

Características físicas y químicas de la raza de maíz Palomero Toluqueño

Edgardo Bautista-Ramírez¹
Yolanda Salinas-Moreno¹
Amalio Santracruz-Varela²
Leobigildo Córdova-Téllez^{2§}
Higinio López-Sánchez³

¹Campo Experimental Centro Altos de Jalisco-INIFAP. Carretera Tepatitlán-Lagos de Moreno km 8, Tepatitlán de Morelos, Jalisco. CP. 47600. ²Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. ³Colegio de Postgraduados-Campus Puebla. Boulevard Forjadores de Puebla núm. 205, Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla, México. CP. 72760.

§Autor para correspondencia: lcordova@colpos.mx.

Resumen

Las accesiones de la raza de maíz Palomero Toluqueño no cuentan con información de su capacidad de expansión y las propiedades fisicoquímicas del grano relacionadas con esta característica. Por lo anterior, el objetivo del presente fue determinar la relación que existe entre la capacidad de expansión del grano y variables físicas (dureza, densidad, peso hectolítrico y espesor de pericarpio) y químicas (contenido de almidón total, amilosa y amilopectina) en accesiones de la raza de maíz Palomero Toluqueño. Se evaluaron 18 accesiones de esta raza y siete materiales premejorados. Los materiales se cultivaron en el ciclo agrícola primavera-verano 2014 en Montecillo, Estado de México y Santa María Zacatepec, Puebla. Como testigo, se utilizó un palomero comercial de la marca 'Valle Verde'. Los datos de las variables evaluadas se analizaron en un diseño completamente al azar, comparación de medias y de correlación entre las variables estudiadas. La media del peso hectolítrico de los materiales premejorados superó por 3.9 kg hL⁻¹ a la de las accesiones de Palomero Toluqueño. Con respecto a la dureza, los materiales premejorados fueron estadísticamente similares al testigo. La raza Palomero Toluqueño y los materiales premejorados presentaron el grosor de pericarpio menor a 0.6 µm mientras que el testigo mostró 0.9 µm del testigo. No se observó diferencia estadística en las variables químicas evaluadas. El peso hectolítrico y el grosor de pericarpio tuvieron correlación positiva con el volumen de expansión, lo que permitirá su uso como pruebas indirectas en el mejoramiento genético para la capacidad de expansión de la raza Palomero Toluqueño.

Palabras clave: almidón, amilosa, dureza, pericarpio, peso hectolítrico.

Recibido: enero de 2019

Aceptado: febrero de 2019

La raza de maíz Palomero Toluqueño forma parte de las razas reventadoras. De esta raza se tienen resguardadas 45 accesiones en los diferentes bancos de germoplasma de México, las cuales no se han caracterizado por su capacidad de expansión, evitando su potenciación para la elaboración de palomitas.

Las principales variables de calidad que se consideran en los maíces palomeros comerciales incluyen la forma de la roseta, la persistencia del pericarpio (Ziegler, 2001), el volumen de expansión y la proporción de granos sin reventar (Soylu y Tekkana, 2007), las cuales están influenciadas por factores como: humedad del grano (Gökmen, 2004), grosor y dureza del pericarpio (Hoseney *et al.*, 1983), contenido de almidón total, amilosa y amilopectina (Borras *et al.*, 2006; Sweley *et al.*, 2012).

La capacidad de expansión de los materiales nativos de la raza Palomero Toluqueño es inferior a la de un maíz palomero comercial, así lo demuestra el trabajo realizado por Santacruz (2001) quien reportó volúmenes de expansión de $1.62 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ en accesiones de la raza Palomero Toluqueño, que contrastan con los $38.87 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ obtenidos en un maíz palomero comercial de Norteamérica. Esta diferencia se atribuye a los cambios tanto en variables físicas como químicas del grano, inducidas mediante el mejoramiento genético. Las accesiones de la raza de maíz Palomero Toluqueño, deben ser valoradas en sus atributos de calidad para elaborar palomitas de maíz, con base en los criterios de calidad de los maíces palomeros comerciales. En este contexto, el objetivo del presente estudio fue determinar características físicas y químicas en accesiones de la raza de maíz Palomero Toluqueño y su relación con la capacidad de expansión del grano. Esta información podría utilizarse como discriminantes en el proceso de mejoramiento genético para reventado del grano.

Material genético

Se evaluaron 26 genotipos de la raza de maíz palomero; de ellos, 18 accesiones pertenecen a la raza Palomero Toluqueño (APT), siete corresponden a materiales premejorados de la colección de trabajo del programa de mejoramiento genético del Colegio de Postgraduados (COLPOS), que son cruces entre la raza Palomero Toluqueño con Iowa Pop 12 derivada de la raza Perla Amarillo de Norteamérica y un testigo comercial de la marca 'Verde Valle' (TC), perteneciente a la raza Perla Amarillo de Norteamérica. La selección de estos 26 materiales fue con la finalidad de tener representatividad de volúmenes de expansión bajo, medio y alto para los orígenes genealógicos.

Ubicación y manejo de los experimentos

Los experimentos se establecieron en el ciclo agrícola primera-verano 2014 en las localidades de Montecillo, municipio de Texcoco, Estado de México ($19^\circ 27' 54.8''$ latitud norte y $98^\circ 54' 20.5''$ longitud oeste, 2 250 msnm) y Santa María Zacatepec, municipio de Juan C. Bonilla, Puebla ($19^\circ 7' 52''$ latitud norte y $98^\circ 21' 23''$ longitud oeste, 2 260 msnm). La precipitación acumulada promedio para el ciclo agrícola (de mayo a noviembre) en el área aledaña al sitio experimental fue de 548.2 y 780.6 mm, respectivamente (CONAGUA, 2016). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones, la unidad experimental consistió de tres surcos de 5 m de longitud con surcos de 0.8 m de ancho con dos plantas cada 50 cm, lo que produjo una densidad de población de 55 mil plantas ha^{-1} (Hernández y Esquivel, 2004). Las siembras se realizaron el 15 y 21 de mayo de 2014 en Montecillo y Santa María Zacatepec, respectivamente. En ambas

localidades el cultivo se estableció bajo condiciones de riego. En Montecillo, la fertilización fue con la fórmula 140-60-00, aplicando 60% del N y todo el P en la siembra y el resto del N en la segunda escarda, mientras que en Santa María Zacatepec la fórmula fue de 160-60-00 aplicando 30% de N y todo el P en la primera escarda y el resto del N en la segunda escarda. La cosecha se efectuó en noviembre de 2014.

Análisis de las características físicas y químicas del grano de maíz

Las determinaciones físicas y químicas del grano se efectuaron en muestras homogéneas obtenidas de cada unidad experimental cosechada en cada localidad. Las variables de peso hectolítrico (PHE), índice de flotación (IF), espesor de pericarpio (EP) y contenido de almidón total (ALM) se realizaron según lo descrito por Salinas y Vázquez (2006). La amilosa (AMI) aparente se cuantificó por el método de Zhu *et al.* (2008), la amilopectina (AMP) se determinó por la diferencia entre el almidón total y la amilosa (Salinas y Vázquez, 2006).

La humedad óptima para obtener el volumen máximo de expansión es 13.5% (Gökmen, 2004), esta humedad se obtuvo al colocar una muestra de semilla de cada unidad experimental en una cámara de ambiente controlado a 21 °C con 70% de HR durante siete días. El reventado se realizó en 30 g de semilla en hornos de microondas de la marca Daewoo Modelo KOR-164H (127 V y 1600 W) programados al 70% de potencia durante 2:45 min. El volumen se determinó en una probeta cilíndrica graduada de 2 000 mL con 8.89 cm de diámetro, expresando el valor en $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$.

Análisis estadístico

Con las variables químicas y físicas obtenidas se hicieron análisis de varianza (ANOVA) para un diseño completamente al azar, en SAS V.9.1 (SAS Institute, 2002), considerando como efectos aleatorios los materiales y las localidades de siembra; en las variables con diferencias significativas se realizaron comparaciones de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Con el propósito de estudiar las relaciones entre las características físicas y químicas determinadas con la capacidad de expansión se realizó un análisis de correlación utilizando el procedimiento Corr de SAS V.9.1 (SAS Institute, 2002).

Resultados. Análisis de varianza para las características físicoquímicas

Cuando la fuente del ANOVA fue el origen del material, el PHE y EP mostraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$), el ALM y AMI tuvieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) mientras el IF y AMP no mostraron diferencias significativas. Usando como fuente a las localidades no se observaron diferencias significativas para las variables físicas, sin embargo, si fueron altamente significativas para las variables químicas evaluadas.

Características físicas de la semilla

El mayor PHE se presentó en el grano del TC (84.83 kg hL^{-1}), en tanto que las APT presentaron en promedio el menor PHE (77.13 kg hL^{-1}). El PHE está relacionado en forma directa con la dureza del grano, por lo que el grano de mayor dureza corresponde al TC, lo que se confirma por el valor de IF que fue considerablemente menor que el de los materiales APT y COLPOS (Cuadro 1). A menor valor de IF, se presenta mayor dureza del grano (Salinas *et al.*, 1992). Los materiales de la

raza Palomero Toluqueño obtuvieron los porcentajes más altos de índice de flotación, mientras que los materiales del COLPOS y testigo comercial fueron estadísticamente iguales en esa misma variable (Cuadro 1). Los valores observados de peso hectolítrico e índices de flotación demuestran que se trata de maíces de granos duros; sin embargo, esta dureza es menor a la del palomero comercial usado como testigo.

Cuadro 1. Comparación de medias de las características físicas y químicas en agrupamientos por volumen, grupo de origen y localidades de evaluación.

Variables Físicoquímicas	Por origen			Por localidad			
	Palomero Toluqueño	COLPOS	Testigo	DSH	Santa María Zacatepec	Montecillo	DSH
Rango de volumen de expansión (cm ³ g ⁻¹)	1 a 6.33	5 a 8.33	19.33		3.59	3.87	
PHE (kg hL ⁻¹)	77.13 c	81.03 b	84.83 a	3.06	79.26 a	78.89 a	1.43
IF (%)	23.04 a	19.75 ab	4.5 b	17.9	20 a	21.87 a	6.76
EP (µm)	0.54 b	0.6 b	0.9 a	0.09	0.58 a	0.56 a	0.04
ALM (%)	60.84 a	64.17 a	62.19 a	6.8	60.04 b	64.56 a	2.43
AMI (%)	10.18 a	10.92 a	10.86 a	1.38	10.99 a	10.05 b	0.49
AMP (%)	50.66 a	53.26 a	51.33 a	7.22	49.05 b	54.52 a	2.49

Medias con letras iguales de hileras no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). DSH= diferencia significativa honesta ($p \leq 0.05$).

El testigo comercial tuvo un grosor de pericarpio de 0.9 µm, que es mayor ($p \leq 0.05$) al observado en las accesiones de la raza Palomero Toluqueño y los materiales premejorados del COLPOS. Con base en esta diferencia es posible considerar que, de las variables físicas evaluadas, el grosor de pericarpio es el que tiene mayor influencia en la capacidad de expansión de los maíces palomeros. Durante el proceso de reventado, el pericarpio actúa como contenedor de la presión del agua evaporada, lo que hace necesario que las variedades de maíz palomero tengan un pericarpio grueso y resistente (Mohamed *et al.*, 1993).

Variables químicas de la semilla

En las variables químicas analizadas no hubo diferencia estadística significativa entre los materiales evaluados y el testigo comercial (Cuadro 1). La media de los valores del contenido de almidón, amilosa y amilopectina estuvieron en el rango de valores reportados por Sweley *et al.* (2012) para palomeros comerciales sembrados en diferentes ambientes; sin embargo, fueron inferiores a los reportados por Park *et al.* (2000) en híbridos comerciales. Esta diferencia se atribuye a la modificación en la técnica propuesta por Zhu *et al.* (2008) que se utilizó en esta investigación.

En México existen otras razas de maíz que tienen la capacidad de reventar, entre ellas Chapalote, el cual tiene un contenido de almidón superior a 70% con proporciones similares de amilopectina y amilosa (Vázquez *et al.*, 2011). Las similitudes de los materiales evaluados en cuanto a su contenido de almidón, amilosa y amilopectina con los materiales con mayor volumen de expansión son indicativos de que el mejoramiento genético para capacidad de expansión debe priorizar las características físicas como el grosor de pericarpio y la disminución del índice de flotación.

Correlación entre el volumen de expansión y las variables evaluadas

Con excepción del peso hectolítrico y del espesor del pericarpio, el resto de las variables no mostraron correlaciones significativas con el volumen de expansión (VE). Por tanto, de acuerdo con las correlaciones citadas, a medida que se incrementa el peso hectolítrico y el grosor del pericarpio se aumenta el volumen de expansión. Este resultado coincide con lo descrito por Mohamed *et al.* (1993) en maíces palomeros reventados en horno de microondas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Coeficientes de correlación entre el volumen de expansión y las características físicas y químicas del grano.

	PHE	IF	EP	ALM	AMI	AMP
VE	0.61773*	-0.35777	0.67577*	0.06439	0.26249	0.01963
PHE		-0.04664	0.44477	0.23167	0.29576	0.18308
IF			-0.0838	-0.12446	-0.40938*	-0.05494
EP				0.077	0.40112*	0.00835
ALM					0.15177	0.98522**
AMI						-0.01979

Se observó una relación cercana a 5:1 en volumen de expansión entre el testigo comercial (Perla Amarillo de Norteamérica) y la raza Palomero Toluqueño, mientras que la relación entre los materiales en proceso de mejoramiento del COLPOS vs el testigo comercial fue de 1:3 (Cuadro 1). Esta diferencia no se presentó en las propiedades químicas evaluadas, lo que pudo estar asociado con nula correlación entre las propiedades químicas con la capacidad de expansión (Cuadro 2). Una vez descartado el contenido de almidón y sus componentes, es posible que sean el contenido proteico, los ácidos grasos, fibras o los azúcares los que tengan mayor influencia en la capacidad de expansión en la raza Palomero Toluqueño y los materiales del COLPOS, pues de acuerdo con Sweley *et al.* (2012), las propiedades químicas citadas con antelación junto con el almidón, la amilosa y la amilopectina tienen algún tipo de correlación con la capacidad de expansión.

Conclusiones

Las variables físicas analizadas mostraron mayor variabilidad que las químicas entre los grupos de material genético analizados. De las variables físicas, el peso hectolítrico y el espesor de pericarpio mostraron una mayor asociación con el volumen de expansión del grano, permitiendo su uso como criterios de selección en el mejoramiento de los maíces palomeros de México.

Literatura citada

Borras, F.; Seetharaman, K.; Yao, N.; Robutti, J. L.; Percibaldi, N. M. and Eyherabide, G. H. 2006. Relationship between popcorn composition and expansion volume and discrimination of corn types by using zein properties. *Cereal Chemistry*. 83(1):86-92. Doi: 10.1094/CC-83-0086.

- CONAGUA. 2016. Comisión Nacional del Agua. Información climatológica por estado. Comisión Nacional del Agua. SEMARNAT. México, DF. <http://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=mex>.
- Gökmen, S. 2004. Effects of moisture content and popping method on popping characteristics of popcorn. *J. Food Eng.* 65(3):357-362. Doi: 10.1016/j.jfoodeng.2004.01.034.
- Hernández, C. J. M. y Esquivel E. G. 2004. Rendimiento de grano y características agronómicas en germoplasma de maíz de valles altos de México. *Rev. Fitotec. Méx.* 27(Es1):27-31.
- Hoseney, R. C.; Zeleznak, K. and Abdelrahman, A. 1983. Mechanism of popcorn popping. *J. Cereal Sci.* 1(1):43-52. Doi: 10.1016/S0733-5210(83)80007-1.
- Mohamed, A. A.; Ashman, R. B. and Kirleis, A. W. 1993. Pericarp thickness and other kernel physical characteristics relate to microwave popping quality of popcorn. *J. Food Sci.* 58(2):342-346. Doi: 10.1111/j.1365-2621.1993.tb04271.x.
- Park, D.; Allen, K. G. D.; Stermitz, F. R. and Maga, J. A. 2000. Chemical composition and physical characteristics of unpopped popcorn hybrids. *J. Food Comp. Analysis.* 13(6):921-934. doi: 10.1006/jfca.2000.0943
- Salinas, M. Y.; J. L. Arellano, V. y Martínez, B. F. 1992. Propiedades físicas, químicas y correlaciones de maíces híbridos precoces para Valles Altos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición.* 42:161-167.
- Salinas, M. Y. y Vázquez, C. M. G. 2006. Metodologías de análisis de la calidad nixtamalera-tortillera en maíz. Folleto técnico. Num. 24. INIFAP. Chapingo, México. 98 p.
- Santacruz, V. A. 2001. Genetic diversity of North American popcorn and its relationship with Mexican and South American popcorns. PhD Dissertation. Iowa State University. Ames, Iowa, USA. 324 p.
- SAS Institute. 2002. SAS/STAT User's Guide: Statistics. SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA. 5136 p.
- Soylu, S. and Tekkanat, A. 2007. Interactions amongst kernel properties and expansion volume in various popcorn genotypes. *J. Food Eng.* 80(1):336-341. Doi:/10.1016/j.jfoodeng.2006.06.001.
- Sweley, J. C.; Rose, D. J. and Jackson, D. S. 2012. Hybrid and environment effects on popcorn kernel physiochemical properties and their relationship to microwave popping performance. *J. Cereal Sci.* 55(2):188-194. Doi: 10.1016/j.jcs.2011.11.006
- Vázquez, C. M. G.; Ortega, C. A.; Guerrero H. M. J. y Coutiño E. B. 2011. Evaluación bioquímica e industrial de razas nativas de maíz de la región serrana de Sonora. *In: amplitud, mejoramiento, usos y riesgos de la diversidad genética de maíz en México.* Preciado, O. R. E.; Montes, H. S (Eds.). Sociedad Mexicana de Fitogenética, AC. Chapingo, Estado de México, México. 97-142 pp.
- Zhu, T.; Jackson, D. S.; Wehling, R. L. and Geera, B. 2008. Comparison of amylose determination methods and the development of a dual wavelength iodine binding technique. *Cereal Chem.* 85(1):51-58.
- Ziegler, K. E. 2001. Popcorn. *In: specialty corns.* Hallauer, A. R. (Ed.). 2nd (Ed.). CRC Press. Boca Raton. FL. 199-234 pp.