

CALIDAD DE GRANO Y TORTILLAS DE MAÍCES CRIOLLOS Y SUS RETROCRUZAS

GRAIN AND TORTILLAS QUALITY OF NATIVE MAIZE LANDRACES AND THEIR BACKCROSSES

Ma. Griselda Vázquez Carrillo^{1*}, Lorena Guzmán Báez², José Luis Andrés García²,
Fidel Márquez Sánchez³ y Jorge Castillo Merino²

¹ Laboratorio de Calidad de Maíz, Campo Experimental Valle de México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km. 38.5 Carr. México-Texcoco. C.P. 56230. Chapingo, Edo. de México. Tel: 01 (595) 952-1500 Ext. 5211. Correo electrónico: gvc@correo.chapingo.mx.

² Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carr. México-Texcoco. C.P. 56230 Chapingo, Edo. de México.

³ Centro Regional Universitario de Occidente, Universidad Autónoma Chapingo. Guadalajara, Jal.

* Autor responsable

RESUMEN

En esta investigación se determinaron las propiedades físicas y químicas del grano de maíces criollos y sus retrocruzas mejoradas, así como la calidad del nixtamal, masa y tortillas de diez de los maíces más usados en México en este proceso. Se analizaron 40 criollos originales (o) y 70 retrocruzas (r) (BC₁F₃). En 75 % de las retrocruzas el rendimiento del grano se incrementó en 30 %. Los maíces Tuxpeño Norteño, Pepitilla y Celaya fueron los de mayor producción de grano. El peso hectolítrico se incrementó en 60 % en las retrocruzas y se correlacionó negativamente con el índice de flotación ($r = -0.74^{**}$) y con la proporción de endospermo harinoso ($r = -0.45^{**}$). Los maíces criollos tuvieron porcentajes de pedicelo, germen y endospermo harinoso estadísticamente mayores que los de sus retrocruzas. Bolita (r) tuvo el menor porcentaje de pedicelo (0.86%), seguido por los criollos Elotes Occidentales, Blando y Dulcillo (0.92 %); estos mismos (o) y (r) presentaron las menores proporciones de pericarpio (4.3 %). Los maíces con mayor proporción de germen fueron Bolita (12.2%), Zapalote Grande (12.4%), y Dulce 9 (14.4 %); este último fue el de mayor contenido de aceite (7.6%). En la nixtamalización los maíces con mayor índice de flotación fueron los de mayor humedad en el nixtamal ($r = 0.42^{**}$). La masa del maíz Bolita (r) registró los menores valores de viscosidad máxima (190 UB), viscosidad final (290 UB) y firmeza (293 gr); con Bolita se obtuvieron las mejores tortillas, cuya dureza fue de 303 gr. El mejoramiento genético modificó las características físicas del grano y la calidad de las tortillas.

Palabras clave: *Zea mays* L., rendimiento de grano, índice de flotación, proteína, aceite, nixtamalización, rendimiento de tortillas.

SUMMARY

In this research we determined the physical and chemical properties of native maize landraces and their backcrosses, as well as the quality of the nixtamal, dough and tortilla in the ten native landraces most used in this process in México. Forty native maize landraces (L) and 70 backcrosses (BC₁F₃) were analyzed. Seventy-five percent of backcrosses increased the grain yield by 30 %. Tuxpeño Norteño, Pepitilla and Celaya reached the highest yields. The hectoliter weight was increased by 60% in the backcrosses, which was negatively correlated to the flotation index ($r = -0.74^{**}$) and to the proportion of the floury endosperm ($r = -0.45^{**}$). The maize landraces had higher percentages of pedicel, germ and floury endosperm than the backcrosses. Bolita (BC₁F₃) had the lowest percentage of pedicel (0.86%), followed by the landraces Elotes Occidentales, Blando and Dulcillo (0.92%). These landraces and their respective backcrosses had the

lowest proportion of pericarp (4.3%). Bolita (12.2%), Zapalote Grande (12.4%) and Dulce 9 (14.4%) had the largest proportion of germ. Dulce 9 also presented the highest oil content (7.6%). In the nixtamalization, maizes with the highest flotation index had also the highest nixtamal moisture ($r = 0.42^{**}$). Bolita (BC₁F₃) masa had the lowest values of maximum viscosity (190 UB), final viscosity (290 UB) and texture (293 gr), which allowed to elaborate the best tortillas; their hardness was 303 gr. The genetic breeding modified the physical grain characteristics and the quality of tortillas.

Index words: *Zea mays* L., grain yield, flotation index, protein, oil, nixtamalization, tortilla yield.

INTRODUCCIÓN

México es uno de los países más importantes en el consumo de maíz, con una gran tradición en el cultivo y fuerte arraigo en su consumo, por constituir la base de la alimentación de la población. Actualmente hay interés sobre el desarrollo, adaptación y mejoramiento de variedades e híbridos de maíces con calidad proteínica para beneficiar programas de nutrición humana y obtener granos de calidad industrial (Espinoza y Turrent, 2000). Sin embargo, las semillas mejoradas han tenido poca aceptación por agricultores mexicanos, especialmente por su alto precio y porque requiere la compra continua de insumos como semilla, fertilizantes e insecticidas. Además, difícilmente pueden, en forma continua y sostenida, igualar los resultados que obtienen cuando adoptan y adaptan ciertos insumos, prácticas e instrumentos, con el uso de semillas criollas (Warman, 1982).

En el proceso de selección y mejoramiento del maíz para elevar la calidad de tortillas, esta característica debería estar por arriba del criterio de rendimiento. Algunas variedades criollas no han podido ser desplazadas por híbridos o variedades mejoradas más rendidoras, porque no producen tortillas o alimentos de la misma calidad (FIRA, 1998).

Hasta hace algunos años los programas de mejoramiento genético tenían como objetivo principal el rendimiento agronómico. La apertura comercial, la competencia de productores nacionales con agricultores extranjeros altamente tecnificados y las necesidades propias de la industria nacional, han propiciado un reenfoque en los programas que incluya los aspectos de calidad industrial. Con este nuevo enfoque, en 1992 se inició el proyecto de investigación de mejoramiento genético de maíces criollos por retrocruza limitada para incorporar a los maíces criollos nativos un cuarto del genoma de maíces mejorados. En 1997 se produjo grano de los maíces criollos originales y sus versiones genéticamente mejoradas, que al ser evaluadas superaron en 40 % el rendimiento de los criollos (Márquez *et al.*, 2000).

México posee la mayor diversidad genética de maíz, la cual se manifiesta en la variación de caracteres morfológicos, vegetativos, de espiga, mazorca, grano y composición química del grano y polen (Hernández, Comunicación personal)¹. Se han descrito 41 razas nativas de maíz (Ortega *et al.*, 1991), cuyas relaciones de parentesco se han establecido, e identificado plasma germinal con alto rendimiento. En el Programa de Mejoramiento de Razas a Nivel Nacional de la Universidad Autónoma Chapingo, se evaluaron 42 accesiones y se obtuvieron las primeras retrocruzas en la generación F₃ o retrocruza F₃ (BC₁F₃); el método de "retrocruza limitada" resultó un buen procedimiento para mejorar las razas de maíz y obtener variedades en poco tiempo. La técnica de retrocruza mejora las características cuantitativas del maíz, tales como rendimiento de grano, arquetipo de planta y mazorca, días a floración, madurez y adaptabilidad (Márquez *et al.*, 2000), pero también es indispensable evaluar la calidad del grano y de los productos a los que se destina este cereal. En los últimos años ha crecido la demanda del maíz destinado al proceso de nixtamalización vía industrial, lo que ha provocado que las características de calidad del grano sean importantes tanto en los programas de mejoramiento genético como en el proceso industrial de fabricación de productos de maíz nixtamalizado. Los rasgos morfológicos y fisiológicos del maíz mexicano se relacionan con la selección del medio, pero también existe interés para fijar características deseables de calidad para hacer tortilla o para otro fin (FIRA, 1998).

El nivel y la uniformidad de la calidad del grano de maíz empleado como materia prima para la nixtamalización es importante en la calidad del producto final. Las características de calidad del grano son determinadas por fac-

tores genéticos y por condiciones de producción y de manejo. Entre estas características están: tipo de maíz usado como semilla, dureza del endospermo, color del pericarpio (cascarilla) y olote, facilidad con que se pierde el pericarpio durante el cocimiento, tamaño del grano, porcentaje de granos dañados, fracturados y quebrados, y las proporciones de materia extraña, como olotes y espigas (Almeida y Rooney, 1996).

Pueden considerarse atributos de una tortilla de buena calidad: fácil enrollado, suavidad al tacto, clara definición de los dos lados, es decir la cara y la ampoza, así como olor, sabor, textura y plasticidad, típicos de un producto elaborado con un maíz sano y limpio. Todo ello se obtiene mediante un procesamiento con concentraciones adecuadas de cal, tiempos apropiados de cocimiento, óptimas condiciones sanitarias y reconocida calidad nutricional (Vázquez, Comunicación personal)².

El cocimiento alcalino del maíz o nixtamalización (*nex-tli*, cenizas de cal, y *tamalli*, masa de maíz cocido), incrementa significativamente el contenido de calcio en las tortillas, permite la liberación de niacina al dejarla disponible para el organismo, y mejora la digestibilidad de la proteína. La combinación de calor, alta humedad y el hidróxido de calcio [Ca(OH)₂], facilitan la hidrólisis del pericarpio, y la liberación de gomas naturales; la gelatinización del almidón, solubilización parcial de la pared celular y la matriz proteínica, así como la desnaturalización de la proteína, interaccionan con fibra y grasa para crear una estructura flexible y suave en masa y tortillas (Almeida y Rooney, 1996).

La firmeza de la masa está determinada por el tipo de maíz, la dureza del grano, las condiciones de secado, la absorción de agua y el grado de gelatinización de los almidones (Bedolla y Rooney, 1984). Las tortillas de buena calidad se asocian con masas cuyos valores de viscosidad máxima oscilan entre 220 y 330 Unidades Brabender (UB) (Bedolla y Rooney, 1984).

Con base en lo anterior, en esta investigación se compararon las propiedades físicas y químicas del grano de maíces criollos y sus retrocruzas mejoradas, y la calidad de nixtamal, masa y tortillas de diez de los maíces más usados en México en este proceso.

¹ J M Hernández C (1986) Tesis de M C. Centro de Genética, Colegio de Postgraduados. Actualmente es responsable del Banco de Germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

² M G Vázquez C (1998) Tesis de Doctorado. Centro de Botánica, Colegio de Postgraduados. Actualmente es investigadora del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cuarenta maíces criollos mexicanos originales (o), fueron retrocruzados (BC₁F₃) (r) con híbridos comerciales (donadores recurrentes). En 15 razas se evaluó una sola retrocruza; en 26 razas se utilizaron dos donadores recurrentes y se obtuvieron dos retrocruzas, y en la raza Reventador 9 de Nayarit se generaron tres retrocruzas. Los granos evaluados se produjeron en el ciclo primavera-verano de 1997 en Tlajomulco, Jal., por el Centro Nacional de Rescate y Mejoramiento de Maíces Criollos (CEN-REMMAC), dependiente del Centro Regional Universitario de Occidente, de la Dirección de Centros Regionales de la Universidad Autónoma Chapingo. La evaluación se hizo en el Laboratorio de Calidad de Maíz del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en 1998.

Características físicas y químicas del grano

Las variables físicas medidas fueron: tamaño del grano, como promedio de largo y ancho de diez granos medidos con un vernier; color, que se evaluó en un colorímetro Agtron operado en modo verde (método 14-30; AACC, 1976); peso por hectolitro (método 84-10; AACC, 1976); índice de flotación (IF), que es una medida indirecta de la dureza del grano (Salinas *et al.*, 1992), y se calificó con base en la escala propuesta por Gómez (Comunicación personal)³, en la que valores de IF entre 0 y 12 % corresponden a maíces muy duros, de 13 a 37 % son duros, de 38 a 62 % son intermedios, de 63 a 87 % son suaves, y mayores de 87 % son muy suaves. Las proporciones de pedicelo, pericarpio, germen y endospermo harinoso se obtuvieron con la prueba de disección propuesta por la industria de harina nixtamalizada. Las variables químicas evaluadas fueron los porcentajes de proteína (método 46-11; AACC, 1976) y de aceite (método 7.044; AOAC, 1984).

Calidad de nixtamal, masa y tortillas

Diez de los maíces criollos investigados y sus retrocruzas se evaluaron en el proceso de nixtamalización, por ser considerados los de mayor uso en la elaboración de tortillas. La evaluación se hizo con el método descrito por Vázquez *et al.* (1990). El tiempo de cocción se asignó de acuerdo con la dureza del grano, obtenida con el índice de flotación; así los maíces duros tuvieron 40 min, los intermedios 35 min, y los suaves 30 min (Gómez, 1993)³. En el nixtamal se evaluó humedad (método 44-10 del AACC,

1976). En la masa se determinó viscosidad con un viscoamilógrafo Brabender (Rasper, 1980), y la firmeza con el texturómetro universal Instron modelo 1130 (Ramírez y Ortega, 1994). En las tortillas se determinó color (método 14-30; AACC, 1976), dureza (Ramírez y Ortega, 1994), y rendimiento de tortillas, en kilogramos de tortillas obtenidas por kilogramo de maíz nixtamalizado.

El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial asimétrico, en el que se compararon los maíces criollos con sus respectivas retrocruzas y entre razas. Las 110 unidades experimentales se establecieron con dos repeticiones, con las que se efectuaron análisis de varianza, pruebas de Tukey para la comparación de medias y matriz de correlaciones (Martínez, 1988).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En promedio, 75 % de las retrocruzas (r) rindieron 30 % más grano que los maíces criollos originales (o) (Cuadro 1); en otras ocho, el rendimiento se redujo en 9 % con respecto al criollo original (o), en tanto que las razas Tehua 9, Jala 9 y Maíz Dulce 9 tuvieron rendimientos semejantes en (o) y (r). Las retrocruzas con mayor incremento en la producción de grano fueron aquéllas con las razas Reventador Elotero, Nal-Tel y Tepecintle, con ganancias de 1.84, 1.71 y 1.64 t ha⁻¹ respectivamente, en tanto que el criollo Tuxpeño Norteño (o) rindió 710 kg ha⁻¹ más que sus retrocruzas (r); esta raza junto con Pepitilla y Celaya (o) y (r) que rindieron en promedio 3.0 t ha⁻¹, fueron las de mayor producción de grano.

La relación largo/ancho, peso hectolítrico, índice de flotación y las proporciones de pedicelo, germen y endospermo harinoso, mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en la comparación de criollos (o) con sus respectivas retrocruzas (r), en la comparación entre razas, y en la interacción de estos dos factores (Cuadro 2). Las retrocruzas tuvieron un menor valor de la relación largo/ancho (Cuadro 2), lo que indica que tuvieron granos menos largos y delgados que los criollos. Esta forma del grano reduce las pérdidas durante las operaciones de limpieza que se realizan antes de la nixtamalización. Los maíces Ancho de Morelos y Guerrero fueron los de mayor relación (1.6), en tanto que los dos Harinosos de 8, tanto criollos como retrocruzados, tuvieron la relación más baja (0.93), porque sus granos son más anchos que largos.

En las retrocruzas, 60 % de ellas tuvieron un peso por hectolitro igual o mayor al mínimo establecido en la norma mexicana de calidad (74 kg hL⁻¹) para maíces destinados al proceso de nixtamalización (Secretaría de Economía, 2001). En los maíces criollos, 42 % cumplió este requerimiento. Los maíces con mayor peso por hectolitro fueron

³ J. Gómez H (1993) Tesis de Licenciatura. Dpto. Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo.

Cuadro 1. Promedios de rendimiento agronómico y características físico-químicas de maíces criollos originales (o) y sus retrocruzas mejoradas (r). Tlajomulco, Jal. 1997.

Razas	Rendimiento (t ha ⁻¹)		Retro cruzas #	Peso hectolitrico (kg hL ⁻¹)		Índice de flotación (%)		Dureza†		Proteína (%) ^{1,2}		Aceite (%) ¹	
	(o)	(r)		(o)	(r)	(o)	(r)	(o)	(r)	(o)	(r)	(o)	(r)
Olotillo	1.3	2.07	2	64.7	74.8	93.0	58.5	MS	I	11.3	9.8	4.5	4.9
Tepecintle	0.59	2.03	2	71.1	74.4	71.0	59.5	S	I	11.8	10.0	3.9	4.3
Tehua 9	2.11	2.10	2	----	73.5	----	60.2	----	I	----	9.7	---	4.9
Comiteco	1.29	2.21	2	70.8	74.7	82.0	54.7	S	I	9.7	10.3	4.2	4.7
Olotón	1.38	2.44	2	77.9	76.9	35.5	40.7	D	I	10.8	9.9	4.0	4.6
Vandéño	----	----	2	71.2	71.6	58.0	54.5	I	I	10.6	10.4	3.9	4.3
Harinoso-8 (Son)	1.21	2.94	1	72.1	77.0	82.5	33.5	S	D	11.0	9.7	4.8	4.9
Harinoso-8 (Nay)	2.06	2.66	1	71.1	75.8	82.5	82.5	S	S	10.3	10.3	4.8	4.9
Jala 9	2.20	2.24	1	64.9	73.1	85.5	57.0	S	I	9.4	10.9	4.4	4.4
Tabloncillo (Sin)	1.53	2.49	1	77.6	74.5	55.5	56.0	I	I	10.7	9.7	4.9	4.7
Tabloncillo Jala (Jal)	1.90	1.85	2	71.6	74.0	91.0	82.0	MS	S	9.6	9.6	4.9	4.8
Tuxpeño Tepecintle	0.96	2.11	1	71.2	75.4	71.5	57.5	S	I	10.7	9.8	4.3	4.7
Tuxpeño Jala (Nay)	2.19	2.30	1	73.2	74.0	42.0	70.5	I	S	10.2	9.7	4.7	4.7
Chapalote	1.01	1.31	2	71.3	77.7	64.0	44.5	S	I	12.9	11.5	5.1	4.3
Nal-Tel	0.79	2.50	2	76.6	77.0	55.5	48.0	I	I	12.1	10.9	5.2	5.5
Elotes Occidenta (Jal)	1.07	2.68	2	72.8	72.8	88.5	68.7	S	S	10.2	8.6	5.4	5.4
Elotes Occidenta (Nay)	1.97	1.80	1	72.1	75.4	83.0	77.0	S	S	10.9	9.9	4.6	5.1
Maíz Dulce 9 (Jal)	1.58	1.60	2	66.8	71.3	85.5	69.2	S	S	11.2	11.0	7.6	6.3
Reventador 9 (Nay)	1.16	1.35	3	75.8	75.2	70.0	31.0	S	D	11.3	11.2	3.6	4.1
Tabloncillo 9 (Jal)	2.09	2.24	2	76.7	75.0	77.0	71.2	S	S	10.2	9.7	5.3	5.2
Tabloncillo Perla	2.19	2.42	2	78.3	74.5	53.0	50.0	I	I	11.4	10.3	5.5	4.7
Zapalote Grande	1.41	1.98	1	72.4	75.0	81.5	71.5	S	S	10.6	10.8	4.5	4.5
Pepitilla 9 (Gro)	2.64	3.39	2	69.4	72.2	77.5	68.6	S	S	9.9	10.7	4.3	4.2
Celaya 9 (Gro)	2.63	3.33	2	72.9	75.2	57.5	44.7	I	I	9.8	9.7	5.6	5.2
Bolita (Oax)	2.18	2.31	2	71.7	76.7	45.5	41.0	I	I	9.0	10.3	5.3	5.1
Conejo (Gro)	2.10	1.85	2	76.6	75.9	50.0	62.0	I	I	9.9	10.5	5.7	4.2
Ratón (Tam)	1.70	2.14	2	77.8	76.3	38.0	50.2	I	I	12.0	10.2	4.7	5.5
Complejo Serrano	2.54	2.31	2	79.0	75.8	22.0	53.2	D	I	10.6	10.6	4.5	5.3
Amarillo Zamorano	2.40	3.12	2	76.2	72.5	70.0	69.7	S	S	8.9	8.9	4.7	5.3
Blando (Son)	1.90	1.81	2	65.9	70.2	97.5	92.5	MS	MS	10.8	9.8	4.6	5.0
Onaveño	1.79	2.74	2	77.8	76.6	44.0	36.7	I	D	10.9	10.5	5.7	6.2
Dulcillo	2.23	2.37	2	74.9	71.7	40.0	65.7	I	S	10.2	8.8	5.8	6.3
Dzit-Bacal (Guat)	1.75	1.91	1	75.4	77.4	64.5	48.5	S	I	10.1	10.3	5.5	4.8
Tablilla 8 (Nay)	2.55	2.40	2	78.2	73.6	54.0	62.7	I	S	9.2	9.8	5.2	6.0
Ratón (Coah)	1.66	1.59	1	73.9	73.0	50.0	73.0	I	S	10.9	10.1	5.0	6.1
Tuxpeño Norteño	3.70	2.99	2	----	73.4	----	62.5	----	S	----	9.4	---	5.7
Ancho (Mor)	2.31	2.63	1	67.9	71.5	86.0	73.5	S	S	9.3	9.8	5.6	5.4
Ancho (Gro)	1.68	2.26	1	64.4	73.2	89.0	78.5	S	S	9.8	9.8	5.4	5.5
Tehua 6 Motozinteco	----	----	2	75.3	74.5	57.5	68.7	I	S	9.5	10.5	6.0	4.9
Zapalote Chico	1.13	1.64	1	70.7	73.2	90.5	73.5	MS	S	10.7	10.8	5.5	5.7
NTBLTA (Guat)	1.21	1.63	1	77.7	76.0	48.0	47.5	I	I	11.3	10.0	6.8	6.5
Reventador Elotero	0.67	2.51	1	72.2	75.6	59.7	40.5	I	I	10.3	9.1	4.3	5.5
Promedio	1.77	2.26		72.9	74.5	66.2	59.8			10.5	10.1	5.0	5.1
DMS (0.05)	1.23	2.24		1.9	3.3	24.2	24.3			1.1	1.0	1.2	1.0

† MS = Muy Suave; S = Suave; I = Intermedio; D = Duro; DMS = Diferencia mínima significativa.

1. Con base seca

2. N x 6.25

---- El criollo original no se analizó

los criollos Complejo Serrano, Tabloncillo Perla, Tabloncillo Sinaloa y Olotón (Cuadro 1).

El índice de flotación de los maíces criollos varió desde 22 % para el Complejo Serrano, hasta 97.5 % para el Blando de Sonora, correspondientes a granos duros y muy suaves, respectivamente (Gómez, 1993; *op. cit.*); en este último criollo el valor del índice de flotación se mantuvo en sus dos retrocruzas, en tanto que las dos retrocruzas del Complejo Serrano tuvieron un mayor índice de flotación, por lo que su dureza pasó de dura a intermedia. El mismo comportamiento se observó en las razas Olotón, Dulce Norteño, Bolita y Ratón de Coahuila (Cuadro 1). En los

criollos predominaron los maíces de grano suave (55 %) e intermedio (40 %); en las retrocruzas las proporciones fueron: 45 % con textura suave y 50 % con textura intermedia (Cuadro 1).

Las proporciones de pedicelo en los maíces Pepitilla, Olotillo, Celaya, Ratón y Bolita (o) y (r) fueron de 2.02 a 2.3 %, que son ligeramente superiores al 2.0 % establecido como máximo por la industria de harina nixtamalizada de maíz. Una baja proporción de pedicelo facilita el moldeo de la masa y mejora su textura. Los criollos (o) con menor proporción de pedicelo fueron Elotes Occidentales, Blando y Dulcillo (0.92 %), en tanto que las retrocruzas

Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia estadística de variables físicas y químicas de maíces criollos (o) y sus retrocruzas (r).

Fuente de variación	gl	Largo/Ancho	Peso hectolítrico	Índice de flotación	Pedicelo	Pericarpio	Germen	Endospermo harinoso	Proteína	Aceite
Modelo	82	0.04**	21.7**	314.6**	0.17**	0.81**	2.14**	232.9**	1.1**	0.8**
Tipos (o)(r)	1	0.19**	161.6**	3196.1**	1.12**	0.09 ns	9.75**	100.7**	7.3**	0.5ns
Razas	41	0.06**	27.8**	644.7**	0.18**	1.28**	2.76**	351.7**	1.4**	1.4**
Tipo* Razas	40	0.02**	11.9**	314.2**	0.15**	0.35**	1.32**	114.3**	0.6**	0.3**
Error	86	0.06	1.5	78.6	0.03	0.11	0.23	15.1	0.2	0.1
Media Gral		1.21	73.8	62.0	1.52	5.38	10.84	49.6	10.3	5.1
C V (%)		6.44	1.7	14.3	11.28	6.02	4.45	7.8	4.0	6.4
Criollos (o)	\bar{x}	1.24 a	72.9 b	66.7 a	1.61 a	5.40 a	11.08 a	50.4 a	10.5 a	5.0 a
Retrocruza (r)	\bar{x}	1.17 b	74.5 a	57.6 b	1.45 b	5.36 a	10.60 b	48.9 b	10.1 b	5.1 a

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$); ns = No significativa.

* = $P \leq 0.05$ ** = $P \leq 0.01$.

con el maíz Bolita tuvieron 0.86 %, que fue el menor valor.

En pericarpio no hubo diferencia estadística entre criollos (o) y retrocruzas (r) (Cuadro 2). El mayor porcentaje de pericarpio se registró en la raza Chapalote (o) y (r) con un promedio de 7.44 %, seguida por Nal-Tel, Ratón, Tepicintle, Dulce 9 y Pepitilla, cuyas proporciones de pericarpio estuvieron por arriba de 5.5 %, valor establecido como máximo por la industria de harina nixtamalizada. Por otra parte, los molineros tradicionales de la masa y la tortilla no objetan las proporciones de esta estructura, ya que en ella se localizan las gomas que contribuyen en la cohesión de las partículas que constituyen la masa (Almeida y Rooney, 1996). El menor porcentaje de pericarpio fue para los maíces Blando (4.13 %), Elotes Occidentales (4.27 %) y Dzit-Bacal (4.52 %), cuya principal forma de consumo es como verdura.

La raza con mayor proporción de germen fue el Dulce 9 de Jalisco (o) y (r) con 14.4 y 14.03 %, respectivamente. Lambert (2001) obtuvo resultados semejantes para el híbrido B73. Las retrocruzas con mayor porcentaje de germen fueron aquéllas con las razas Zapalote Grande (r) con 12.4 %, y con Bolita (r) con 12.2 %; el resto de maíces tuvieron porcentajes de germen entre 8.8 y 12 %, rango que está dentro de los valores reportados para maíces dentados (Watson, 1987). Los maíces con menor proporción de endospermo harinoso fueron NTBLTA (o) y (r) y Chapalote (r) con 29 y 30 %, respectivamente, y fueron los únicos que cumplieron con el requerimiento de la industria de harina nixtamalizada (≤ 30 % de endospermo harinoso).

El porcentaje de proteína de los maíces criollos fue mayor que el de sus retrocruzas. Los criollos Chapalote (o) y Nal-Tel (o) fueron los de más proteína (Cuadro 1). La media general fue de 10.3 %, que está dentro del valor registrado para maíz dentado (Watson, 1987).

El mejoramiento genético incrementó el contenido de aceite en 55 % de las retrocruzas (Cuadro 1); sin embargo, la prueba de medias entre criollos y sus retrocruzas no fue significativa (Cuadro 2). Los maíces Dulce 9 de Jalisco (o) y (r) y NTBLTA de Guatemala mostraron los mayores porcentajes de aceite. En el primer caso se atribuye a su alta proporción de germen (14.2 %); en el segundo, con una proporción de germen de 11.3 %, el contenido de aceite pudiera ser debido a proporciones mayores de lo usual, en germen y endospermo.

Correlaciones

Los maíces con mayor rendimiento de grano presentaron granos largos y delgados, con una relación largo/ancho superior a 1.5. La relación largo/ancho se correlacionó negativamente con el peso por hectolitro y con el porcentaje de proteína, y positivamente con el contenido de aceite (Cuadro 3). La primera correlación se explica por los espacios que los granos largos y delgados dejan entre ellos al ser depositados en el recipiente de la balanza de peso por hectolitro, lo que reduce el número de granos contenidos en él. El menor contenido de proteína y mayor de aceite de los maíces largos y delgados, se debe a cambios en las proporciones de estos componentes en el germen.

Las correlaciones entre el peso por hectolitro, el índice de flotación y el endospermo harinoso (Cuadro 3), muestran que las tres variables están relacionadas con la dureza del grano (Shandera *et al.*, 1997). Sin embargo, el peso por hectolitro se afectó por las proporciones de pedicelo, y el porcentaje de endospermo harinoso por las proporciones de pericarpio y de germen (Cuadro 3). El índice de flotación no se correlacionó con ninguna de estas variables, por lo que se considera como la mejor variable para calificar la dureza del grano de maíz (Salinas *et al.*, 1992). Los maíces con mayor proporción de germen tuvieron los mayores porcentajes de aceite y de endospermo harinoso (Cuadro 3).

Cuadro 3. Coeficientes de correlación simple entre variables físicas y químicas de maíces criollos (o) y sus retrocruzas (r).

	Rendimiento	Largo/Ancho	Peso hecto-lítrico	Índice de flotación	Pedículo	Pericarpio	Germen	Endospermo harinoso	Proteína
Largo/Ancho	0.31** (0.0001)‡	1.0							
kg hL ⁻¹	0.10 (0.20)	-0.22** (0.0045)	1.0						
Índice de flotación	-0.18 (0.02)	-0.02 (0.81)	-0.74** (0.0001)	1.0					
Pedículo	0.04 (0.65)	0.025 (0.75)	-0.33** (0.0001)	0.18 (0.02)	1.0				
Pericarpio	-0.15 (0.06)	0.16 (0.04)	-0.075 (0.35)	-0.03 (0.072)	0.38** (0.0001)	1.0			
Germen	-0.03 (0.72)	0.038 (0.63)	0.077 (0.32)	-0.032 (0.68)	0.13 (0.095)	0.23** (0.0022)	1.0		
Endospermo harinoso	-0.04 (0.64)	-0.17 (0.03)	-0.45** (0.0001)	0.44** (0.0001)	-0.06 (0.45)	-0.303** (0.0001)	-0.32** (0.001)	1.0	
Proteína	-0.59** (0.0001)	-0.33** (0.0001)	0.038 (0.62)	-0.04 (0.64)	0.14 (0.076)	0.302** (0.0001)	0.102 (0.187)	-0.161 (0.037)	1.0
Aceite	0.10 (0.19)	0.28** (0.0002)	0.014 (0.86)	-0.074 (0.034)	-0.13 (0.09)	-0.092 (0.23)	0.31** (0.0001)	0.139 (0.071)	-0.20** (0.0092)

‡ Probabilidad; * = P ≤ 0.05, ** = P ≤ 0.01.

Los diez maíces criollos y sus retrocruzas investigados en el proceso de nixtamalización y tortillas, mostraron diferencias significativas (P ≤ 0.01) entre razas, en las variables evaluadas. La humedad del nixtamal varió desde 37.0 hasta 48.0 % (datos no presentados); esta variable correlacionó con el índice de flotación (r = 0.52**). El nixtamal de maíces de grano suave tuvo más humedad que el de los maíces de grano duro. La temperatura de gelatinización de las masas nixtamalizadas mostró diferencias significativas entre los criollos y sus retrocruzas. El mayor incremento en la temperatura ocurrió en las retrocruzas con los maíces Tuxpeño-Tepecintle y Bolita (Cuadro 4). Los valores estuvieron dentro de lo informado para masas nixtamalizadas (Salinas *et al.*, 1995).

Cuadro 4. Propiedades viscoamilográficas de masa nixtamalizada de maíces criollos (o) y sus retrocruzas (r).

Razas	Retroc	Temp. gelatinización (°C)		Visco. máxima (UB)		Visco. final (UB)	
		(o)	(r)	(o)	(r)	(o)	(r)
Comiteco	2	77.5 abc	76.0 abcd	250 abc	250 abc	340 abc	395 a
Dzit-Bacal	1	77.8 abc	78.3 ab	215 abc	215 abc	315 bc	270 cd
Bolita	2	75.5 bcd	78.6 ab	195 bc	190 bc	290 c	290 c
Pepitilla	2	79.0 a	78.6 ab	255 abc	253 abc	355 ab	360 ab
Olotón	2	75.5 bcd	76.4 abcd	255 abc	260 abc	370 ab	390 a
Celaya	2	75.3 cd	78.3 ab	215 abc	215 abc	315 bc	310 bc
Tux-Tepe	1	74.0 d	78.3 ab	295 a	275 ab	390 a	380 a
Elotes Occ	2	76.8 abcd	77.5 abc	270 ab	255 abc	385 a	370 ab
Tabloncillo	1	77.8 abc	76.0 bcd	240 abc	240 abc	325 bc	320 bc
Tepecintle	1	76.8 abcd	76.8 abcd	270 ab	280 ab	390 a	360 ab
Promedio		76.6 b	77.5 a	246.0 a	243.3 b	348.0 a	344.5b
DMS (0.05)		2.64	3.31	98.598	94.61	125.3	119.8

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05)

Las viscosidades máximas de las retrocruzas en los maíces Tuxpeño-Tepecintle, Elotes Occidentales y Bolita, fueron menores que la del criollo original (Cuadro 4); este último tuvo un valor de 190 UB, que es inferior al rango de 220 a 330 UB informado por Bedolla y Rooney (1984)

como óptimo para obtener tortillas de buena calidad. En el resto de maíces esta variable fue estadísticamente igual en el maíz criollo (o) y la retrocruza (r). Valores altos de viscosidad final se correlacionaron con tortillas duras (r = 0.69**), lo cual se debe a una mayor gelatinización del almidón durante la etapa de calentamiento, que dificulta la formación de la estructura responsable de una buena textura de la tortilla. Los valores bajos de viscosidad final se relacionan con almidones más resistentes a la gelatinización, los cuales se hinchan durante el calentamiento sin perder su forma original; consecuentemente retienen más agua en la etapa de enfriamiento, lo que favorece la suavidad de las tortillas (Almeida y Rooney, 1996).

La firmeza de la masa se incrementó en cinco retrocruzas. La masa del maíz Celaya (r) aumentó su firmeza en 34 %, en tanto que en la retrocruza con el maíz Bolita se redujo en 25 %. Las masas menos firmes se obtuvieron con los maíces Tuxpeño-Tepecintle (o) y Comiteco (o), mientras que la de Tabloncillo (o) fue la más firme (Cuadro 5). Esta variable correlacionó negativamente con la viscosidad máxima (r = - 0.52**) y con la viscosidad final (r = - 0.62**).

La variable color de grano no mostró diferencia significativa entre los maíces criollos y sus retrocruzas (Cuadro 5). La correlación significativa entre el color del maíz y el de las tortillas (r = 0.61**) indica que con los maíces de color más claro se produjeron las tortillas más blancas; tal fue el caso del maíz Tepecintle (o), con el que se elaboraron las tortillas de color más claro (Cuadro 5). El menor valor de reflectancia para las tortillas del maíz Elotes Occidentales (r) se debió a que su muestra contenía 6 % de granos de color azul.

Cuadro 5. Características de grano, masa y tortillas de maíces criollos (o) y sus retrocruza (r).

Razas	Color (% reflectancia)				Masa		Tortillas		Rendimiento‡	
	Grano		Tortillas		Firmeza (gr)†		Dureza (gr)			
	(o)	(r)	(o)	(r)	(o)	(r)	(o)	(r)	(o)	(r)
Comiteco	68.7	66.4	69.0	83.0	215	244	320 de	370 efg	1.7	1.8
Dzit-Bacal	68.0	67.5	83.8	83.8	313	327	345 cd	350 efgh	1.7	1.5
Bolita	66.6	65.2	74.3	75.3	393	293	420 bcd	303 fghi	1.5	1.7
Pepitilla	68.4	69.7	78.5	80.6	297	273	437 abc	431 def	1.5	1.7
Olotón	68.6	68.0	76.5	84.3	304	276	440 abc	485 cdef	1.4	1.7
Celaya	64.5	66.5	81.3	83.3	257	390	457 ab	523 bcde	1.5	1.6
Tux-Tepe	68.1	70.0	84.5	80.0	210	257	447 abc	703 ab	1.6	1.4
Elotes Occ. (Jal)	58.5	57.1	70.3	65.6	245	255	475 ab	570 bcd	1.5	1.5
Tabloncillo (Sim)	66.4	66.6	82.0	81.0	432	388	530 a	590 bc	1.6	1.7
Tepecintle	68.9	67.2	90.0	90.5	260	225	537 a	730 a	1.4	1.4
Promedio	66.7	66.4	79.0b	80.7a	293	293	441 b	506 a	1.5 b	1.6 a
DMS (0.05)	7.36	7.09	2.30	3.18	144.9	143.9	227.13	256.71	0.52	0.48

Medias en columnas con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

(o) comparado con su (r): medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

† gramos-fuerza

‡ kg de tortillas por kg de maíz nixtamalizado

En la dureza de las tortillas, siete retrocruzas fueron más duras que las del criollo original; con las retrocruzas de los maíces Pepitilla y Dzit-Bacal se elaboraron tortillas con una suavidad semejante a la del criollo original, lo cual es favorable porque las tortillas del maíz Pepitilla han sido reconocidas por su excelente calidad (Vázquez *et al.*, 1990). Con la retrocruza del maíz Bolita se elaboraron las tortillas más suaves (Cuadro 5). La mayor suavidad de las tortillas de siete maíces criollos (Cuadro 5), muestra que el mejoramiento genético de estas retrocruzas afectó negativamente a esta variable. Sin embargo, mediante la retrocruza con el maíz Bolita se pueden obtener genotipos que produzcan tortillas de buena calidad. La dureza de las tortillas puede ser inferida por la viscosidad máxima ($r = 0.62^{**}$) y por la final ($r = 0.69^{**}$).

El maíz Comiteco (r) proporcionó el mayor rendimiento de tortillas, lo cual se asoció con masas de alto porcentaje de humedad (46.9 %) y textura muy suave (226 gr). En los maíces Elotes Occidentales y Tepecintle el rendimiento de tortillas fue igual entre el (o) y (r). En las retrocruzas de las razas Dzit-Bacal y Tuxpeño-Tepecintle, el rendimiento se redujo con respecto al criollo original (Cuadro 5).

CONCLUSIONES

En las retrocruzas el rendimiento de grano se incrementó en 30 %, debido a un aumento en la dureza del grano y reducción en su tamaño.

En los maíces criollos predominaron (55 %) los granos de textura suave, con peso hectolítrico promedio de 72.9 kg hL⁻¹, y tuvieron mayores porcentajes de pedicelo (1.61 %), germen (11.08 %) y proteína (10.5 %) que sus retrocruzas. Los porcentajes de aceite fueron estadísticamente iguales en los maíces criollos y sus retrocruzas. El maíz

criollo Dulce 9 de Jalisco tuvo la más alta proporción de germen (14.4 %) y el mayor contenido de aceite (7.6 %).

Las mejores tortillas se obtuvieron en la retrocruza con el maíz Bolita. Su grano presenta dureza intermedia, bajo porcentaje de pedicelo (0.86 %) y altas proporciones de germen (12.2 %), con un contenido de aceite de 5.1 %. Su masa registró los menores valores de viscosidad máxima (190 UB), viscosidad final (290 UB) y firmeza (293 gr); sus tortillas fueron las más suaves (303 gr), con buen rendimiento de tortillas (1.7).

El mejoramiento genético por retrocruza limitada permite modificar las características físicas del grano y la calidad de las tortillas. A partir de maíces criollos originales se pueden obtener maíces mejorados más rendidores que el criollo original, que cumplan con las especificaciones de calidad de la norma comercial para maíces destinados al proceso de nixtamalización, y que produzcan tortillas de buena calidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Almeida H, L W Rooney (1996) Avances en la manufactura y calidad de productos de maíz nixtamalizado. Seminario de la Asociación Americana de Soya. México D. F. Industria Alimentaria 6:4-13.
- American Association of Cereal Chemists (1976) Approved Methods of the AACC. 6ª Ed. St. Paul, MN.
- Association of Official Analytical Chemists (1984) Official Methods of Analysis, 13ª Ed. Washington, DC. pp: 132-133.
- Bedolla S, L W Rooney (1984) Characteristic of U.S. Mexican instant maize flour for tortilla and snack preparation. Cereal Food World 29:732-735.
- Espinosa C A, A Turrent (2000) QPM: Maíz de Calidad Proteínica. Énfasis. Alimentos, Tecnología, Empaque. México 1:6-13
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura en el Banco de México (FIRA) (1998) Oportunidades de Desarrollo del Maíz "Mexicano", Alternativas de Competencia. Boletín Informativo 309. 87 p.
- Lambert R J (2001) High-Oil Corn Hybrids: *In*: Specialty Corns. A R Hallauer (ed). CRC Press. New York, USA. pp:131-152

- Márquez S F, L Sahagún, J A Carrera, E Barrera (2000)** Retrocruza limitada para el mejoramiento de maíces criollos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 51 p.
- Martínez G A (1988)** Diseños Experimentales. Métodos y Elementos de Teoría. Trillas. México. pp: 266-275.
- Ortega P R, J J Sánchez, F Castillo, J M Hernández (1991)** Estado actual de los estudios sobre maíces nativos de México. *In: Avances en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México.* R Ortega, G Palomino, F Castillo, V González, M Livera (eds). Sociedad Mexicana de Fitogenética, AC. (SOMEFI). Chapingo, México. pp:161-185.
- Rasper V (1980)** Theoretical Aspects of Amylographology. *In: "The Amylograph Handbook"* W C Shuey and K H Tipples (eds). Physical Testing Methods Committee of the AACC. St. Paul, MN. 37 p.
- Ramírez W B, F Ortega (1994)** Evaluaciones de las propiedades reológicas y texturales de masa y tortillas de maíces comerciales. *Tecnología de Alimentos* 2:5-8.
- Salinas M Y, F Martínez, J Gómez (1992)** Comparación de métodos para medir la dureza del maíz (*Zea mays* L.). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 42:59-63.
- Salinas M Y, J Castillo, G Vázquez (1995)** Aspectos reológicos y de textura en masa y tortilla de maíz (*Zea mays* L.). *Alimentos* 20:51-57.
- Secretaría de Economía (2001)** NMX-FF-034-2001-SCFI. Productos alimenticios no industrializados-para consumo humano-cereales-Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado- Especificaciones y métodos de prueba. Dirección General de Normas. SAGARPA. México D. F. 18 p
- Shandera D L, D S Jackson, B E Jhonson (1997)** Quality factors impacting processing of maize dent hybrids. *Maydica* 42:281-189.
- Vázquez C G, F Márquez, A R Márquez (1990)** Evaluación física, química y tortillera del Compuesto Pepitilla de maíz. *Fitotecnia* 13 :117-128.
- Watson S A (1987)** Structure and composition. *In: Corn: Chemistry and Technology.* S A Watson, P E Ramstad (eds). American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, MN. pp: 53-82
- Warman A (1982)** El Cultivo del Maíz en México: Diversidad, Limitaciones y Alternativas. Centro de Ecodesarrollo. México, D.F. 132 p