 2013; se usó un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones. La parcela experimental consistió de 52 plantas sembradas en dos surcos de 6 m, con separación de 80 cm entre surcos y de 50 cm entre plantas. Se midieron las variables rendimiento, floración masculina, floración femenina, altura de planta, altura

de mazorca, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras y de granos por hilera. Los resultados indicaron que hubo cambios favorables significativos en el rendimiento de grano y en sus componentes: longitud de mazorca (LM), diámetro de mazorca (DM), número de hileras (NH) y granos por hilera (GH) en los compuestos de ciclos avanzados de selección. La altura de planta y de mazorca tuvo cambios significativos a niveles agronómicamente aceptables. Los compuestos de ciclos avanzados (C7) superaron en rendimiento a los del ciclo inicial (C1) hasta en cinco veces, pero no igualaron el rendimiento de los híbridos testigo. Los compuestos de ciclos avanzados de selección pueden considerarse como variedades exóticas adaptadas a Valles Altos, ya que tienen rendimientos aceptables, pero además aportan variación genética nueva y valiosa que podría utilizarse en el mejoramiento del maíz local.

Palabras clave: *Zea mays*, cambios adaptativos, germoplasma exótico, raza Tuxpeño, rendimiento, selección.

ABSTRACT

In Mexico there is a wide genetic variability of maize (*Zea mays* L.) that has not been exploited in full, since maize breeding programs have mainly used open-pollinated varieties of local landraces and have made little or no use of exotic materials from different localities. In the high valleys of Mexico, where temperate climatic conditions prevail, maize breeding programs have used only varieties of the Chalqueño and Conico races mainly. In this study the grain yield was evaluated as an adaptation parameter of four maize populations of Tuxpeño selected for adaptation to High Valleys. The populations were evaluated in their selected versions of cycle one (disadapted) and cycle seven (adapted) along with three commercial checks: H-S2, Promesa and San José. The materials were evaluated in the experimental fields of the Colegio de Postgraduados Campus Montecillo (COLPOS) and the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), both located in the municipality of Texcoco, State of Mexico. The materials were planted in the second half of May 2013 at both locations using a complete randomized block design with three replications. The experimental plot consisted of 52 plants planted in two rows of 6 m, with a separation of 80 cm between rows and 50 cm between plants. Grain yield, male flowering, silking, plant height, ear height, ear length, ear diameter, number of rows and kernels per

row were the traits measured. Results indicated significant favorable changes in grain yield and its components: ear length (LM), ear diameter (DM), number of rows (NH) and kernels per row (GH) in the composites of advanced cycles of selection. Plant height and ear suffered significant variation at acceptable agronomical levels. Compounds of advanced cycles outperformed the initial cycle (C1) up to five times, however, they did not equaled the yield of the checks. The compounds of advanced cycles of selection can be considered as tropical exotic varieties adapted to High Valleys as they yielded well, and they also provide valuable new genetic variation that could be used in genetically improving local maize.

Key words: *Zea mays*, adaptive changes, exotic germplasm, Tuxpeño race, selection, yield.

INTRODUCCIÓN

México es reconocido como el cuarto país más rico en diversidad biológica a nivel mundial y especialmente como centro de origen y diversidad del maíz (*Zea mays* L.). El uso del maíz en México es integral, ya que se aprovechan todas las partes de la planta y del grano (Goldsworthy, 1974). El consumo promedio diario de maíz a nivel nacional es de 350 gramos *per capita*, a través de más de 600 presentaciones diferentes en la alimentación (SAGAR, 2000).

Actualmente el maíz se siembra en todo el territorio mexicano, y la mayoría de las regiones donde se cultiva este grano dependen del temporal y del trabajo de campesinos, cuya producción es destinada principalmente al autoconsumo, por lo que esta agricultura tradicional ha generado y continúa ofreciendo una diversidad genética muy amplia (Kato *et al.*, 2009).

Debido a que el maíz es el componente básico de la dieta de los mexicanos, el rendimiento y la calidad del grano son los principales factores de atención para este cultivo (Molina, 1990). En este sentido, los avances de la ciencia y la tecnología en el sector agrícola han promovido, desde los años cuarenta del siglo XX, el uso de insumos que mejoren y aumenten la producción de los cultivos, como fertilizantes y pesticidas. Sin embargo, este modelo de producción intensivo también ha generado preocupaciones en la comunidad científica por las consecuencias que éste tiene en los ámbitos ambientales, de salud, económicas, políticas y sociales (Allard, 1980). Estos avances tecnológicos en el caso del maíz han llevado al reemplazo de variedades nativas por mejoradas en muchas regiones; entonces hace falta preservar la variabilidad de los materiales nativos de las

regiones y a la vez aumentar la diversidad genética de los mismos mediante la introducción de germoplasma exótico. A partir de esto y de la premisa de que la adaptabilidad es un carácter heredado genéticamente por las plantas a través de su proceso evolutivo, y de que su valor relativo está determinado principalmente por el grado de estabilidad y productividad de las variedades sometidas a diferentes ambientes, sus implicaciones en el mejoramiento de plantas son muy importantes para obtener la combinación de genes y acumulación de alelos favorables que dan como resultado el potencial genético de una especie.

Debido a que el rendimiento es una medida de la capacidad reproductiva (Hallauer *et al.*, 2010), se infiere que el grado de adaptación del maíz exótico está relacionado con su capacidad de producir una descendencia robusta en la zona donde éste se introdujo. Así, desde el punto de vista agronómico, Lin y Binns (1994) definen al término adaptabilidad como la capacidad de rendimiento de un cultivo: un cultivar se considera bien adaptado a una región si su rendimiento es alto en relación con el resto de los cultivares locales; en contraste, la estabilidad se refiere a la variabilidad del rendimiento: un cultivar se considera estable si la variabilidad de su rendimiento es baja a través de ambientes. El conocimiento de la asociación entre las varias características agromorfológicas y el rendimiento facilita la identificación de aquellas que pueden ser mejoradas simultáneamente durante la evaluación y selección de los materiales genéticos exóticos para adaptación. El principal objetivo fue evaluar el rendimiento de cuatro poblaciones de maíz Tuxpeño, cada una en sus versiones de ciclo uno (desadaptado) y ciclo siete (adaptado), seleccionadas para adaptación al Valle de México. La hipótesis planteada fue que las poblaciones adaptadas superan en rendimiento a las poblaciones locales e híbridos comerciales testigo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material genético utilizado en esta investigación consistió de cuatro poblaciones de maíz Tuxpeño, cada una representada por sus ciclos de selección uno (desadaptado) y siete (adaptado), y de tres testigos comerciales: H-S2, Promesa y San José.

La evaluación de los materiales se hizo en los campos experimentales del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, (COLPOS) y del Cevamex del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicados ambos en el municipio de Texcoco, Estado de México, cuyo clima es templado, con temperatura media anual de 15 °C y precipitación pluvial anual de 645 mm, a una altitud de 2240 m. La siembra de los materiales en

ambas localidades se hizo en la segunda quincena de mayo de 2013 bajo un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones. En ambas localidades la siembra se hizo manualmente depositando 2 semillas por mata cada 50 cm en parcelas de dos surcos de 6 m de longitud, con separación de 80 cm entre surcos. La parcela experimental consistió de 52 plantas sembradas en 4.8 m², equivalente a una densidad de 60000 plantas por hectárea.

La cosecha se realizó de forma manual colectando todas las mazorcas de cada parcela, incluidas las dañadas; los datos de las variables longitud de mazorca (cm), número de hileras por mazorca y de granos por hilera, se tomaron de diez mazorcas por parcela, obteniendo al final un promedio. Previamente en campo se tomaron las variables días a floración masculina, esto cuando el 50 % de las plantas de la parcela liberaban polen; días a floración femenina, cuando el 50 % de las plantas en la parcela habían expuesto los estigmas, en por lo menos tres centímetros; altura de planta (m), tomada en cinco plantas de la base del tallo al nudo de inserción de la espiga; y altura de mazorca (m), tomada desde la base del tallo al nudo de inserción de la mazorca superior.

Para calcular el rendimiento de grano se aplicó la fórmula siguiente:

Rendimiento = (PC x % MS x % G X FC)/8600 (Espinosa *et al.* 2010), en donde:

PC = peso de campo de la totalidad de las mazorcas cosechadas por parcela, expresada en kilogramos.

% MS = por ciento de materia seca de la muestra de grano de 5 mazorcas recién cosechadas.

% G = por ciento de grano.

FC = Factor de conversión para obtener el rendimiento por ha⁻¹ que se obtiene al dividir 10000 m/el tamaño de la parcela útil en m².

8600 = valor constante que permite estimar el rendimiento con una humedad al 14 %, que se usa para el grano en forma comercial.

Se realizó un análisis de varianza combinado de los datos de las variables medidas usando el paquete estadístico SAS versión 9 (SAS Institute, 2002). La comparación de medias se hizo mediante el método de Tukey al 0.05 de probabilidad de significancia para cada una de las variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza (Cuadro 1) detectó diferencias significativas y altamente significativas entre ambientes para todas las variables, excepto para el rendimiento (REN) y número de hileras por mazorca (NH). Este resultado indica que el promedio global de rendimiento de todos los genotipos fue substancialmente el mismo en cada ambiente, y también que hubo diferencias entre los promedios globales de los genotipos en cada ambiente para las variables agronómicas días a floración (FM, FF), altura de planta (AP) y de mazorca (AM), y para los componentes del rendimiento longitud de mazorca (LM), diámetro de mazorca (DM) y granos por hilera (GH). Entre genotipos hubo diferencias altamente significativas para todas las variables, lo cual es un indicador del comportamiento fenotípico y genotípico diferente de los materiales evaluados, ya que estos agruparon tanto a poblaciones del ciclo 1 (desadaptadas), poblaciones del ciclo 7 (adaptadas), y testigos. Este resultado estuvo en concordancia con la interacción genotipo por ambiente, dónde hubo significancia para el rendimiento, AP, AM, LM, DM, y GH, indicando que el comportamiento promedio individual de las variedades fue diferente a través de los diferentes ambientes de prueba. Estas diferencias entre genotipos se explican en virtud de la diferencia intrínseca del material genético utilizado y en la interacción de los materiales con el ambiente.

Cuadro 1. Análisis de varianza, coeficiente de variación y cuadrados medios del rendimiento y otras variables de cuatro poblaciones de maíz Tuxpeño de ciclo uno (desadaptado) y ciclo siete (adaptado) de selección masal incluyendo tres testigos comerciales.

FV	GL	REN	FM	FF	AP	AM	LM	DM	NH	GH
A	1	2.98	4049.8**	3971.9**	1901.7*	4574**	6303.4**	435.3**	0.74	32.1*
R(A)	4	0.76	19.88*	22.8**	1101.9*	620.2**	272.35	13.9	0.24	3.83
G	10	100.1**	178.5**	186.1**	7176.80**	2183.04**	5508.58**	605.9**	10.4**	38.7**
C1	3	0.61*	6.78	4.15	3544.7**	1233.4**	364.6	69.95	2.72	20.72
C7	3	7.74*	21	19.28	507.51	232.73	397.2*	13.1*	0.44	8.44
TES	2	11.4*	48.22	63.39	279.69	343.61	693.4**	5.17	0.72	12.7**
GRUP	2	476.6**	802.6*	831.9*	29526*	8372.4*	25706.8*	2899.7**	46.4**	136.9**
G*A	10	5.01**	8.73	10.61	501.13*	479.62*	2873.83**	211.5**	1.11	35.7**
ERROR	68	836818	6.03	5.9	246.37	149.19	353.41	38.32	0.59	3.82
C.V.		15.11	2.56	2.47	7.2	11.54	15.66	15.22	5.12	6.48

*, **=significativo al 0.05 y al 0.01 de probabilidad. , REN=rendimiento de grano FM=floración masculina FF=floración femenina, AP=altura de planta, AM=altura de mazorca, LM= longitud de mazorca DM=diámetro de mazorca, NH=número de hileras, GH=granos por hilera.

En la partición de la fuente de variación genotipos (Cuadro 1) se observa que hubo significancia para rendimiento entre los genotipos del ciclo 1 (desadaptadas), entre genotipos del ciclo 7 (adaptadas), y entre testigos (TES); así como entre grupos. Las variables AP y AM fueron significativas únicamente entre los genotipos del ciclo 1, mientras que LM y DM fueron las únicas variables con significancia entre los genotipos de ciclo 7. Los resultados anteriores indican que hubo diferencias en rendimiento entre y dentro de cada grupo de genotipos, y que los materiales del ciclo 1 además tuvieron variaciones en altura de planta y de mazorca, lo cual es típico en los individuos de poblaciones inicialmente desadaptadas (Pérez *et al.*, 2000).

Con respecto a los compuestos de ciclos de selección de Tuxpeño, los materiales del ciclo 7 (adaptado) tuvieron mayores rendimientos que los compuestos de ciclo uno (Cuadro 2), variando en los primeros de 5.5 a 7.9 t ha⁻¹ y en los segundos de 1.5 a 2.2 t ha⁻¹. No obstante, a pesar del alto rendimiento obtenido en los compuestos de ciclo 7, éstos no superaron ni igualaron el rendimiento de los híbridos testigo; sin embargo, como poblaciones, éstos pueden considerarse como variedades adaptadas a Valles Altos, debido a que tuvieron rendimientos aceptables y a que han superado hasta en cinco veces más el rendimiento de los compuestos de ciclos originales.

Es de destacarse también que los híbridos comerciales presentaron los valores promedio de AP y AM más altos (133 a 271 cm, respectivamente) y resultaron ser más precoces, mientras que las poblaciones desadaptadas presentaron los portes más bajos (menores a 200 cm), pero fueron las más tardías (floraciones mayores a los 90 días). Las poblaciones adaptadas se consideran de ciclo vegetativo intermedio con altura de planta y mazorca aceptables (Pérez *et al.*, 2007), aún cuando estas dos últimas hayan aumentado ligeramente con la selección para adaptación. Con respecto a las variables componentes del rendimiento, LM, DM, NH y GH cambiaron significativamente aumentando su valor conforme se avanzó la selección para adaptación, lo que concuerda con lo señalado por Pérez *et al.* (2000 y 2002) en el sentido de que se deben seleccionar las plantas y mazorcas de mejor aspecto, pues este es un criterio importante de selección, por influir directamente sobre el rendimiento y la adaptación de los genotipos.

Los resultados anteriores son importantes porque indican que mediante selección masal visual recurrente es posible adaptar poblaciones de maíz Tuxpeño a Valles Altos y aumentar el rendimiento del mismo, la cual es una raza originaria del trópico húmedo de México cuya zona principal de cultivo va de los cero a 150 metros sobre el nivel del mar.

Cuadro 2. Comparación de medias del rendimiento y variables agronómicas de ocho poblaciones de maíz Tuxpeño original y adaptado a Valles Altos incluyendo testigos. Montecillo, México.

GEN	REN	FM	FF	AP	AM	LM	DM	NH	GH
P1C1	1.5e	100.3a	101.8a	167.7c	75.8d	82.2d	30.9c	13.8cd	26.3de
p1c7	7.9c	99.0a	101.3a	204.1b	99.43cd	142.3ab	45.8a	14.3c	30.0abcd
p2c1	1.9e	98.5a	100.8a	171.7c	78.1d	77.6d	28.3c	13.3cd	26.8cde
p2c7	5.7d	96.5a	99.0a	205.4b	99.3cd	127.1abc	46.5a	14.0cd	28.3bcd
p3c1	2.2e	98.3a	102.5a	219.6b	104.5c	82.5d	24.0c	12.5d	24.0e
p3c7	5.6d	101a	103.3a	223.7b	109.5bc	134.6ab	43.8a	14.3c	30.0abcd
p4c1	1.6e	100.3a	102.6a	198.1bc	98.2cd	95.7cd	31.5bc	14.0cd	28.5bcd
p4c7	5.5d	98.1a	100.6a	215.4b	110.7abc	124.1bc	43.5ab	14.6bc	27.6bcde
H-S2	12.3a	91.1b	94.0b	271.0a	134.53a	151.3ab	51.1a	16.6a	33.1a
PROMESA	9.8b	85.8c	88.0c	264.4a	120.7abc	140.67ab	50.0a	16.5a	30.3abc
SAN JOSÉ	12.1a	86.8bc	88.8c	257.3a	133.0ab	162.1a	51.8a	16.0ab	31.1ab
DMS	1.8	4.8	4.7	30.9	24	37	12.1	1.5	3.9

Medias con letras iguales son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). C.V = Coeficiente de variación, REN=rendimiento de grano FM=floración masculina FF=floración femenina, AP=altura de planta, AM=altura de mazorca, LM= longitud de mazorca DM=diámetro de mazorca, NH=número de hileras, GH=granos por hilera.

Se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre genotipos, para todas las variables agronómicas (Cuadro 3). Asimismo, las poblaciones mostraron significancia estadística entre grupos en la mayoría de caracteres, excepto NH y LE. En la partición de la fuente de variación genotipos no se detectó significancia entre las poblaciones del ciclo 1 (desadaptadas), ciclo 7 (adaptadas), y entre testigos (TES). Estos resultados son un indicio de que los materiales evaluados presentaron diferente expresión genotípica y fenotípica; este comportamiento se atribuye a que la variedad original ha expresado cambios favorables en su base genética por el proceso de selección masal que se le practicó durante siete ciclos en Montecillo.

Cuadro 3. Análisis de varianza y coeficiente de variación de las características morfológicas de cuatro poblaciones de maíz Tuxpeño ciclo uno (desadaptado) y su ciclo avanzado ciclo siete (adaptado).

FV	GL	NM	NH	LE	LCE	NR	PIL	CL	DT
REP	2	0.12	2.21	13.5	2.13	5.92	1.02	0.02	3.27
GEN	10	0.38*	4.47*	52.7**	51.6**	25.5**	4.34**	3.37**	112.62*
C1	3	0.66	5.86	125.8	55.62	33.52	0.52	0.11	266.5
C7	3	0.1	4.0	11.27	9.9	8.55	1.4	1.57	5.82
TES	2	0.11	2.1	19.8	7.4	16.04	5.5	4.4	3.05
GRP	2	0.82*	5.52	35.94	151.62**	52.53*	5.3**	4.4**	163.24*
ERROR	68	0.12	1.93	6.25	3.84	2.45	0.33	0.65	33.13
C.V.		20.7	10.3	6.51	7.79	11.19	23.01	28.4	19.24

*, **=significativo al 0.05 y al 0.01 de probabilidad. NM=Número de mazorcas, NH= número de hojas, LE=longitud total de la espiga, LCE=longitud de la espiga central, NR=número de ramificaciones, PIL=pilosidad, CL=color de tallo, DT=diámetro de tallo.

En la comparación de medias (Cuadro 4) se muestra que con el proceso de adaptación no hubo cambios significativos en el NM y NH entre poblaciones del ciclo adaptado y ciclo original. En relación con la LC, se produjeron decrementos significativos para las poblaciones adaptadas (C7), y fue inferior en comparación con los híbridos comerciales. Los cambios en la expresión de estos caracteres fueron más evidentes principalmente en la población tres, con diferencia de 10 cm, y de 3 cm en las poblaciones uno y cuatro. La LCE se redujo 5 cm en las poblaciones adaptadas uno, tres y cuatro, y no hubo cambios en el NR, PIL, CL y DT, al grado que las población de los ciclos avanzados alcanzaron a igualar y aun a superar a los híbridos comerciales; por último el DT mostró igualdad entre las poblaciones originales e híbridos comerciales, con excepción de la población 1 C1 que presentó tallos más gruesos.

Estos resultados muestran que hubo algunos cambios en las características físico-morfológicas de las poblaciones de maíz Tuxpeño adaptado, siendo esto más reiterativo en la población 3 C7, lo que confirmando la efectividad del método de selección para incrementar la adaptación de variedades exóticas a regiones específicas (Pérez *et al.*, 2000).

Cuadro 4. Comparación de medias de las características morfológicas de cuatro poblaciones de maíz Tuxpeño ciclo uno (desadaptado) y su ciclo avanzado ciclo siete (adaptado).

GEN	NM	NH	LE	LCE	NR	PIL	CL	DT
P1C1	2a	12ab	35.1b	23.9bcde	11.3ef	1.5	1	33.5a
p1c7	2a	12ab	33.7b	19.2e	13.4cdedf	4.2	3.8	28.9b
p2c1	2a	14ab	34.0b	20.9e	13.5bcdef	1.8	2	31.0b
p2c7	2a	14ab	34.50b	22.6cde	14.7abcde	3.8	4.3	30.2b
p3c1	2a	14ab	48a	31a	19a	2	1	28.2b
p3c7	2a	15a	36.1b	22.1de	15.2abcde	3.5	4	29.3b
p4c1	2a	14ab	41.7ab	23.6bcde	16.4abcd	1.4	1.4	28.1b
p4c7	2a	14ab	38.4b	23.5bcde	18.0abc	4.6	3.9	28.0b
H-S2	2a	12ab	39.4b	30.7a	10.4ef	2.4	2.1	26.1b
PROMESA	2a	13ab	36.4b	27.8abcd	9.4f	3.1	2	24.8b
SANJOSE	2a	13ab	41.5ab	30.3a	13.8bcdef	2.8	2.7	26.8b
MEDIA	2	13	38	25	14	3	2	29

Medias con letras iguales son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). NM=Número de mazorcas, NH= número de hojas, LE=longitud total de la espiga, LCE=longitud de la espiga central, NR=número de ramificaciones, PIL=pilosidad, CL=color de tallo, DT=diámetro de tallo.

CONCLUSIONES

Los compuestos de selección de los ciclos avanzados de las cuatro poblaciones de maíz Tuxpeño aumentaron considerablemente su rendimiento con respecto a los compuestos de ciclos de sus respectivas versiones originales. Los componentes del rendimiento que incrementaron significativamente su valor durante el proceso de selección, y que contribuyeron al aumento del rendimiento de los compuestos adaptados, fueron longitud de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras, y número de granos por hilera, esto como resultado de haber seleccionado las plantas y mazorcas de mejor aspecto, pues este es un criterio importante de selección, ya que influyó directamente sobre el rendimiento y la adaptación de los genotipos y por consiguiente en los componentes de rendimiento.

A pesar del alto rendimiento obtenido en los compuestos de ciclo 7, éstos no superaron ni igualaron el rendimiento de los híbridos testigo; sin embargo, como poblaciones, éstos pueden considerarse como variedades adaptadas a Valles Altos, debido a que tuvieron rendimientos aceptables (hasta 7.9 ton ha⁻¹) y a que han superado hasta en cinco veces más el rendimiento de los compuestos de ciclos originales; así como la expresión de características morfológicas deseables en la planta de maíz tuxpeño adaptado, lo que garantiza la factible reproducción y manipulación del mismo. El aumento en el rendimiento de grano indica que los materiales se encuentran en fases avanzadas de adaptación y que el incremento del mismo es debido al aumento progresivo de genes favorables al carácter, dando como resultado la adaptación de las mismas. Finalmente, se comprueba la importancia de utilizar germoplasma exótico tropical adaptado para formar nuevas variedades que no existían en la región de los Valles Altos de México, las cuales pueden usarse per se o cruzarse con las locales para obtener rendimientos altos e incorporarles nuevos alelos.

BIBLIOGRAFÍA

- Allard, R. W. 1980. Principios de la Mejora Genética de las Plantas. Montoya, J. L. (trad.) 4a ed. Omega. Barcelona, España. 498 p.
- Espinosa, A; Tadeo, M; Gómez, N; Sierra, M; Virgen, J; Palafox, A; Caballero, F; Vázquez, G; Rodríguez, F; Valdivia, R. 2010. V-54 A, nueva variedad de maíz de grano amarillo para siembras de temporal retrasado en los Valles Altos de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 1(4):677-680.
- Goldsworthy P (1974) Adaptación del maíz. *In*: CIMMYT. El Mejoramiento del Maíz a Nivel Mundial en la Década de los Sesenta y el Papel del CIMMYT. El Batán México. pp: 9: 1-39.
- Hallauer , Arnel R., Carena , Marcelo J., Miranda Filho , JB Publicado originalmente por Iowa State University Press, 1988 3ª ed. 2010, XVI, 664 p.

- Kato Y., T.A., C. Mapes S., L.M. Mera O., J.A. Serratos H., R.A. Bye B. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 116 pp. México, D.F.
- Lin, CS; Binns, MR. 1994. Concepts and methods for analyzing regional trial data for cultivar and location selection. *Plant Breeding Reviews* 12: 271-297.
- Molina G., J. D. 1990. Uso potencial de plasma germinal exótico de maíz. *In: Resúmenes XIII Cong. Nal. Fitogenética*. 3-7 de septiembre. Cd. Juárez, Chih. p. 344.
- Pérez-Colmenares A, J D Molina-Galán, A Martínez-Garza (2000) Adaptación a clima templado de una variedad de maíz tropical mediante selección masal visual estratificada. *Agrociencia* 34:533542.
- SAGAR (2000) Centro de Estadística Agropecuaria (CEA). (2000, Avances de Siembra y Cosechas primavera-verano 2000. Resumen Nacional por Cultivos.

III. RENDIMIENTO DE GRANO DE POBLACIONES DE MAÍZ TUXPEÑO ADAPTADO A VALLES ALTOS DE MÉXICO.

GRAIN YIELD OF TUXPEÑO MAIZE POPULATIONS ADAPTED TO HIGH VALLEYS OF MEXICO.

Norma **Santiago-López**¹, J. Jesús **García-Zavala**^{1*}, José D. **Molina-Galán**¹, Apolinar **Mejía-Contreras**¹, Armando **Espinoza-Banda**², Ulises **Santiago-López**³, Gilberto **Esquivel-Esquivel**⁴

¹Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Carretera México Texcoco, km 36.5, Montecillos, Texcoco, Estado de México. C. P.56230. ²Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Km. 27 Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Santa Fe, Torreón, Coahuila, México. C.P. 27000. ³ Campo Experimental San Luis (INIFAP). Km 14.5 Carretera San Luis-Matehuala.C.P. 78431.

⁴Campo Experimental Valle de México, INIFAP. Carr. Los Reyes-Texcoco, Edo. de México C. P.56230

[\(*zavala@colpos.mx\)](mailto:*zavala@colpos.mx)

RESUMEN

Las poblaciones de maíces (*Zea mays* L.) exóticos adaptados por selección a condiciones diferentes a las de su área de origen, poseen atributos útiles para el mejoramiento genético de los maíces locales de la región a la cual se introdujeron. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el rendimiento y comportamiento agronómico de poblaciones de maíz Tuxpeño seleccionado para adaptación en Valles Altos y de algunas de sus cruzas entre sí y con variedades locales de la raza Chalqueño. La evaluación de los materiales genéticos se llevó a cabo en los campos experimentales del Colegio de Postgraduados y del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicados ambos en el municipio de Texcoco, Estado de México, durante el ciclo primavera-verano del 2013. El material genético evaluado consistió de: cuatro poblaciones de maíz Tuxpeño en sus versiones de selección ciclo uno (desadaptado) y ciclo siete (adaptado): P1(C1), P1(C7); P2(C1), P2(C7); P3(C1), P3(C7); P4(C1), P4(C7); cuatro cruzas de los compuestos Chalqueño 1, 2, 3, y 4 por P4 (C10); tres cruzas de las poblaciones P1, P2, y P3 por P4 (C10); y tres testigos comerciales: H-S2, Promesa, y San José. El diseño experimental empleado fue de bloques completos al azar con tres repeticiones. La parcela experimental consistió de 26 matas distribuidas en dos surcos de 6 m con separación de 0.80 m; al momento de la siembra se depositaron dos

semillas por mata cada 50 cm. Las variables estudiadas fueron: días a floración masculina (FM) y femenina (FF), altura de planta (AP) y mazorca (AM), número de mazorcas por parcela (NMZP), diámetro de mazorca (DM), número de hileras por mazorca (NH), granos por hilera (GH), longitud de mazorca (LM) y rendimiento (REN).

Los resultados mostraron que las poblaciones exóticas adaptadas superaron en REN (6 ton/ha) a las variedades originales; sin embargo, en floración masculina y femenina fueron los materiales más tardíos y de menor altura. Los componentes del rendimiento presentaron un incremento positivo para todos los materiales, siendo los más sobresalientes los de las cruzas de Tuxpeño x Compuestos de Chalqueño, reflejado esto en rendimientos altos de 13 y 14 ton/ha, superando incluso a los híbridos comerciales, San José y H-S2. Esto es evidencia de la existencia de heterosis en las cruzas Tuxpeño adaptado x Chalqueño local, y de que el maíz exótico tropical adaptado es un recurso muy valioso como fuente de nuevos alelos para el mejoramiento genético del maíz de Valles Altos.

Palabras claves: *Zea mays*, poblaciones, adaptabilidad, cruzas, rendimiento.

ABSTRACT

Populations of exotic maize (*Zea mays* L.) adapted by selection to environmental conditions different from their area of origin possess useful attributes for genetic improvement of the local maize of the region to which they were introduced. The aim of this study was to evaluate the agronomic performance of Tuxpeño maize adapted to High Valleys. The genetic material included four maize populations of Tuxpeño in their versions of cycle one (disadapted) and cycle seven (adapted): P1 (C1), P1 (C7); P2 (C1), P2 (C7); P3 (C1), P3 (C7) and P4 (C1), P4 (C7); four crosses of the Chalqueño compounds 1, 2, 3, and 4 by P4 (C10); three crosses of populations P1, P2, and P3 by P4 (C10); and three checks: H-S2, Promesa and San José. The evaluation was done in the spring-summer of 2013 on lands of the Colegio de Postgraduados and the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias located in the municipality of Texcoco, State of Mexico, under a randomized complete block design with three replications. The experimental plot had 26 hills of two plants every 50 cm in two rows of 6 m and 0.80 m apart. The yield of the materials and other agronomic characteristics were measured.

Results indicated that the exotic adapted populations yielded up to 6 ton ha⁻¹, significantly outperforming the original varieties; however, they were late in vegetative cycle and were of lower height. The yield components had significant increases in the selected populations and were higher in the crosses of Tuxpeño x Chalqueño, which yielded up to 13 and 14 ton ha⁻¹ and exceeded the yield of the checks San José and H-S2. This is evidence of the existence of heterosis in the crosses and that exotic tropical adapted maize is a useful source of new alleles for maize breeding at the High Valleys.

Key words: *Zea mays* L., adaptation, tropical maize, crosses, selection.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos de mayor distribución en el mundo (Poehlman, 2006); es también el cultivo con mayor demanda y ocupa el primer lugar en producción mundial (Turrent *et al.*, 2012). En México es el cereal básico en la alimentación de la población, y es en esta especie donde se tiene el mayor consumo *per cápita* a nivel mundial (Sleper y Poehlman, 2006).

Aunque se cuenta con una amplia diversidad de maíz exótico en México (Sánchez *et al.*, 2000), el uso de tal diversidad en programas de mejoramiento genético se ha limitado a unas cuantas poblaciones en cada región agrícola (Molina, 1990).

El germoplasma exótico generalmente no se utiliza *per se*, y los problemas de adaptación han sido la principal objeción para utilizarlo en los programas locales de mejoramiento, los cuales se ven reflejados principalmente en una alta susceptibilidad a enfermedades, alteración del ciclo vegetativo y disminución considerable del rendimiento (Arellano, 1983; Molina, 1990). Entonces, antes de cruzarlo con materiales locales o de usarlo *per se*, se sugiere hacer selección a bajas presiones por varios ciclos para aumentar la frecuencia de alelos favorables y adaptarlo.

Así, en diversos trabajos en Valles Altos (Navas y Cervantes, 1991; Molina, 1993; Pérez-Colmenares *et al.*, 2000) se ha demostrado las bondades del potencial del germoplasma tropical adaptado por selección como estrategia para incrementar la diversidad genética del maíz local.

Una alternativa de aumentar la variabilidad genética en los programas de mejoramiento, que logre las metas que impone la tecnología moderna a las nuevas variedades mejoradas, es la introducción de material genético exótico a diversos ambientes (Santiago, 2014).

En los programas de mejoramiento genético es común que en la adaptación de materiales a diferentes ambientes estos se crucen primero con los materiales locales, y luego se sometan a selección, pero en este proceso se pierden muchos genes exóticos. Entonces, la selección para adaptación del material exótico, antes de ser cruzado con el local, puede ser la mejor opción para aumentar las frecuencias de los genes favorables. Con fines de selección para rendimiento y adaptación de material exótico, Troyer y Brown (1972) obtuvieron poblaciones adaptadas a la faja maicera de EE.UU. después de 10 años de re combinación de razas mexicanas con líneas locales.

Partiendo de la premisa de que la adaptabilidad es un carácter heredado genéticamente por las plantas a través de su proceso evolutivo, y que su valor relativo está determinado principalmente por el grado de estabilidad y productividad de las variedades bajo diferentes ambientes, las implicaciones que ésta tiene para el mejoramiento de las plantas cultivadas son muy importantes debido a que el rendimiento es una medida de la capacidad reproductiva (Hallauer *et al.*, 2010). Se infiere que el grado de adaptación del maíz exótico está relacionado con su capacidad de producir una descendencia robusta en la zona donde éste se introdujo. Así, desde el punto de vista agronómico, Lin y Binns (1994) indican que la adaptabilidad es la capacidad de las plantas de producir un buen rendimiento en una región diferente a la de su lugar de origen y a la cual se han introducido; así, un cultivar se considera bien adaptado o con cierto grado de adaptación a una región si su rendimiento es alto en relación con el resto de los cultivares locales o desadaptados.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el rendimiento y comportamiento agronómico de poblaciones de maíz Tuxpeño seleccionado para adaptación a Valles Altos y de algunas de sus cruza entre sí y con variedades locales de la raza Chalqueño, bajo la hipótesis de que las poblaciones adaptadas superan en rendimiento y comportamiento agronómico a sus respectivas versiones originales, igualan a las locales, y combinan bien en cruza con maíz Chalqueño local.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material genético evaluado en esta investigación consistió de: cuatro poblaciones de maíz Tuxpeño en sus versiones de ciclo uno (desadaptado) y ciclo siete (adaptado): P1(C1), P1(C7); P2(C1), P2(C7); P3(C1), P3(C7); P4(C1), P4(C7); cuatro cruzas de los compuestos Chalqueño 1, 2, 3, y 4 por P4 (C10); tres cruzas de las poblaciones P1, P2, y P3 por P4 (C10); y los testigos comerciales H-S2, Promesa y San José. La evaluación de los materiales genéticos se llevó a cabo durante el ciclo primavera-verano del 2013 en los campos agrícolas experimentales del Colegio de Postgraduados y del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicados ambos en el municipio de Texcoco, Estado de México, cuyo clima es templado, con temperatura media anual de 15 °C y precipitación pluvial anual de 645 mm, a una altitud de 2240 m.

El diseño experimental empleado fue de bloques completos al azar con tres repeticiones. La siembra de las variedades se hizo manualmente depositando dos semillas por mata cada 50 cm, en parcelas experimentales de dos surcos de 6 m de longitud con separación de 0.80 m entre surcos. Esto dio un total de 26 matas y 52 plantas en una parcela de 4.8m², equivalente a una densidad de 60,000 plantas ha⁻¹. Las variables estudiadas fueron: días a floración masculina (FM) y femenina (FF), registrados como el número de días transcurridos desde la siembra hasta que más del 50% de las plantas de la parcela se encontraba en antesis y presencia de estigmas, respectivamente; altura de planta (AP, cm) y mazorca (AM, cm), número de mazorcas por parcela (NMZP), diámetro de mazorca (DM, cm), número de hileras por mazorca (NH), granos por hilera (GH), longitud de mazorca (LM, cm) y rendimiento (REN, kg/ha). Con excepción de FM, FF y REN, las variables se midieron en una muestra aleatoria de 10 plantas ó 10 mazorcas de cada parcela, y se registró el promedio por planta o por mazorca. El REN ha⁻¹ se estimó mediante la relación que guarda la superficie de la unidad experimental con respecto a la de una hectárea. El análisis de varianza combinado de los datos de las dos localidades se hizo considerando el total de materiales genéticos mediante el paquete estadístico SAS versión 9 (SAS Institute, 2002). La comparación de medias de las variables se efectuó mediante la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) en SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza combinado de los datos (Cuadro 1) detectó diferencias altamente significativas y significativas entre ambientes para el rendimiento (REN) y sus componentes longitud (LM) y diámetro de mazorca (DM) e índice de prolificidad (IP); también hubo significancia entre los ambientes para las variables agronómicas días a floración femenina (FF) y masculina (FM) y altura de mazorca (AM). Las variables altura de planta (AP) y número de hileras por mazorca (NH) y granos por hilera (GH) resultaron no significativas. El resultado anterior indica que el rendimiento global promedio de todos los materiales genéticos se comportó de manera diferente en cada ambiente, y que los promedios del ciclo vegetativo y de la altura de mazorca de los genotipos también fueron diferentes en cada ambiente. Lo anterior debido a las diferencias ambientales entre las localidades de prueba, tales como el suelo y la precipitación, y a la respuesta diferencial promedio de los genotipos a tales efectos ambientales.

La partición de los materiales en grupos de genotipos detectó significancia para REN y LM únicamente entre los ciclos avanzados (ciclo 7) de las poblaciones de Tuxpeño y entre las cruzas de los compuestos de Chalqueño por la población 4 C10 de Tuxpeño, lo cual indica que hubo diferencias entre los genotipos de Tuxpeño adaptado por un lado, y entre las cruzas de material local adaptado por material tropical exótico adaptado por el otro (Cuadro 1).

Por otro lado, hubo significancia entre los ciclos iniciales (ciclo 1) de las poblaciones de Tuxpeño únicamente para las variables AP y AM, indicando con ello que los materiales tropicales exóticos desadaptados presentaron variabilidad en el porte de planta, lo cual es típico en los materiales desadaptados.

La interacción genotipos por ambiente resultó significativa y altamente significativa para la mayoría de las variables, pero principalmente para las de rendimiento y algunas de sus variables componentes, indicando con ello que algún genotipo o varios de ellos tuvieron una respuesta diferente en su comportamiento agronómico a través de los ambientes de prueba. Esto como resultado de las diferencias genéticas intrínsecas entre los materiales y de los efectos ambientales diferentes que tuvieron los ambientes de prueba sobre los genotipos.

Cuadro 1. Análisis de varianza combinado del rendimiento, componentes del rendimiento y variables agronómicas de 18 variedades de maíz exótico y local. Montecillo, México.

FV	GL	REN (t/ha)	FM	FF	AP	AM	LM	DM	NH	GH	IP
A	1	21.28**	5334**	5292**	111.79	18805.7**	3445.37*	244.50*	1	14.8	5.9**
R(A)	4	0.96	29*	33*	1046.42*	846*	113.25	16.62	0.06	1.5	0.13
G	17	110.4**	120**	129**	5576**	2322**	4503.60**	474.9**	9**	44**	0.13
C1	3	0.62	6.7	4	3544.65*	1233*	364.63	69.95	2*	20	0.35
C7	3	7.74*	21	19	507.51	232.7	397.17*	13.06	0.4	8	0.12
CCH	3	29.55**	17	23	412.25	618.9	223.93*	13.83*	1.9	3.6	0.09
CP	2	4.35	12	12	206.62	251.6	28.22	2.89	0.7	2.7	0.09
TES	2	11.45	48	63	279.69	343.6	693.39*	5.17	0.7	12.7*	0.02
GRP	4	433**	446**	476**	20108**	8007.6**	18040.1**	1941.7**	35.7**	157**	0.08
G * A	17	4.26**	13	13*	561.72*	553.26**	1870.29**	137.07**	1	23**	0.11
ERROR	68	786.61	7	7	205.83	142.94	231.23	23.14	0.5	3.8	0.11
C.V.		10.90	2	2	6.26	10.37	11.62	10.93	5	6	24.06

*, **=significativo al 0.05 y al 0.01 de probabilidad. , REN=rendimiento de grano FM=floración masculina FF=floración femenina AP=altura de planta, AM=altura de mazorca, LM= longitud de mazorca DM=diámetro de mazorca, NH=Número de hileras por mazorca, GH=Granos por Hilera, IP=Índice de prolificidad.

En la comparación de medias entre genotipos (Cuadro 2), se observa que los genotipos que rindieron menos fueron los ciclos iniciales de las cuatro poblaciones de Tuxpeño, cuyos rendimientos variaron de 1.50 a 2.21t/ha, sin diferencias significativas entre ellos, esto debido a su alta inadaptación a los ambientes de prueba. Por otro lado, los ciclos avanzados de selección de las poblaciones de Tuxpeño tuvieron un rendimiento intermedio, el cual varió de 5.53 a 7.91ton/ha, siendo este último valor significativamente diferente al primero, y correspondió a la población uno ciclo siete, aunque no igualó a ninguno de los testigos. Estos resultados confirman que mediante el proceso continuo de la selección masal visual sobre la población original es posible adaptar maíz tropical Tuxpeño a los Valles Altos de México. Por otro lado, las cruzas de Chalqueño (CCH) con la población cuatro de Tuxpeño ciclo 10 (Pob. 4 C10), y las cruzas de las poblaciones 1, 2, y 3 por la Pob. 4 C10 tuvieron algunos de los rendimientos más altos. Así, las cruzas de los compuestos Chalqueño 2 y 3 por Pob. 4 C10 tuvieron el rendimiento más alto (14.89 y 13.32 t/ha, respectivamente), superando o igualando el rendimiento de todos los testigos y demás cruzas.

Con respecto a las cruzas entre poblaciones de Tuxpeño, las tres que se evaluaron igualaron estadísticamente al testigo Promesa, que tuvo un rendimiento de 9.87 t/ha, pero en particular la cruz P 2 x P 4 C10 tuvo un rendimiento de 11.18 ton/ha, superando o igualando estadísticamente a todos los testigos y a algunas de las cruzas de Chalqueño por Tuxpeño. Estos resultados son interesantes, pues se constata un buen comportamiento de la cruz intervarietal Chalqueño por Tuxpeño adaptado, y de la cruz intravarietal Tuxpeño población 2 ciclo siete por Tuxpeño población 4 ciclo diez. Lo anterior puede atribuirse a la existencia de heterosis en las cruzas, la cual ocurre cuando el híbrido supera a sus progenitores en características fenológicas de crecimiento y rendimiento (Ramírez *et al.*, 2007).

El rendimiento de los ciclos avanzados de Tuxpeño aumentó principalmente por los incrementos que tuvieron sus componentes LM, DM, NH y GH durante el proceso de selección. Por otro lado, se redujeron significativamente las características AP y AM, lo cual en maíz Tuxpeño se considera favorable desde el punto de vista agronómico. De acuerdo con estos resultados y con lo señalado por Lin y Binns (1994), se puede establecer que las poblaciones seleccionadas de Tuxpeño en Valles Altos ya tienen un alto grado de adaptación a condiciones de clima templado, pues desde el punto de vista agronómico, se define la adaptación de un cultivar como el rendimiento superior de éste o al menos igual al del resto de los cultivares locales de la región.

Cuadro 2. Comparación de medias de 18 genotipos de maíz para diez variables agronómicas. Análisis combinado.

GEN	REN	FM	FF	AP	AM	LM	DM	NH	GH	IP
P1 c 1	1.50g	100.1a	101.0ab	167.7h	75.8f	82.2e	30.9b	13.8fgh	26.3ef	1.4a
P 1 c 7	7.91e	99.0ab	101.3ab	204.1f	99.4def	142.3abc	45.8a	14.3defg	30.0abcde	1.5a
P2 c 1	1.98g	98.5ab	100.8ab	171.7gh	78.1f	77.6e	28.3b	13.3gh	26.8ef	1.6a
P 2 c 7	5.75f	96.5abc	99.0abcd	205.4f	99.3def	127.1bcd	46.5a	14.0efgh	28.3cde	1.5a
P3 c 1	2.21g	98.3ab	102.5a	219.6def	104.5de	82.5e	24b	12.5h	24.0f	1.1a
P 3 c 7	5.66f	101.0a	103.3aa	223.7cdef	109.5cde	134.6abc	43.8a	14.3defg	30.0abcde	1.5a
P 4 c 1	1.64g	100a	102.6a	198.1fg	98.2ef	95.7de	31.5b	14.0efgh	28.5bcde	1.2a
P4 c 7	5.53f	98.1ab	100.6ab	215.4ef	110.7bcde	124.1cd	43.5a	14.6cdefg	27.6def	1.2a
C.ch ₁ xP ₄ C ₁₀	11.01cd	92.3cd	94.0cde	248.5abcd	123.4abcd	157.8ab	49.6	16.1abc	33.1a	1.3a
C.ch ₃ xP ₄ C ₁₀	13.32ab	95.3abc	97.6abcd	259.6ab	143.2a	149.3abc	50.5a	17.0a	32.6a	1.3a
C.ch ₄ xP ₄ C ₁₀	9.98d	91.6cd	93.3def	249.9abc	113.8abc	144.1abc	49a	16.0abc	31.8abc	1.1a
C.ch ₂ xP ₄ C ₁₀	14.89a	91.8cd	94.0cde	239.4bcde	121.1abcde	155.1abc	52.5a	15.6abcd	33.6a	1.3a

P1 x p4	9.74de	93.6bc	96.3bcd	247.1abcd	131.7abc	143.0abc	47.5a	15.5abcd	31.1abcd	1.2a
P2 x p4	11.18cd	96.3abc	99.1 abc	236.2bcde	122.8abcde	145.3abc	48.5a	15.0bcdef	32.5ab	1.3a
P3 x p4	9.67de	95.8abc	97.8abcd	245.5abcd	135.3ab	141.0abc	47.1a	15.6abcd	32.0abc	1.5a
H-S2	12.36bc	91.1cde	94.0cde	271.0a	134.5abc	151.3abc	51.1a	16.6a	33.1a	1.3a
promesa	9.87d	85.83e	88.0f	264.4ab	120.7abcde	140.6abc	50.0a	16.5ab	30.3abcde	1.2a
San José	12.14bc	86.8de	88.8ef	257.3ab	133.0abc	162.1a	51.8a	16.0abc	31.1abcd	1.3a
DMS(0.05)	1.85	5.71	5.67	30.03	25.03	31.83	10.07	1.61	4.09	0.68

Medias con letras iguales son estadísticamente iguales. REN=rendimiento de grano, FM=floración masculina, FF=floración femenina, AP=altura de planta, AM=altura de mazorca, LM= longitud de mazorca, DM=diámetro de mazorca, NH=Número de hileras por mazorca, GH=Granos por hilera, IP=Índice de prolificidad.

Para las variables floración masculina y femenina, las poblaciones de Tuxpeño del ciclo adaptado no presentaron diferencias significativas con respecto a las poblaciones originales, ya que ambas presentaron floraciones de 96 a 100 días, respectivamente. Las cruza de poblaciones de Tuxpeño x Tuxpeño, y las cruza de compuestos de Chalqueño x Tuxpeño presentaron de 90 a 96 días de floración masculina y femenina, por lo que pueden catalogarse como intermedias, de acuerdo con la clasificación propuesta por Pérez *et al.* (2007).

Al comparar la altura de planta y mazorca, las poblaciones locales y los híbridos comerciales fueron los que presentaron los valores promedio superiores, de 120 a 236.2 cm, respectivamente, superando a las poblaciones originales (C1) y adaptadas en un 40%. Para estas variables hubo diferencias significativas entre los promedios de las poblaciones de Tuxpeño originales y adaptadas, pues las primeras presentaron menor porte, lo que indica que las poblaciones adaptadas redujeron los días a floración pero incrementaron la altura de planta por ciclo de selección.

Con respecto a las variables componentes del rendimiento, las cruza de compuestos de Chalqueño x poblaciones de Tuxpeño, poblaciones de Tuxpeño x población de Tuxpeño, y los testigos, presentaron mazorcas grandes, LNG (162.1 a 140.6 cm), DIM (43.5 a 52.3 cm), HIL (15.0 a 17 cm) y GxH (30.3 a 33.6 cm), obteniéndose en las cruza de los compuestos Chalqueño 2 y 3 por Pob. 4 C10 valores altos para DIM (52.5cm), HIL (17) Y GxH (33.6). Estos resultados indican que en las combinaciones evaluadas de Tuxpeño x Tuxpeño, y compuestos de Chalqueño x Tuxpeño hubo interacciones positivas o heterosis. Esto podría ser útil en el mejoramiento genético del maíz local, ya que las cruza mostraron ser competitivas con los híbridos comerciales usados como testigos.

En la comparación de las poblaciones adaptadas (C7) con las poblaciones originales (C1) se detectaron diferencias para las variables LNG, HIL y GxH, donde en general las poblaciones adaptadas presentaron mazorcas grandes, con longitud de 124 a 134 cm, diámetros de mazorca similares a los de los híbridos comerciales (43.5 a 52.3 cm) y superiores a los diámetros de las poblaciones originales, con número de hileras y granos por hileras que oscilaron entre los 14 y 33 cm, respectivamente.

Este resultado es un indicador de que los materiales mejorados han adquirido una alta frecuencia de genes favorables para rendimiento, lo cual se ve reflejado en la adaptación de las poblaciones, lograda en cada proceso de selección para rendimiento. Lo anterior concuerda con lo señalado por Morales *et al.* (2007), quienes indican que las variables del rendimiento de grano son las más importantes para definir la estructura de la variabilidad entre materiales genéticos adaptados y exóticos originales. Finalmente, para el IP no se detectaron diferencias entre genotipos, ya que todos los materiales oscilaron en una mazorca por planta en promedio.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados de la presente investigación, las poblaciones exóticas adaptadas de Tuxpeño aumentaron su rendimiento significativamente con el proceso de selección, y este aumento se debió principalmente a incrementos en las variables componentes del rendimiento, principalmente del diámetro de mazorca, número de hileras y granos por hilera, lo que indirectamente favoreció el incremento en el número, tamaño y peso de granos. Por lo anterior se asume que el proceso de selección fue efectivo para aumentar la frecuencia de genes favorables, lo que contribuyó significativamente al grado de adaptación de las poblaciones de maíz Tuxpeño en Valles Altos.

Los genes favorables al rendimiento acumulados en las poblaciones adaptadas permitieron que las variedades exóticas adaptadas manifestaran un incremento en su expresión genética cuando fueron cruzadas con variedades exóticas seleccionadas de Tuxpeño y con compuestos de maíz Chalqueño local. Esto se pudo comprobar al comparar el promedio de rendimiento de la variedad exótica original (C1), donde se obtuvieron rendimientos menores a 2 ton/ha, con el de la cruce variedad exótica adaptada (P4C10) x variedad exótica local (Chalqueño), cuyo rendimiento fue mayor al de

las poblaciones adaptadas (C7) y al de los híbridos comerciales, con rendimientos promedios de 12 ton/ha; además, las cruza de Tuxpeños x Tuxpeño tuvieron rendimientos promedio de 10 ton/ha. Por otro lado, las variables componentes del rendimiento tuvieron incrementos significativos por efecto de la selección para adaptación, principalmente la longitud y diámetro de mazorca, número de hileras y granos por hilera de las mazorcas de las poblaciones adaptadas. Los resultados obtenidos reflejan la importancia de introducir germoplasma exótico de maíz a diversos climas, en este caso germoplasma tropical adaptado de maíz Tuxpeño a Valles Altos de México, para fines de mejoramiento genético y para ampliar la diversidad de genotipos en la región.

BIBLIOGRAFÍA

- Hallauer, A.R., M.J. Carena, and J.B. Miranda Filho. 2010. Quantitative genetics in maize breeding. 3rd ed. 500 p. Spring, New York, USA.
- Lin, CS; Binns, MR. 1994. Concepts and methods for analyzing regional trial data for cultivar and location selection. *Plant Breeding Reviews* 12: 271-297.
- Molina G., J. D. 1990. Uso potencial de plasma germinal exótico de maíz. *En: Resumen XIII Congreso Nacional de Fitogenética*. Cd. Juárez Chihuahua, México. SOMEFI. Chapingo, Méx. pp. 344
- Morales R., M. M., J. Parra R., J. J. Sánchez G., J. L. Ramírez D., L. De la Cruz L., S. Mena M., S. Hurtado P. y M. Chuela B. (2007) Relaciones fenotípicas y heterosis entre híbridos comerciales y germoplasma exótico de Maíz en Jalisco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 30 (3): 285-294
- Pérez C., A. A., J. D. Molina G., A. Martínez G., P. García M. y D. Reyes L. (2007) Selección masal para la adaptación a clima templado de razas tropicales y sub-tropicales de maíz de México. *Bioagro*. 19(3): 133-141.
- Pérez–Colmenares A, J D Molina–Galán, A Martínez–Garza (2000) Adaptación a clima templado de una variedad de maíz tropical mediante selección masal visual estratificada. *Agrociencia* 34:533542.
- Poehlman JM, Allen SD (2003) Mejoramiento genético de las cosechas. Traducido por Guzmán, O. M. 2da edición. Ed. LIMUSA. México, D. F. 509 pp.

- Ramírez, D. J.L., et al 2007. Propuesta para formar híbridos de maíz combinado patrones heteróticos. *Revista Fitotecnia mexicana*, 30, 453-461.
- Sánchez G., J. J., M. M. Goodman, C. W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany* 54:43-59
- Sleper, D. A., J. M. Poehlman. 2006. *Breeding Field Crops*. Fifth Edition. Blackwell Publishing. Ames, Io. EE. UU. 424 p.
- Turrent F., A., T. A. Wise, E. Garvey. 2012. Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz en México. *Mexican Rural Development Research Report*. Reporte 24. 36 p.
- Troyer, A.F. and Brown, W.L. 1972. Selection for early flowering in corn. *Crop Sci.* 12: 301-304.

IV. CALIDAD DE HARINA NIXTAMALIZADA DE POBLACIONES DE MAÍZ TUXPEÑO ADAPTADO AL VALLE DE MÉXICO

QUALITY OF NIXTAMALIZED FLOUR IN TUXPEÑO MAIZE POPULATIONS ADAPTED TO THE VALLEY OF MEXICO

Norma **Santiago-López**¹, J. Jesús **García-Zavala**^{1*}, José D. **Molina-Galán**¹, Apolinar **Mejía-Contreras**¹, Griselda **Vázquez-Carrillo**², Gilberto **Esquivel-Esquivel**², Ulises **Santiago-López**³, Armando **Espinoza-Banda**⁴.

¹Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Carretera México Texcoco, km 36.5, Montecillos, Texcoco, Estado de México. C. P.56230. ²Campo Experimental Valle de México, INIFAP. Carr. Los Reyes- Texcoco, Edo. de México C. P.56230, ³Campo Experimental San Luis (INIFAP). Km 14.5 Carretera San Luis-Matehuala.C.P. 78431. ²Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Km. 27 Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Santa Fe, Torreón, Coahuila, México. C.P. 27000. (*zavala@colpos.mx)

RESUMEN

La producción y el consumo de maíz (*Zea mays* L.) en México enfrentan diversos retos y desafíos, los cuales en un futuro inmediato van a incidir en la reorganización de las formas tradicionales de producción y procesamiento del sistema agroindustrial. Por ello, es importante contar en el país con nuevas variedades mejoradas de este cereal, tanto por su rendimiento como por su calidad de grano y otros atributos. Con el objetivo de determinar la calidad harinera del grano de poblaciones tropicales de maíz exóticas adaptadas al Valle de México, durante el ciclo agrícola primavera-verano 2013 se establecieron dos experimentos en el municipio de Texcoco, Estado de México. El primero experimento se estableció en el Campo Agrícola Experimental del Colegio de Postgraduados (CP) y el segundo en el Campo Agrícola Experimental del Valle de México del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias del (INIFAP). Los materiales evaluados fueron: cuatro poblaciones de maíz Tuxpeño en sus versiones de ciclo uno (desadaptado) y de ciclo siete (adaptado); cuatro cruzas entre variedades de maíz Chalqueño x la población Tuxpeño 4 C10; tres cruzas entre las poblaciones adaptadas de Tuxpeño 1, 2, 3 x Tuxpeño 4 C10; y tres genotipos comerciales empleados como testigos: H-S2, Promesa y San José. Las variables evaluadas fueron: humedad de grano (HG), peso hectolítrico (PHe), peso de 100 granos (PCG), índice de flotación (IF) y textura del grano por disección (TGd). Los resultados indicaron que hubo

una respuesta indirecta favorable al proceso de selección para la calidad fisiológica del grano, pero ninguno de los valores obtenidos cumplió con las especificaciones dispuestas en la Norma Oficial de Harina Nixtamalizada, ya que se obtuvieron valores de IF>20%, PHe<74% y PCG<33 gr; pero se detectó una correlación positiva entre IF, PHe y PCG. Por otro lado, en la prueba de composición estructural del grano los ciclos adaptados de Tuxpeño tuvieron un acercamiento mayor a las normas de la industria harinera, con lo que de hacerse selección conjunta para rendimiento y calidad se podrían alcanzar los estándares que demandan la industria de la masa y la tortilla.

Palabras clave: *Zea mays* L., calidad fisiológica, textura por disección, masa y tortilla.

ABSTRACT

The production and consumption of maize (*Zea mays* L.) in Mexico faces several challenges in the immediate future that will push the reorganization of many traditional forms of its production and its agro-processing system. Therefore, in our country it is important to generate new improved varieties of this cereal, both for its yield performance and its grain quality as well as for other attributes. In order to determine the flour grain quality of exotic tropical maize populations adapted to the Valley of Mexico, during the spring-summer 2013 crop season two experiments were established in the municipality of Texcoco, State of Mexico. The first experiment was established in the Agricultural Field of the Postgraduate College (CP) and the second one in the Agricultural Field Valley of Mexico of the National Institute of Forestry, Agriculture and Livestock Research (INIFAP). The materials evaluated were four populations of maize Tuxpeño in their selected versions of cycle one (disadapted) and cycle seven (adapted); four crosses between varieties of Chalqueño maize x population Tuxpeño 4 C10; three crosses between the adapted populations 1, 2, 3 of Tuxpeño x Tuxpeño 4 C10; and three commercial genotypes as checks: H-S2, Promesa and San José. The variables evaluated were: grain moisture (HG), test weight (PHe), weigh of 100 kernels (PCG), flotation index (IF) and dissected grain texture (TGd). The results indicated that there was a favorable indirect response to the selection process for grain quality, but none of the values obtained for the traits met the specifications provided in the Flour and Dough Official Standards, since values of IF> 20%, PHe <74% and PCG <33 g were obtained; however, a positive correlation between IF, PHe and PCG was detected. On the other hand, the grain structural composition test indicated that the adapted cycles of Tuxpeño had the closest values to the flour

industry standards, so it could be possible that adapted Tuxpeño could meet standards demanded by the industry of dough and tortilla by means of selection for yield and quality.

Keywords: *Zea mays* L., physiological quality, texture dissected, dough and flour.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la agroindustria del maíz (*Zea mays* L.) en México y su problemática se originan en las formas contradictorias en que se organiza el mercado, mismo que está determinado por las políticas sectoriales, donde se ve involucrado el componente espacial como factor que refleja las marcadas diferencias de acceso para productores y consumidores; pero la parte más dinámica del sistema agroindustrial de maíz se expresa ahora en el consumo del grano procesado y no en la oferta y la demanda del grano natural, consumo regulado por las normas de calidad que dicta la industria de la masa y la tortilla.

En nuestro país la demanda de maíz es de aproximadamente 30 millones de toneladas anuales, de las cuales alrededor de 20 millones son demandadas por la población para tortillas y otras formas de consumo, y el resto lo consumen el sector pecuario y la industria del almidón y sus derivados (Cámara Nacional del Maíz Industrializado, 2005).

En los Valles Altos (>2200 msnm) de México, gran parte del maíz producido tiene problemas de comercialización, debido a que se produce masa y tortilla de colores grises, que no son aceptados muy bien por los consumidores (Salinas *et al.*, 2007). Las industrias de la masa-tortilla (IMT) y de harina nixtamalizada (IHN) requieren que los granos que se emplean en el proceso de obtención de harina nixtamalizada cumplan con ciertas características de calidad acorde con sus procesos, tales como: granos de endospermo duro, poco dentados, sanos, sin rajaduras ni impurezas, con una alta densidad y maduración completa (Billeb, 2001). Las IHN demandan maíces de tamaño mediano a grande (PCG>33 gr) que sea retenido en 90% de la criba de 6/64", con grano duro (IF<20%), proporción de endospermo corneo superior a 48%, y color de harina nativa superior a 77% de reflectancia; en tanto que la IMT demanda maíces duros e intermedios (IF=13 a 62%), con un peso hectolítrico mayor o igual a 74 kg hl⁻¹, la pérdida de sólidos durante la cocción debe ser menor a 5%, y con un rendimiento de tortilla de 1.5 kg por kilo de maíz (Vázquez *et al.*, 2012).

Las tortillas de maíz nixtamalizado son y han sido parte fundamental de la alimentación de diferentes culturas mexicanas, ya que son una parte básica de la dieta diaria, pues proveen el 38.8% de proteínas, 45.2% de calorías y 49.15% de calcio que se consume diariamente (Figueroa, 1994).

En la actualidad, ante el avance tecnológico logrado por la industria harinera, y del procesamiento y la presión de empresas privadas por ampliar su mercado, se tiene una organización espacial de la producción de maíz diferente que ha orillado a una desaparición paulatina de los segmentos más tradicionales, el cual ha generado un déficit que tiende a ser cubierto por la industria privada, la cual presiona hacia una organización tecnoempresarial diferente, con repercusiones económicas significativas. Esto ha llevado a la población a cambiar sus costumbres alimenticias, ejemplo de ello es consumir tortillas de harina de maíz nixtamalizado, la cual se obtiene a partir de los granos que son nixtamalizados, molidos y secados. La versatilidad actual de este producto ha hecho que su consumo vaya en aumento, debido a que únicamente requiere rehidratarse para obtener masa a partir de la cual se elaboran las tortillas.

Otras ventajas adicionales de la harina nixtamalizada incluyen su fácil transporte y almacenamiento, así como un periodo de vida útil mayor que el de la masa fresca (Gómez *et al.*, 1987; Calaveras, 2004). Actualmente, con la apertura del mercado y la globalización, los programas de mejoramiento genético de maíz están buscando maíces apropiados para los procesos y productos de la industria, ya que la importancia de estos conceptos conducen a la obtención de “Maíces de alto valor agregado.”

En México no se tienen estudios de cómo se afecta la calidad de grano, harina, masa, y tortilla de maíces Tuxpeños tropicales exóticos adaptados a Valles Altos por selección masal. Es por eso que el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad de grano de poblaciones de maíz Tuxpeño adaptado al Valle de México, con base en sus características físicas del grano y en apego a la Norma Oficial de Harina Nixtamalizada (NOM-187-SSA1/SCFI-2002). Lo anterior con el fin de obtener material genético alternativo para los productores de dicha región; que además de tener altos rendimientos, satisfaga la demanda en calidad que requieren las industrias de la harina, de la masa, y de la tortilla, pero también la de los consumidores locales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el ciclo agrícola primavera-verano 2013 se establecieron dos experimentos de evaluación de 18 poblaciones de maíz para determinar su calidad para la industria harinera. La evaluación se hizo en el municipio de Texcoco, Estado de México (Cuadro 1). El primer experimento se estableció en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados (CP) y el segundo en el Campo Experimental Valle de México del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias del (INIFAP).

Los materiales evaluados fueron: cuatro poblaciones de maíz Tuxpeño en sus versiones de selección ciclo uno (desadaptado) y ciclo siete (adaptado); cuatro cruzas entre variedades de maíz Chalqueño x la población Tuxpeño 4 C10; tres cruzas entre las poblaciones adaptadas de Tuxpeño 1, 2, 3 x Tuxpeño 4 C10; y tres genotipos comerciales empleados como testigos: H-S2, Promesa y San José. En ambos experimentos la siembra se realizó en marzo de 2013, depositando 2 semillas por mata cada 50 cm; el tamaño de la parcela fue un surco de 6 m de longitud con 0.80 m de separación entre ellos, obteniéndose una densidad de 60 mil plantas/ha.

La cosecha del maíz en cada parcela se realizó de manera manual recolectando las mazorcas de la parcela útil, posteriormente por cada material se tomó una muestra homogénea de 500 g para su análisis físico.

Cuadro 1. Poblaciones de maíces Tuxpeños originales y adaptados al Valle de México, cruzas de Chalqueño con Tuxpeño, cruzas de Tuxpeño con Tuxpeño, y testigos usados en la evaluación para calidad de grano, harina, masa y tortilla. Montecillo, México, 2013.

NO.	GENEALOGÍA	ORIGEN
1	Población 1 c 1	Cp-2000 11#
2	Población 1 c 7	Cp-2005 11#
3	Población 2 c 1	Cp-2000 12#
4	Población 2 c 7	Cp-2005 12#
5	Población 3 c 1	Cp-2000 13#
6	Población 3 c 7	Cp-2005 13#
7	Población 4 c 1	Cp-2000 14#
8	Población 4 c 7	Cp-2005 14#

9	Comp.chalq.1 x pob.4 C10	Cp-2011 1x8
10	Comp.chalq.3 x pob.4 C10	Cp-2011 3x8
11	Comp.chalq.4 x pob.4 C10	Cp-2011 4x8
12	Comp.chalq.2 x pob.4 C10	Cp-2011 9x15
13	Pob 1 x pob 4	Cp-2011 5x8
14	Pob 2 x pob 4	Cp-2011 6x8
15	Pob 3 x pob 4	Cp-2011 7x8
16	H-S2	Testigo
17	Promesa	Testigo
18	San José	Testigo

Las variables evaluadas fueron: Humedad del grano (HG). Esta es el primer y principal filtro de los criterios de calidad del maíz, ya que este parámetro garantiza la conservación del grano, al impedir tanto su germinación como el desarrollo de microorganismos. El nivel de seguridad para el almacenamiento de cereales es del 13 a 15% de humedad para periodos de almacenamiento de hasta un año, y del 11 a 13% para periodos de más de un año. Peso hectolítrico (PHe); este se considera como la densidad aparente del grano y consiste en determinar el peso de la semilla contenida en un volumen de un litro, y se expresa en kg hl^{-1} . Peso de 100 granos (PCG), utilizado principalmente para la estimación de la proporción grano mazorca, por estar estrechamente relacionado con el contenido de humedad, peso y volumen del mismo. Se evaluó la dureza del grano indirectamente a través del Índice de Flotación (IF), para lo cual se utilizó una solución de Nitrato de Sodio, a una densidad de 1.250 g/ml a un volumen de 350 ml en donde se vertieron 100 granos limpios, enteros y libres de impurezas, separando los granos en la solución por medio de un agitador de vidrio para posteriormente reposar un minuto, al término de este, el número de granos que ascendieron a la superficie se usó como Índice de Flotación (NMX-FF- 034/1-SCFI-2002). Textura del grano por disección (TGd). Este análisis permite obtener los porcentajes de cada una de las estructuras (pico, pericarpio, germen y grano) que integran el grano de maíz, además del endospermo harinoso y corneo.

Los datos obtenidos se analizaron con el paquete estadístico SAS versión 9.0 (SAS Institute, 2002), mediante el procedimiento de análisis de varianza, y la comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza (Cuadro 1) detectó diferencias significativas entre genotipos ($P < 0.01$) para todas las variables, que se confirman con el análisis de grupos, en el cual también se presentaron diferencias para todas las variables, con acepción en el IF. Esta situación se debió a que se evaluaron variedades originales desadaptadas y adaptadas de Tuxpeño, junto con cruzamientos intervarietales de Chalqueño x Tuxpeño, cruza de Tuxpeño x Tuxpeño, y testigos comerciales, los cuales son materiales que difieren genética y fenotípicamente entre sí. Los genotipos presentaron diferencias estadísticamente significativas dentro de cada población, el C1, CCH y CP presentaron diferencias únicamente en PHe y el C7 presentó diferencias significativas en HG, PHe y PCG. Lo anterior indica que la semilla de Tuxpeño ha sufrido cambios en el proceso de adaptación.

Cuadro 1. Análisis de varianza de características físicas del grano de poblaciones originales y adaptadas al Valle de México de maíz Tuxpeño, cruza de Chalqueño x Tuxpeño, cruza de Tuxpeño x Tuxpeño, y testigos (híbridos comerciales). Montecillo, Texcoco, México.

FV	GL	HG	PHe	IF	PCG
Rep	1	0.017	0.01	132.2	1.25
Gen	17	0.23**	41.4**	255.6**	35.7**
C1	3	0.15	82.49**	403.3	5.5*
C7	3	0.06*	8.31*	91.12	19.3*
CCH	3	0.20	0.78*	74.83	18.7
CP	2	0.36	4.66*	522.1	1.8
TES	2	0.28*	2.74	600.1	17.7*
GRP	4	0.37*	103.6**	98.17	109.6**
Error	17	0.015	0.104	27	3.32
Media Gral.		12.2	72.7	63.2	28.1
C.V.		0.99	0.44	8.21	6.48

**significancia ($P < 0.01$), FV = Fuente de variación, Rep = Repetición, Gen = Genotipo, C.V = Coeficiente de variación, GL = Grados de libertad, HG = Humedad de grano, PHe = Peso hectolítrico, IF = Índice de Flotación, PCG = Peso de 100 granos.

En el Cuadro 2 se anota la comparación de medias de las variables medidas. El PHe es una forma de medir la densidad del grano, y para esta variable las poblaciones originales (desadaptadas) tuvieron valores bajos, entre 60.22 y 72.49 kg hl⁻¹, mientras que las variedades adaptadas tuvieron un incremento en la densidad del grano del 10%.

Este resultado indica que con la selección para adaptación se mejoró la calidad en términos generales, ya que esta característica se utiliza como medida de calidad en el comercio de granos de maíz. No obstante, al mismo tiempo la dureza del grano tuvo un decremento del 15%. Para PCG las poblaciones adaptadas presentaron granos de tamaño pequeño, pues tuvieron un PCG<33g (Vázquez *et al.*, 2012), el cual se toma como un indicador del tamaño del grano (Billeb y Bressani, 2001).

Las cuatro cruces de Chalqueño x Tuxpeño resultaron ser materiales suaves e intermedios, ello por tener el IF mayor al 20%; su PHe resultó de 73.4 a 74.8 kg hL, y este valor fue atribuible a que los granos de estas cruces tuvieron tamaños más grandes, lo que se vio reflejado en el valor de PCG, que osciló alrededor de los 34 g. Los valores anteriores se consideran dentro de los rangos aceptados por la industria harinera, con la densidad mínima requerida. En las cruces de Tuxpeño x Tuxpeño, las poblaciones 2 y 3 obtuvieron un PHe <74 kg, aceptable por la industria de harinas nixtamalizadas, mientras que el valor de PHe de la población 1 fue mayor a 72 kg. Los valores de IF resultaron mayores al 20 %, lo que significa que entre más duros sean los granos mayor será la forma y tamaño del grano.

El porcentaje de humedad del grano de todos los maíces estuvo comprendido entre 11 y 12.5 %. El tamaño de grano influyó en el contenido de humedad, pues los tamaños pequeños, como los que tuvo la raza Tuxpeño, favorecieron la hidratación del grano durante la nixtamalización (Sánchez *et al.*, 2007).

Los híbridos comerciales tuvieron valores de IF >20 %, PH<74 kg y PCG<33 g, siendo estos valores similares a los de las poblaciones adaptadas y sirviendo de referencia para indicar que los materiales adaptados no difieren estadísticamente al maíz local en estos valores del grano, confirmando que los primeros han adquirido características de calidad como las del maíz Chalqueño, y que también se ha logrado un grado aceptable de adaptación en los compuestos de ciclos de selección más avanzados.

Cuadro 2. Comparación de medias de cinco variables físicas del grano de poblaciones de maíz Tuxpeño originales y adaptadas al Valle de México, de cruzas de Chalqueño x Tuxpeño, de cruzas de Tuxpeño x Tuxpeño, y testigos comerciales. Montecillo, Texcoco, México.

Genotipo	HG (%)	PHe (kg hl ⁻¹)	IF (%)	Impureza (%)	PCG (gr)
P1C1	12.3cdefg	60.0k	47ef	245.5abc	25.5cdef
p1c7	12.2defg	76.6ab	55bcdef	244.6abc	28.2abcdef
p2c1	12.3cdefg	71.7i	65abcdef	245.9abc	24def
p2c7	11.9fg	73.2fgh	55bcdef	248.5a	26bcdef
p3c1	12.5bcde	72.2hi	76ab	247.1ab	23def
p3c7	12.3cdefg	76.1abc	55bcdef	249.0a	26.3bcdef
p4c1	11.8g	61.8j	78a	247.1ab	21.5ef
p4c7	12.3cdefg	72.5ghi	68.5abcd	246.5ab	21f
c1Xp4C10	12.8abc	74.8cde	73abc	241.3c	33.1ab
c3Xp4C10	12.9ab	74.3def	61.5abcdef	248.2ab	27.8abcdef
c4Xp4C10	12.2defg	73.7efg	61.5abcdef	247ab	33.2ab
c2Xp4C10	12.4bcde	73.4fgh	71abc	246.2abc	34.8a
p1Xp4	12.4cdef	72.4ghi	76ab	243.3bc	29.1abcd
p2Xp4	12.5bcde	75.5bcd	44.5f	247ab	27.7abcdef
p3Xp4	13.2a	74.1ef	66.5abcde	248.7a	29.6abcd
H-S2	12.8abc	74.7de	49.5def	246.8ab	28.6abcde
Promesa	12.1efg	74.9cde	81.5a	249.5a	31.6abc
San Jose	12.7abcd	76.8a	54cdef	247.9ab	34.5a
DMS	0.5	1.31	21.07	4.96	7.39

Medias con letras iguales son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). C.V = Coeficiente de variación, HG = Humedad de grano, PHe = Peso hectolítrico, IF = Índice de Flotación, PCG = Peso de 100 granos.

En los análisis de los datos de composición estructural del grano, se encontraron diferencias significativas entre genotipos ($P < 0.01$). Así, el contenido de pedicelo fue mayor en el grano de las poblaciones adaptadas, mientras que el contenido de germen y endospermo fue mayor en las poblaciones originales. En las cruzas de compuestos de Chalqueño x Tuxpeño sobresalieron las

cruzas del compuesto 1 y 3 en el contenido de endospermo. Estos resultados son favorables en los materiales, ya que su contenido de harina podría considerarse favorable para la IHN.

En cuanto a las cruzas de poblaciones de Tuxpeño x Tuxpeño, la población 3 sobresalió en cantidad de endospermo y germen. En comparación con los testigos comerciales, los materiales que involucraron Tuxpeño y Chalqueño tuvieron comportamientos similares en las variables de calidad, con excepción de la población 4 de Tuxpeño ciclo siete y las cruzas de los compuestos 1 y 3 de Chalqueño, que superaron a los testigos.

Cuadro 3. Porcentaje de textura del grano por disección de 18 poblaciones de maíz evaluados en Valle de México.

Genotipo	Pedicelo	Pericarpio	Germen	Endospermo
	%			
p1c1	1.8abc	5.7ab	11.8cde	80.7l
p1c7	1.9a	5.7ab	11.0fg	81.3k
p2c1	1.3cdef	5.7ab	10.5j	82.4b
p2c7	1.7abcd	5.7ab	10.6ij	81.9f
p3c1	1.2def	6.1a	11.9bcd	80.6m
p3c7	1.8ab	5.6ab	10.8fghi	81.7g
p4c1	1.0f	5.7ab	10.9fgh	82.3c
p4c7	1.5abcdef	5.3bc	12.0bc	81.1k
c1Xp4C10	1.6abcd	5.6ab	12.2b	80.4n
c3Xp4C10	1.1ef	6.1a	12.9a	79.8o
c4Xp4C10	1.2ef	5.3bc	11.7de	81.7g
c2Xp4C10	1.2ef	5.8ab	11.6e	81.4i
p1Xp4	1.5abcde	4.8c	10.8fghi	82.7a
p2Xp4	1.8ab	4.7c	10.6hij	82.7a
p3Xp4	1.4bcdef	5.5ab	11.5e	81.5h
H-S2	1.5abcdef	5.9ab	11.0f	81.5h
PROMESA	1.5abcde	5.6ab	10.7ghi	82.2d
SAN JOSE	1.4bcdef	5.6ab	10.9fghi	82e

Medias con letras iguales son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

CONCLUSIONES

El maíz Tuxpeño resultó inferior a los demás genotipos evaluados en las variables IF y PHe. En general, la HG fue similar entre todos los materiales, y se encontró en el rango considerado adecuado para la industria harinera (11-13%), lo que asegura su factible manipulación y almacenamiento. En la textura de grano, el maíz Tuxpeño presentó un mayor porcentaje de pedicelo, lo que hizo que el grano presentara un mayor índice de flotación.

El proceso de selección y adaptación de los materiales de Tuxpeño, así como las condiciones ambientales en su evaluación dieron como resultado cambios favorables, tanto en el rendimiento como en la calidad de grano de los materiales. Lo anterior indica que aunque los materiales adaptados no alcanzaron en su totalidad los estándares de las normas de calidad de la industria de harinas nixtamalizadas, se podrían considerar como una alternativa para la industria tortillera, o en su defecto fomentarse para el consumo inmediato del productor.

BIBLIOGRAFÍA

Billeb S A C, R Bressani (2001) características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz. Arch. Latinom. Nutr. 51:86-94.

Cámara Nacional de Maíz industrializado (CANAMI) 2005. Disponible en: <http://www.cnmaiz.org.mx/estadisticas.html> (Enero de 2009).

FIGUEROA J. D. 1994. Modernización tecnológica del proceso de nixtamalización. Avance y Perspectiva 13:322-329.

NORMA Oficial Mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2002, Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial. Métodos de prueba.

NMX-FF-034/1-SCFI-2002. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano cereales- parte I: Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado –Especificaciones y métodos de prueba.

SAS Institute (2002) SAS User's Guide. Version. 9.0, SAS Institute Inc. Cary, NC. USA.

Salinas M Y, JJ López R, G B González F, G Vázquez C (2007) Compuestos fenólicos del grano de maíz y su relación con el oscurecimiento de asa y tortilla. *Agrociencia* 41:295-305.

Vázquez C M G, H Mejía A, C Tut C, N Gómez M (2012) Características de grano y tortilla de maíces de alta calidad proteínica desarrollados para los valles Altos Centrales de México. *Rev.Fitotec.Mex.*35:23-31.

V. DISCUSIÓN GENERAL

De acuerdo con los resultados obtenidos por otros investigadores en maíz, en fechas de siembra muy similares a las de esta evaluación, para el Valle de México el mayor rendimiento de grano en promedio de estudios oscila alrededor de 5,000 kg/ha, significativamente inferior al de los materiales adaptados que aquí se evaluaron (7.49 kg/ha).

Al comparar las poblaciones de ciclo original y de ciclo avanzado de selección, se observaron cambios favorables en las variables agronómicas evaluadas, pues las poblaciones adaptadas tuvieron mayor rendimiento de grano, debido al incremento en la longitud, diámetro, número de hileras y de granos por hileras de las mazorcas principalmente. También se vieron favorecidas características como PHe, IF y PCG que determinan las características físicas del grano. Por el contrario, la altura de planta, mazorca, días a floración masculina y femenina se incrementaron en las poblaciones 2 y 3 de Tuxpeño.

Partiendo del hecho de que los Tuxpeños evaluados son variedades pertenecientes a distintas regiones geográficas, su buen comportamiento en Valles Altos reafirma el supuesto de que la selección masal visual es un método efectivo para adaptar variedades exóticas, donde los indicadores de la adaptación son el aumento progresivo del rendimiento. Se infiere que los cambios ocurridos en los materiales mejorados son el resultado de una alta frecuencia de genes favorables para el rendimiento y textura del grano, principalmente en el contenido de germen y endospermo, lo cual es un reflejo positivo de su adaptación lograda con la selección para rendimiento.

En relación con las variedades locales, las cruzas de compuestos de Chalqueño x poblaciones exóticas adaptadas de Tuxpeño tuvieron rendimientos altos, que se pueden atribuir a efectos de heterosis. Las cruzas de poblaciones de Tuxpeño x Tuxpeño también tuvieron medias altas de

rendimiento, y algunas igualaron el rendimiento de los híbridos comerciales, siendo más productiva la versión mejorada ciclo 7 en las cuatro poblaciones.

La altura de planta y días a floración FM y FF en las poblaciones adaptadas tuvieron valores menores en las poblaciones 1 y 4 con respecto a las poblaciones originales, esto les otorga una ventaja importante para los productores que siembran en fechas retrasadas (Espinosa *et al.* 2010).

El comportamiento de las características físicas del grano en las cruzas de Tuxpeño x Tuxpeño de la población 2, influyó en su rendimiento. Así, el valor de IF contribuyó para que disminuyeran el PCG y el porcentaje de germen. Se considera que la población 3 de Tuxpeño fue la mejor en calidad, por tener mayor contenido de germen y endospermo. Ésta podría ser una población de alternativa de mercado para los productores.

Finalmente, las cruzas de compuestos de Chalqueño x Tuxpeño adaptado tuvieron cambios positivos significativos para todas las variables analizadas tanto de grano, rendimiento y sus componentes; lo anterior atribuibles a el efecto heterosis, siendo la población 2 superior a las demás, con rendimientos de 14 t ha⁻¹, menor índice de flotación y mayor contenido de germen y endospermo.