

Calidad nixtamalera y tortillera de maíces del trópico húmedo de México

Alkaline cooking and tortilla quality in maize grains from the humid, tropical lands of Mexico

Jiménez-Juárez JA^{1,2}, G Arámbula-Villa³, E de la Cruz-Lázaro^{1*}, MA Aparicio-Trapala¹

Resumen. La tortilla de maíz (*Zea mays* L.) es el principal alimento de la población mexicana. Se evaluaron nueve genotipos de maíz tropical de grano blanco, característica común en los maíces tropicales y por lo tanto adecuados para la industria de harinas nixtamalizadas. De cada genotipo de maíz se determinaron características de grano, harina, masa y tortilla. Las determinaciones incluyeron (1) en grano: largo, ancho, grosor, peso de mil granos y dureza; (2) en la harina: humedad, proteínas, grasa, cenizas, tamaño medio de partícula, índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua, entalpía y temperatura final de gelatinización; (3) en la masa: cohesión y adhesión; y (4) en las tortillas: humedad, proteína, grado de inflado, rolabilidad, tensión y corte. Hubo diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$) en la mayoría de las características evaluadas. Se encontró que el largo de grano osciló de 9,26 a 11,02 mm, valores que corresponden a las poblaciones 23 y 22, respectivamente. La dureza del grano fluctuó entre 11,17 (población 32) y 14,75 kg-f (criollo Mejen). De acuerdo con el peso de mil granos, la mayoría de los genotipos tuvieron granos pequeños. La humedad de harinas y tortillas fluctuó entre 8,33 - 9,99% y 46,20 - 50,36%, respectivamente. En textura de tortilla la población 43 y el criollo Mejen fueron los genotipos que presentaron los menores valores de tensión y corte, y los que produjeron la mejor tortilla.

Palabras clave: *Zea mays* L.; Características físicas de grano; Harina; Masa; Tortilla.

Abstract. Maize (*Zea mays* L.) tortilla is the major staple food for the Mexican population. Nine tropical maize genotypes were evaluated. All samples had white grains, a common characteristic in tropical maize, and therefore they were appropriate for nixtamalized flour industry. Grain, flour, masa and tortilla characteristics of each maize genotype were evaluated. Length, width, thickness, weight of 1000 grains and hardness of grain were determined. Moisture content, proteins, fat, ash, mean particle size, water absorption index, enthalpy, and flour temperature were also evaluated. Adhesiveness and cohesiveness were evaluated in masa. Moisture content, protein, capacity to puff up, roll making, tension and cutting strength were determined in tortillas. There were significant differences ($p \leq 0.05$) in most of the evaluated characteristics. Grain length values varied between 9.26 and 11.02 mm for populations 23 and 22, respectively. Grain hardness oscillated between 11.17 (population 32) and 14.75 (landrace Mejen). According to the weight of 1000 grains most genotypes had small grains. The minimum and maximum moisture values of flour and tortillas were 8.33-9.99% and 46.20-50.36%, respectively. The texture of tortillas elaborated from population 32 and landrace Mejen had the lowest tension and cutting strength, resulting the best genotypes for making tortilla.

Keywords: *Zea mays* L.; Grain physical characteristics; Maize flour; Masa; Tortilla.

¹ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Agropecuarias. Carretera Villahermosa-Teapa, Km 25, Centro, Tabasco, México.

² Instituto Tecnológico Superior de la Región Sierra. Teapa, Tabasco, México.

³ Centro de Investigación y de Estudios Avanzados Unidad Querétaro. Instituto Politécnico Nacional. Libramiento Norponiente 200. Fraccionamiento Real de Juriquilla. Querétaro, Querétaro, México.

Address Correspondence to: Efraín de la Cruz Lázaro, e-mail: eclazaro@hotmail.com, efrain.delacruz@ujat.mx

Recibido / Received 11.X.2013. Aceptado / Accepted 4.V.2014.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo de mayor producción en el mundo. En México es el cultivo más importante por la superficie sembrada, el valor de su producción, por ocupar al 20% de la población económicamente activa, y por ser el alimento principal de la población (Sierra-Macías et al., 2010). Desde el punto de vista económico contribuye con el 8% del producto bruto interno de la agricultura nacional, y se siembra en más de 8 millones de hectáreas, que representa el 39% de la superficie agrícola nacional (Luna et al., 2012).

Se consume en forma de tortilla, uno de los principales componentes de la dieta del pueblo mexicano; además se utiliza para la obtención de botanas, atoles, pinoles, y en general en una amplia variedad de productos, cuyos usos están asociados con los cultivares, características físicas y su adaptación a las diversas regiones agrícolas (Mauricio et al., 2004). La nixtamalización es el método de cocción desarrollado por las civilizaciones Aztecas y Mayas, para convertir el maíz en tortilla comestible (Reéne et al., 2010). Este método todavía se utiliza para producir tortillas de buena calidad y otros productos alimenticios (Bello-Pérez et al., 2002). Después de cocer el maíz con cal, el producto obtenido (llamado nixtamal) se lava con agua para eliminar el exceso de cal. Durante el cocimiento del grano se originan reacciones químicas, entrecruzamientos e interacciones moleculares que modifican las características fisicoquímicas, estructurales y reológicas de la masa (Arám-bula et al., 2001). En los últimos años, ha crecido la demanda de maíz destinado al proceso de nixtamalización industrial, lo que ha estimulado el estudio de las características de calidad del grano en los programas de mejoramiento genético, y en el proceso de fabricación industrial de productos de maíz nixtamalizado.

La calidad del grano de maíz para el procesamiento alcalino está determinada por sus características físicas y su composición química. Esta calidad es importante para los procesadores de grano a nivel industrial, aunque no para las amas de casa de las áreas rurales, quienes seleccionan el maíz de acuerdo a sus preferencias particulares y utilizan cantidades de cal para el proceso de nixtamalización conforme a su costumbre o gusto (Rangel-Meza et al., 2004). Por ejemplo, la calidad comercial del grano de maíz para consumo humano está declarada en la norma oficial mexicana (NMX-FF-034/1-SCFI-2002), que incluye los procesos de fabricación de harina nixtamalizada y la elaboración de masa y tortilla. En ambos casos las industrias prefieren maíces con las siguientes características: peso hectolítrico ≥ 74 kg/hL, humedad del nixtamal entre 36 y 42%, índice de flotación $\leq 40\%$, pericarpio remanente $< 2\%$ y pérdida de sólidos $< 5\%$ (Vázquez et al., 2012). Sin embargo, se considera que una tortilla de buena calidad se obtiene a partir de masa con una dureza entre $8,7 \times 10^{-4}$ a 1×10^{-5} N/m², adhesividad entre 0,01 y 0,03 N-m, y factor de tensión-compresión entre 2,4 y 2,7 (Rangel-Meza et al., 2004). En lo referente a

la calidad de los maíces blancos comerciales y en proceso de mejoramiento para liberación en áreas del trópico húmedo de México se ha encontrado que estos tienen características de calidad adecuadas para la industria de la masa y la tortilla (Salinas et al., 2010). Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue determinar las características de grano, harina, masa y tortilla de nueve genotipos de maíz tropical y evaluar su potencial para producir tortilla.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron muestras de nueve genotipos de maíz tropical: seis poblaciones tropicales del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), dos materiales mejorados, y un maíz criollo. Las poblaciones tropicales fueron la 22, 23, 25, 32, 43 y 49, catalogadas en la lista de germoplasma del CIMMYT (CIMMYT, 1998); la variedad comercial VS-536 del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; el híbrido HS-3G de la empresa Cristiani Burkard, y el criollo Mejen originario del municipio de Huimanguillo del estado de Tabasco, México.

Dos kilogramos de muestra de cada uno de los genotipos se limpiaron de forma manual y se dejaron secar a temperatura ambiente, hasta alcanzar una humedad del 12% (Salinas et al., 2010). Posteriormente, se determinó por triplicado el largo, ancho y espesor de grano en una muestra de 25 granos tomados al azar; el peso de mil granos se obtuvo pesando mil granos tomados al azar en una balanza analítica Sartorius (Basic). La dureza se midió en una muestra de 10 granos mediante la resistencia a la penetración medida con un texturómetro (TAXT2) provisto con un punzón cónico (ángulo 30°). Se utilizó una velocidad de 2 mm/s, y una distancia de penetración de 2 mm; los datos se reportan en kilogramos fuerza (kg-f).

La nixtamalización se realizó de forma tradicional. En cada una de las muestras se mezclaron 800 g de grano, 16 g de óxido de cal (Ca(OH)₂) y 1600 mL de agua destilada. La mezcla se calentó a temperatura de 96 °C, asignando el tiempo de cocción de los granos de acuerdo con la dureza de los mismos como lo indica la norma NMX-034 (2002). El maíz nixtamalizado se dejó reposar por 16 h a temperatura ambiente, para después lavar el nixtamal y molerlo en un molino de piedras (FUMUSA modelo US-25) para obtener la masa. Posteriormente, las masas se sometieron a deshidratación en un secador neumático tipo "flash", con gases de combustión de 250-280 °C, y tiempo de residencia de 6 s. Las masas deshidratadas se molieron en un molino de martillos (Pulvex-200) con cabezal de malla de 0,8 mm de diámetro, para obtener las harinas, las cuales se guardaron bajo refrigeración hasta su utilización.

A las harinas se les determinó la humedad con el método 44-15, el contenido de proteína con el método 08-01, grasas y cenizas con los métodos 46-13 y 30-25, respectivamente (AACC, 2000). Los índices de absorción y solubilidad de agua se determinaron por los métodos de Anderson et al. (1969a,

1969b). El tamaño medio de partícula de las harinas se determinó con el equipo ROTAP WS Tyler U.S.A con un conjunto de mallas No. 40, 60, 80 y 100. El tamizado se realizó tomando una muestra de 50 g de muestra, agitando durante 10 minutos para realizar la separación. Por cada malla se determinó el peso retenido de harina, y luego se calculó el porcentaje en relación al peso total de la muestra. La determinación de la entalpía y de la temperatura final de gelatinización se realizó con el Calorímetro Diferencial de Barrido (DSC, Differential Scanning Calorimeter, marca Mettler-Toledo 822e).

A las harinas de maíz nixtamalizadas se les adicionó agua hasta obtener una masa con textura adecuada para elaborar tortillas (Salinas et al., 2003). La fuerza de adhesión y cohesión de las masas se midió en una porción de masa, que se puso en un anillo de plástico de 7,5 cm de diámetro y 1,9 cm de altura. El mismo se colocó en la plataforma de aluminio del Texturómetro y se hizo penetrar una esfera metálica de 1,27 cm de diámetro (TA-18) a una velocidad de desplazamiento de 2 mm/s. La adhesión y cohesión se obtuvieron en gramos fuerza (g-f).

Esferas de aproximadamente 20 g de masa se troquelaron en una máquina tortilladora manual de rodillos marca Herrera, con espacio entre rodillos de 1,58 mm. Esto permitió formar discos con un diámetro aproximado de 15 cm que se cocieron en un comal metálico a temperatura de 260 ± 20 °C por 128 s, para asegurar un buen inflado. A las tortillas se les determinó el contenido de humedad con el método 44-15, y proteína con el método 08-01 (AACC, 2000). La fuerza a la tensión y al corte se obtuvo con el equipo Texture Analyzer TA-XT2, utilizando la metodología de Arámbula-Villa et al. (2004). Estas características se expresaron en función de la fuerza de comprensión (dureza) y elongación de la tortilla en g-f. El grado de inflado se evaluó durante el cocimiento en 10 tortillas de cada genotipo, a las que se les observó el tamaño de inflado que presentaron al momento de su elaboración. De esta manera, se asignó una calificación de 1 a la tortilla con un inflado completo, 2 inflado intermedio y 3 sin inflado. Para determinar la rolabilidad de la tortilla se utilizó el método descrito por Bedolla et al. (1983), para lo cual se tomaron cinco tortillas, las cuales se enrollaron de forma manual alrededor de una varilla de vidrio de 2 cm de diámetro para observar el grado de rompimiento. Se asignó una calificación de 1 a la tortilla que no presentó ruptura, 2 cuando se rompió aproximadamente el 25% del ancho de la tortilla, 3 cuando presentó una ruptura aproximada del 50%, 4 con una ruptura aproximada del 75%, y 5 cuando la ruptura fue completa. La prueba se llevó a cabo después de 10 minutos de elaboradas las tortillas.

Los datos se analizaron con un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones y se utilizó la prueba de Duncan ($\alpha=0,05$) para la comparación de medias. Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico SAS versión 9,0 (SAS Institute, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se detectaron diferencias ($p \leq 0,05$) en la dureza, largo, espesor y peso de mil granos en los genotipos de maíz evaluados (Tabla 1). El largo de grano osciló entre 9,26 y 11,02 mm, el ancho entre 8,26 y 8,94 mm y el espesor entre 3,81 y 4,63 mm. Estos valores corresponden a tamaños de grano de maíces cristalinos, que son los más utilizados para tortilla (Arámbula et al., 1999). El tamaño del grano es un criterio que no se consigna en la norma NMX-034, 2002, pero es una variable de interés por su impacto en el cocimiento y absorción de agua durante la nixtamalización (Antuna et al., 2008). Salinas et al. (2010) indicaron que el tamaño del grano influye en la capacidad de hidratación del mismo. El peso de mil granos varió de 277,21 a 349,83 g. Al respecto, Salinas y Vázquez (2006) indicaron que los granos grandes tienen un peso de mil semillas mayor a 380 g, los medianos entre 330 y 380 g, y los pequeños presentan valores menores de 330 g. Los granos de todos los genotipos se clasificaron como medianos y pequeños en nuestro estudio. Estos granos se hidratan con mayor facilidad que los grandes, lo que resulta en una mayor humedad de nixtamal, masa y tortilla, y por consiguiente un mayor rendimiento (Salinas et al., 2010). Esto indica que todos los genotipos evaluados son aptos para su procesamiento doméstico y por la industria de la masa y la tortilla.

Tabla 1. Características físicas de granos de nueve genotipos de maíz tropical.

Table 1. Grain physical characteristics of nine tropical maize genotypes.

Genotipo	Dimensiones				PMG† (g)
	Dureza (kg-f)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	
Pob 22	14,45 a	11,02 a	8,85 a	4,38 ab	349,83 a
Pob 23	12,24 c	9,26 c	8,94 a	4,60 a	318,68 bc
Pob 25	11,28 c	10,76 ab	8,58 a	4,40 ab	303,74 de
Pob 32	11,17 c	10,86 a	8,89 a	4,63 a	328,43 b
Pob 43	12,31 bc	10,68 ab	8,87 a	4,07 bc	327,57 b
Pob 49	13,81 ab	10,86 a	8,76 a	3,81 c	277,21 f
VS 536	12,51 bc	11,02 a	8,87 a	4,13 bc	296,88 e
HS-3G	12,05 c	10,91 a	8,62 a	4,31 ab	307,52 d
Mejen	14,75 a	10,22 b	8,26 a	4,06 bc	312,30 dc

Las medias con letras iguales no difieren significativamente (Duncan, $p > 0,05$). †PMG=Peso de mil granos.

Means followed by the same letter are not significantly different (Duncan, $p > 0,05$). †PMG= Thousand kernel weight.

La dureza de grano fluctuó entre 11,17 y 14,75; la mayor dureza se obtuvo en el criollo Mejen y las poblaciones 22 y 49. Mauricio et al. (2004) informaron valores de dureza de

grano similares a los hallados en la presente investigación. Los términos granos duro y suave se emplean para designar la relación de áreas harinosa/cristalina del endospermo (Salinas et al., 1992). En el presente estudio, el criollo Mejen y las poblaciones 22 y 49 tuvieron la mayor dureza de grano; estos genotipos pueden expresar una alta temperatura de gelatinización y requieren un mayor tiempo de cocción. Si bien son pocos apropiados para la producción de tortillas elaboradas bajo el proceso tradicional de nixtamalización, resultan excelentes para la elaboración de harinas (Mauricio et al., 2004).

Las características fisicoquímicas de las harinas de maíz se presentan en el Tabla 2, donde se observa que todas las características presentaron diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$). La única excepción fue el tamaño medio de partícula en donde no se observaron diferencias estadísticas entre las harinas. El contenido de humedad de las harinas se encontró en el rango de 6,7 a 10,4% reportado para harinas de maíz nixtamalizado por Bello-Pérez et al. (2002). Dicho parámetro también está dentro del límite máximo indicado por la Norma Oficial Mexicana, que señala un 11% de contenido de humedad como límite máximo (Salinas et al., 2003). El contenido de proteína de las harinas se encontró dentro de los valores de 7,5 a 9,0% reportados por Bello-Pérez et al. (2002). Esto puede estar asociado con la dureza del grano, lo que se atribuye a una mayor presencia de cuerpos proteínicos que rodean los gránulos de almidón en los maíces duros (Watson, 2003). Los contenidos de grasa y ceniza se hallaron entre los valores reportados para harinas de maíz nixtamalizado (Agama-Acevedo et al., 2011). La calidad de las harinas de maíz nixtamalizado está relacionada con el índice de absorción de agua, que es una forma de medir su funcionalidad. Al respecto, el índice de absorción de

agua varió entre 2,59 y 3,05 g gel/g de harina seca. Las poblaciones 43 y 49 presentaron los mayores ($p \leq 0,05$) valores de dichos índices, lo que les puede conferir una mayor producción de tortilla (Bressani et al., 2001). Durante la producción de las harinas de maíz nixtamalizado el secado es un factor crítico para producirlas con un índice de absorción de agua adecuado. Se ha informado que un tiempo de secado largo rompe las cadenas de almidón, y genera cadenas cortas que retienen un mayor número de moléculas de agua (Bello-Pérez et al., 2002). Debido a esto se pueden obtener masas con mayor adhesividad, lo que dificulta su manejo durante la elaboración de tortillas. Esto pudo haber sucedido con las harinas de la población 49 que tuvieron el mayor índice de absorción de agua.

El índice de solubilidad de agua indica la cantidad de sólidos disueltos en el agua de una muestra de harina que es expuesta a un exceso de este líquido, y al grado de cocción del grano con que se preparó la harina (Flores-Farías et al., 2002). Respecto a este índice, se encontraron diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$) en las harinas de los diferentes genotipos de maíz, con valores que oscilaron de 4,62 a 5,19%, los cuales se encontraron dentro de los valores reportados por Bressani et al. (2001). Con la excepción de la población 22, todos los genotipos tuvieron temperaturas finales de gelatinización estadísticamente similares (Tabla 3). La variedad VS-536 y la población 43 presentaron valores mayores de 80 °C. Los menores valores los tuvo la población 22. En general todas las temperaturas de gelatinización se encontraron dentro de los valores reportados por Méndez-Montelvalvo et al. (2005) para harinas de maíces nixtamalizados. Las mayores entalpías de gelatinización las tuvieron la población 49, 32, variedad VS-536 y el híbrido HS-3G, lo cual indica que fueron las harinas

Tabla 2. Características fisicoquímicas de las harinas.
Table 2. Physicochemical characteristics of the corn flour.

Genotipo	Humedad (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Ceniza (%)	TMP (μ M)	IAA g de gel/g de muestra seca	ISA % sólidos
Pob 22	8,33 e	7,87 d	3,42 b	1,72 c	578,14 a	2,65 b	4,97 b
Pob 23	9,82 b	7,96 c	2,83 g	1,74 bc	526,88 a	2,61 b	5,09 a
Pob 25	9,99 a	7,47 f	2,16 i	1,72 c	549,52 a	2,65 b	4,62 b
Pob 32	8,29 e	8,01 b	2,77 h	1,74 bc	566,31 a	2,62 b	5,19 a
Pob 43	9,19 c	7,93 c	3,54 a	1,86 b	546,07 a	3,05 a	5,09 a
Pob 49	8,33 g	8,00 b	3,02 f	2,02 a	525,09 a	3,04 a	5,09 a
VS 536	8,57 d	7,22 g	3,12 e	1,73 c	579,07 a	2,63 b	4,91 b
HS-3G	8,45 d	7,62 e	3,15 d	1,75 bc	557,42 a	2,59 b	5,16 a
Mejen	9,91 a	9,02 a	3,26 c	1,74 bc	565,11 a	2,65 b	4,91 b

Las medias con letras iguales no difieren significativamente (Duncan, $p > 0,05$). TMP=Tamaño medio de partícula, IAA=Índice de absorción de agua, ISA=Índice de solubilidad de agua.

Means followed by the same letter do not differ significantly (Duncan, $p > 0.05$). TMP=Mean particle size, IAA=Water uptake index, ISA=Index of solubility in water.

con mayor grado de gelatinización. Los valores más bajos de entalpía de gelatinización los presentaron las poblaciones 22, 25 y el criollo Mejen. Esto sugiere que estas harinas tuvieron condiciones severas de procesamiento. Al respecto, Bello-Pérez et al. (2002) indicaron que tratamientos drásticos de temperatura producen la gelatinización del almidón, lo que causa mayor grado de desorganización. Los genotipos con mayor temperatura de gelatinización se pueden utilizar en la producción de harinas de maíz debido a las altas temperaturas usadas durante su procesamiento. En cambio, aquellos genotipos con menores temperaturas y entalpías de gelatinización se pueden usar para elaborar tortillas mediante el proceso tradicional de nixtamalización, ya que se ahorraría energía. En general se observó que los maíces con mayores temperaturas de gelatinización también tuvieron entalpías elevadas, lo cual se podría explicar por la estructura molecular de la amilopeptina presente en el almidón (Bello-Pérez et al., 2002).

Tabla 3. Temperatura final y entalpía de gelatinización de genotipos de maíz tropical.

Table 3. End Temperature and enthalpy of gelatinization of tropical maize genotypes.

Genotipo	ΔH J/g	TFG °C
Pob 22	20,03 c	79,14 b
Pob 23	22,11 b	79,50 a
Pob 25	20,17 c	79,65 a
Pob 32	23,08 a	79,50 a
Pob 43	22,47 b	80,12 a
Pob 49	23,21 a	79,94 a
VS 536	23,12 a	80,71 a
HS-3G	23,00 a	79,62 a
Mejen	20,15 c	79,23 a

Las medias con letras iguales no difieren significativamente (Duncan, $p>0,05$), ΔH = Entalpía de gelatinización, TFG=Temperatura final de gelatinización.

Means followed by the same letter do not differ significantly (Duncan, $p>0.05$). ΔH = Gelatinization enthalpy. TFG=Gelatinization end temperature.

Los valores de adhesión y cohesión de las masas producidas con los genotipos de maíces evaluados se presentan en la Tabla 4. Las masas de maíz nixtamalizado requieren cierta fuerza de adhesividad para que se pueda troquelar; sin adhesividad se carece de la consistencia necesaria para troquelar la tortilla. Una masa demasiado adhesiva o chiclosa no permite que se puedan formar las tortillas (Antuna et al., 2008). Los factores que afectan la adhesividad, los cuales deben tenerse en cuenta, son el grado de cocimiento, la humedad de la masa, la capacidad de absorción de agua, el tamaño de partícula, y el excesivo lavado de la cal del grano (Martínez-Bustos et al., 2001). Las poblaciones 22 y 49 tuvieron los mayores valores (33,00

y 32,87 g) de adhesión; los menores valores los presentaron la población 23, el híbrido HS-3G y el criollo Mejen. Con la excepción de los tres últimos genotipos, los restantes seis genotipos de maíz se hallaron dentro del rango reportado como adecuado para la producir tortilla (Arámbula et al., 2001). En lo que respecta al contenido de humedad de las tortillas, todas tuvieron valores adecuados para tortillas elaboradas con harina de maíz nixtamalizado (Martínez-Flores et al., 2004). Al respecto, Salinas et al. (2010) y Vázquez et al. (2012) afirmaron que se requiere un valor de 45% de humedad de tortilla para obtener 1,5 kg de tortilla por kilogramo de maíz. En este sentido, las tortillas de la población 32 y de la variedad VS-536 fueron los genotipos que tuvieron un mayor potencial de producción de tortillas. Se observaron diferencias estadísticas ($p\leq 0,05$) para el contenido de proteína, con valores que oscilaron entre 5,62 y 5,96%. Estos valores son menores si se los compara con aquellos en las harinas nixtamalizadas. Esto es normal ya que estos componentes se van perdiendo o degradando durante los diferentes tratamientos térmicos a los que se someten el grano, la harina y la masa durante la elaboración de la tortilla.

Tabla 4. Características fisicoquímicas de masa y tortilla.

Table 4. Physicochemical characteristics of masa and tortilla.

Genotipo	Masa		Tortilla	
	Cohesión (g-f)	Adhesión (g-f)	Humedad (%)	Proteína (%)
Pob 22	200,37 bc	33,00 a	46,85 c	5,90 a
Pob 23	211,50 ab	24,75 c	48,73 b	5,87 a
Pob 25	190,75 c	30,37 ab	48,71 b	5,62 b
Pob 32	215,62 a	28,87 b	50,36 a	5,62 b
Pob 43	215,25 a	29,75 b	46,20 c	5,81 a
Pob 49	184,50 d	32,87 a	48,62 b	5,85 a
VS 536	193,12 c	31,12 ab	50,34 a	5,85 a
HS-36	199,87 bc	24,37 c	46,23 c	5,83a
Mejen	207,00 bc	24,62 c	48,21 b	5,96 a

Las medias con letras iguales no difieren significativamente (Duncan, $p>0,05$).

Means followed by the same letter do not differ significantly (Duncan, $p>0.05$).

En la Tabla 5 se presentan características de textura de tortilla, donde se observa que el grado de inflado y la rolabilidad no tuvieron diferencias estadísticas. Sin embargo, se puede destacar que todas las tortillas elaboradas con los nueve genotipos de maíz tuvieron un inflado completo y sin roturas. La fuerza a la tensión y la resistencia al corte son propiedades de la textura de la tortilla con las que se evalúan la plasticidad y el grado de dureza del producto. Cuanto más suave y blanda es una tortilla, se requiere menos trabajo para su masticación,

y el producto es de mejor calidad. La mayor fuerza al corte la presentó la tortilla elaborada con maíz de la población 32 (1547 g), mientras que el valor más bajo lo presentó el criollo Mejen (1285 g). La fuerza al corte de los genotipos estudiados se encuentran dentro de lo reportado por Antuna et al. (2008), quienes encontraron que se requiere una fuerza de corte de entre 891 y 1523 g. Por lo tanto, las tortillas de todos los genotipos mostraron una fuerza al corte adecuada, con la excepción de la tortilla elaborada con la población 32 que tuvo el mayor valor, lo que indica que es una tortilla dura.

Tabla 5. Características de textura de las tortillas de genotipos de maíz tropical.

Table 5. Textural characteristics of the tortilla of tropical maize genotypes.

Genotipos	Grado de inflado	Rolabilidad	Tensión (g-f)	Corte (g-f)
Pob 22	1,13 a	1,05 ^a	293,25 ^a	1332,00 ^b
Pob 23	1,12 a	1,03 a	208,75 b	1365,35 ab
Pob 25	1,10 a	1,08 a	253,00 ab	1407,47 ab
Pob 32	1,16 a	1,08 a	243,58 ab	1547,00 a
Pob 43	1,13 a	1,12 a	223,33 b	1270,60 b
Pob 49	1,10 a	1,00 a	250,42 ab	1397,47 ab
VS 536	1,12 a	1,08 a	277,92 a	1401,63 ab
HS-3G	1,13 a	1,16 a	295,83 a	1458,75 ab
Mejen	1,11 a	1,08 a	225,58 b	1285,05 b

Las medias con letras iguales no difieren significativamente (Duncan, $p > 0,05$).

Means followed by the same letter do not differ significantly (Duncan, $p > 0.05$).

CONCLUSIONES

Cada genotipo produjo tortillas con diferentes características de textura, pero todos tuvieron características aceptables, debido a que todas las tortillas presentaron buen nivel de inflado, rolabilidad y buen contenido de humedad. Las tortillas elaboradas con la población 43 tuvieron la menor resistencia al corte, valores bajos de tensión y alto potencial de rendimiento de tortilla. Además, dichas tortillas mostraron una entalpía y temperatura final de gelatinización adecuadas para la industria de la harina nixtamalizada. El genotipo menos aceptable para producir tortilla fue la población 32. Por el tamaño de grano, sólo la población 22 tuvo el tamaño requerido por la industria de la harina nixtamalizada. Los ocho genotipos restantes tuvieron tamaños aceptables para la industria de la masa y la tortilla.

REFERENCIAS

- Agama-Acevedo, E., Y. Salinas-Moreno, G. Pacheco-Vargas y L.A. Bello-Pérez (2011). Características físicas y químicas de dos razas de maíz azul: morfología del almidón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2: 317-329.
- AACC (2000). Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 10th ed. St. Paul, Minnesota. USA. 425p.
- Anderson, R.A., H.F. Conway, V.P. Pfeifer y V.F. Griffin Jr. (1969a). Gelatinization of corn grits by roll and extrusion - cooking. *Cereal Science Today* 14: 4-12.
- Anderson, R.A., H.F. Conway, U.F. Pfeiffer y V.F. Griffin Jr. (1969b). Roll and extrusion-cooking of grain sorghum grits. *Cereal Science Today* 14: 372-375.
- Antuna, G.O., S.A. Rodríguez H., G. Arámbula V., A. Palomo G., E. Gutiérrez R., A. Espinoza B., E.F. Navarro O. y E. Andrio E. (2008). Calidad nixtamalera y tortillera en maíces criollos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31: 23-27.
- Arámbula, V.G., L. Barrón A., J. González-Hernández, E. Moreno M. y G. Luna B. (2001). Efecto del tiempo de cocimiento y reposo del grano de maíz (*Zea mays* L.) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas, reológicas, estructurales y texturales del grano, masa y tortilla de maíz. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 51: 187-194.
- Arámbula, V.G., S.R. Mauricio A., J.D. Figueroa C., J. González H. y F.C. Ordorica A. (1999). Corn masa and tortillas from extruded instant corn flour containing hydrocolloids and lime. *Journal of Food Science* 64: 120-124.
- Arámbula-Villa, G., J.A. Méndez-Albores, J. González-Hernández, E. Gutiérrez-Arias y E. Moreno-Martínez (2004). Evaluation of a methodology to determine texture characteristics of maize (*Zea mays* L.) tortilla. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 54: 216-222.
- Bedolla, S., M.G. de Palacios, L.W. Rooney, K.C. Dile y M.N. Khan (1983). Cooking characteristics of sorghum and corn for tortilla preparation by several cooking methods. *Cereal Chemists* 60: 263-268.
- Bello-Pérez, L.A., P. Osorio-Díaz, E. Agama-Acevedo, C. Núñez-Santiago y O. Paredes-López (2002). Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas de masas y harinas de maíz nixtamalizado. *Agrociencia* 36: 319-328.
- Bressani, R., J.C. Turcios, L. Reyes y R. Mérida (2001). Caracterización física y química de harinas industriales nixtamalizadas de maíz de consumo humano en América Central. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 51: 309-313.
- CIMMYT (1998). A Complete Listing of Improved Maize Germplasm from CIMMYT. Maize Program Special Report. Mexico, D.F. 94 p.
- Flores-Fariás, R., F. Martínez-Bustos, Y. Salinas-Hernández y Y. Ríos (2002). Caracterización de harinas comerciales de maíz nixtamalizado. *Agrociencia* 36: 557-567.
- Luna, M.B.M., M.A. Hinojosa R., O.J. Ayala G., F. Castillo G. y J.A. Mejía C. (2012). Perspectivas de desarrollo de la industria semillera de maíz en México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35: 1-7.
- Marínez-Busto, F., H.E. Martínez-Flores, E. Sanmartín-Martínez, F. Sánchez-Sinencio, Y.K. Chang, D. Barrera-Arellano y E. Ríos (2001). Effect of the components of maize, on the quality of masa and tortillas during the traditional nixtamalisation process. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 81: 1455-1464.

- Martínez-Flores, H.E., M. Gaytán-Martínez, J.D. Figueroa-Cárdenas, F. Martínez-Bustos, M.L. Reyes-Vega y A. Rodríguez-Vidal (2004). Effect of some preservatives on shelf-life of corn tortillas obtained from extruded masa. *Agrociencia* 38: 285-292
- Mauricio, S.R.A., J.D. Figueroa C., S. Taba, M.L. Reyes V., F. Rincón S. y A. Mendoza G. (2004). Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27: 213-222.
- Méndez-Motealvo, G., J. Solorza-Feria, M. Velázquez del V., N. Gómez-Montiel, O. Paredes-López y L.A. Bello-Pérez (2005). Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivadas en México. *Agrociencia* 39: 267-274.
- Norma Oficial Mexicana. 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, NMX-FF-034/1-SCFI-2002 (2002). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; Dirección General de Normas. México, D. F. 18 p.
- Rangel-Meza, E., A. Muñoz-Orozco, G. Vázquez-Carrillo, J. Cuevas-Sánchez, J. Merino-Castillo y S. Miranda-Colín (2004). Nixtamalización, elaboración y calidad de tortilla de maíces de Ecatlán, Puebla, México. *Agrociencia* 38: 53-61.
- Reéne, P.M., M. Palacios P. y R. Bressani (2010). Effect of Lime and Wood Ash on the Nixtamalization of Maize and Tortilla Chemical and Nutritional Characteristics. *Plant Foods Human Nutrition* 65: 130 - 135.
- Salinas, M.Y. y M.G. Vázquez C. (2006). Metodologías de análisis de calidad nixtamalera-tortillera en maíz. INIFAP. Folleto técnico Num. 24. 98 p.
- Salinas, M.Y., N.O. Gómez M., J.E. Cervantes M., M. Sierra M., A. Paafox C., E. Betanzos M. y B. Coutiño E. (2010). Calidad nixtamalera y tortillera en maíces del trópico húmedo y sub-húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1: 509-523.
- Salinas, M.Y., F. Martínez-Bustos y J. Gómez-Heras (1992). Comparación de métodos para medir la dureza del maíz (*Zea mays* L.). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 42: 59-63.
- Salinas, M.Y., P. Pérez H., J. Castillo M. y L.A. Álvarez R. (2003). Relación de amilosa: amilopectina en el almidón de harina nixtamalizada de maíz y su efecto en la calidad de la tortilla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26: 115-121.
- SAS Institute (2002). SAS User's Guide. Versión 9.0, SAS Institute Inc. Cary, NC. USA.
- Sierra-Macías, M., A. Palafox-Caballero, G. Vázquez-Carrillo, F. Rodríguez-Montalvo y A. Espinosa-Calderón (2010). Caracterización agronómica, calidad industrial y nutricional de maíz para el trópico mexicano. *Agronomía Mesoamericana* 21: 21-29.
- Vázquez, C.M.G., H. Mejía A., C. Tut C., y N. Gómez M. (2012). Características de granos y tortillas de maíces de alta calidad proteínica desarrollados para los valles altos centrales de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35: 23-31.
- Watson, S.A. (2003). Description, development, structure, and composition of the corn kernel. Chapter 3, 12. En: White P.J. y Johnson L.A. (eds.). Corn: Chemistry and Technology. Second ed. American 13 Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul Minnesota, USA. pp: 69-106.