

EFFECTO DE LA DUREZA DEL GRANO DE MAÍZ (*Zea mays* L.) SOBRE EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LA TORTILLA

EFFECT OF MAIZE (*Zea mays* L.) GRAIN HARDNESS ON YIELD AND QUALITY OF TORTILLA

Yolanda Salinas-Moreno^{1*}; Luis Aguilar-Modesto²

¹Laboratorio de Maíz. Campo Experimental Valle de México, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Carretera México-Texcoco, km 38.5, Chapingo, México. C. P. 56230. Tel/Fax: 595-9546528.

² Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, km 38.5, Chapingo, Estado de México. Correo-e: yolysamx@yahoo.com (*Autor responsable)

RESUMEN

El maíz es el cereal más importante en la dieta de los mexicanos. Se consume principalmente como tortilla, la cual puede elaborarse tanto a partir de masa fresca como de harina nixtamalizada. Los objetivos del presente trabajo fueron: establecer el efecto de la dureza del grano de maíz sobre los rendimientos de masa y tortilla, así como su relación con la textura de la tortilla, y la estabilidad de esta característica durante el almacenamiento. Para tal fin se utilizaron 27 muestras de maíces obtenidos en los estados de Puebla y Tlaxcala, los cuales se agruparon de acuerdo con la dureza de su grano. Se determinaron variables físicas, químicas y de nixtamalización en las muestras. La calidad de la tortilla durante su almacenamiento se midió en términos de su textura y humedad. Los maíces de grano duro se caracterizaron por un mayor peso hectolítrico y menores valores de índice de flotación y peso de cien granos, que los de grano intermedio y suave. La dureza influyó en el contenido de humedad de la tortilla, y de esta manera en el índice de rendimiento tortilla/maíz, pero no en la textura de la tortilla. Las características favorables de la textura de la tortilla se perdieron dentro de las primeras 24 horas de almacenamiento. Para lograr índices de rendimiento tortilla/maíz ≥ 1.5 , la humedad de la tortilla debe estar entre 45-46 %. Se observó que esto se logra procesando maíces de dureza intermedia o suave.

Palabras clave adicionales: Nixtamalización, índice de rendimiento, masa, extensibilidad.

ABSTRACT

Maize is the most important cereal in the diet of Mexican people. Maize is consumed mainly as tortilla, which can be produced from fresh masa or nixtamalized maize flour. The objectives of the present work were to establish the effect of maize grain hardness on masa and tortilla yields as well as its relationship with tortilla texture and the stability of this tortilla characteristic during the storage. There were used 27 maize samples obtained in the states of Puebla and Tlaxcala that were grouped according to their grain hardness. Physical, chemical and nixtamalization variables were evaluated in the samples. The tortilla quality during the storage was determined in function of texture and moisture. The maize samples with hard endosperm presented higher test weight and lower floatation index and thousand weight values than the maize samples with medium and soft endosperm. Grain hardness affected moisture content of tortilla and in this way tortilla yield, but not the tortilla texture. The favorable tortilla texture characteristics were lost after being storage for 24 h. To obtain an index yield of tortilla/maize ≥ 1.5 , the tortilla moisture has to range from 45 to 46 %. Maize with soft to medium hardness grain let to have tortillas with these moisture requirements.

Additional key words: Nixtamalization, yield index, masa, extensibility.

INTRODUCCIÓN

En México el principal destino del maíz producido es para consumo humano directo en forma de tortilla. De esta forma se consumieron durante 2009 cerca de 11 millones de toneladas de maíz, de las cuales alrededor de un tercio correspondió al autoconsumo, otro se procesó industrialmente para elaborar tortilla a partir de masa fresca, y el tercio restante se destinó a elaborar harina nixtamalizada, que se transforma posteriormente en tortilla (SIAP, página electrónica). En el país existen dos tipos de industrias que procesan el grano de maíz bajo la nixtamalización: la industria de la masa/tortilla (IMT) y la de las harinas nixtamalizadas (IHN). Las características de calidad del grano para cada una son ligeramente diferentes, en particular lo que tiene que ver con la dureza del endospermo (Salinas, 2002). Los requerimientos de calidad para la IHN están descritos en la Norma Mexicana para maíz nixtamalizado (NMX-FF-034/1-2002). En el caso de la IMT, los valores establecidos para algunos de los parámetros no son adecuados, pues sus productos (masa y tortilla) son de humedad más elevada que la harina nixtamalizada, por lo que requiere maíces menos duros.

En los maíces tipo dentado, que son los que se destinan al proceso de nixtamalización, el endospermo se conforma de una parte harinosa y otra vítrea o cristalina. La proporción de estas fracciones determina la dureza del grano; a mayor fracción harinosa, el grano es más suave, y viceversa (Watson, 2003).

Los maíces de endospermo suave se hidratan mejor que los de endospermo duro durante el proceso de nixtamalización debido a que los gránulos de almidón son más fácilmente alcanzados por el agua, por tener menor cantidad de cuerpos de zeína circundándolos que los de endospermo duro (Watson, 2003). Adicionalmente, el almidón en la fracción harinosa del grano dentado posee mayor cantidad de amilopectina que en la fracción vítrea (Dombrink-Kurtzman y Knutson, 1997). La velocidad de hidratación de las fracciones del almidón es diferente; la amilopectina absorbe más rápidamente el agua que la amilosa (Ansari *et al.*, 2010).

Los rendimientos de masa y de tortilla dependen básicamente de la capacidad del grano de absorber agua y de retenerla durante las etapas del proceso, particularmente la tortilla, que pierde una cantidad importante durante la formación de la “ampolla”, que es la etapa final del cocimiento. Esta última característica se ve afectada por la proporción de amilosa/amilopectina del almidón (Guo *et al.*, 2003). Sin embargo, la cantidad de pericarpio retenido una vez que el nixtamal es enjuagado, también influye en los rendimientos, por la capacidad de ligar agua que esta estructura hidrolizada posee (Martínez-Bustos *et al.*, 2001); lo mismo ocurre con la pérdida de sólidos en el nejayote.

A la fecha son abundantes los estudios que abordan los efectos del tipo de maíz y proceso de nixtamalización sobre las características de textura de la tortilla (Rangel-Meza *et al.*, 2004; Sahai *et al.*, 2001), pero muy pocos consideran el efecto de estos factores sobre el rendimiento de masa y tortilla (Salinas y

Arellano, 1989), no obstante que cerca de un tercio de la tortilla consumida en México proviene de esta industria, que actualmente enfrenta serios problemas para competir con las tortillerías que utilizan exclusivamente harina nixtamalizada, que contiene gomas adicionadas para mejorar el rendimiento de estos productos y su textura (Flores-Farías *et al.*, 2000). Los objetivos del presente trabajo fueron establecer el efecto de la dureza del grano de maíz sobre los rendimientos de masa y tortilla, así como su relación con la textura de la tortilla y la estabilidad de esta característica durante el almacenamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material de estudio

Se utilizaron 27 muestras de maíz obtenidas directamente con el productor en los estados de Puebla y Tlaxcala. La mayoría de estos maíces son variedades criollas que se destinan a la industria de la masa y la tortilla. Se agruparon por la dureza de su endospermo (índice de flotación), de acuerdo con la clasificación propuesta por Gomes (Com. pers.)¹. El trabajo se desarrolló en el Laboratorio de Maíz del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y el Laboratorio de Control de Calidad del Departamento de Ingeniería Agroindustrial, ambos ubicados en la Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México.

Caracterización física del grano

Se realizó en función de las variables de humedad (Método 44-11), peso hectolítrico (Método 84-10) ambos de la AACC (2000) índice de flotación (Salinas *et al.*, 1992) y peso de cien semillas; para esta última determinación se contaron manualmente 100 granos y se pesaron en una balanza semi-analítica. El porcentaje relativo de cada una de las estructuras del grano se determinó de acuerdo a la metodología utilizada en el Laboratorio Central de la empresa MASECA® y descrita por Salinas y Vázquez (2006).

Variables químicas

Las muestras de grano crudo se molieron en un molino tipo ciclónico UDY con malla de 0.5 mm para obtener la harina, que se deshidrató en un horno a temperatura de 50 °C por 14-16 h para expresar las variables de composición química en base seca. El contenido de proteína se midió conforme al método 46-11A de la AACC (2000). Para la determinación de almidón, este polímero se hidrolizó hasta glucosa con el uso de diferentes enzimas, para luego cuantificar el contenido de glucosa total y mediante el uso de un factor calcular el porcentaje de almidón (Herrera y Huber, 1989); la amilosa se determinó mediante el método propuesto por Juliano (1971), el cual se basa en la medida de la transmisión de la luz a través de la solución de un complejo coloreado (azul) que forma la amilosa al reaccionar con el yodo.

¹Gomes H. J. (1993) Métodos comparativos para determinar dureza en maíz y su influencia en el tiempo de nixtamalización. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. UACH. México 82 p.

Variables de nixtamalización y tortilla

La nixtamalización de las muestras se realizó a partir de 150 g de grano, utilizando 1.5 g de óxido de calcio y 300 mL de agua destilada. Se mezclaron los componentes en un vaso de precipitados de 600 mL y se calentaron en una parrilla para nixtamalización hasta ebullición, asignando su tiempo de cocimiento de acuerdo a la dureza del grano (medida por el índice de flotación). Las muestras nixtamalizadas se dejaron en reposo por 14-16 horas a temperatura ambiente para después enjuagar el nixtamal y molerlo en un molino de piedras para obtener la masa (Salinas y Arellano, 1989), que se amasó manualmente agregando agua destilada hasta tener una textura adecuada para elaborar las tortillas. Antes de la molienda se determinó la humedad del nixtamal, y en la masa también se midió esta variable; en ambos casos la determinación se realizó según lo descrito por Salinas y Vázquez (2006). Las tortillas se moldearon en una prensa manual y se cocieron por espacio de 1.5 minutos sobre una plancha metálica caliente. Una vez cocidas, se enfriaron a temperatura ambiente durante 30 minutos tapadas con una servilleta de manta. Luego se empacaron por grupos de cinco tortillas envueltas en un lienzo de tela y se colocaron en bolsas de plástico.

Para obtener el rendimiento de masa, se pesó la masa acondicionada en una balanza semianalítica y se relacionó con la cantidad de grano que se nixtamalizó. El rendimiento de tortilla se determinó de manera similar, pero en este caso se obtuvo el peso de la tortilla caliente (inmediatamente después de elaborada) y de tortilla fría (después de 30 minutos de haber sido elaborada).

El porcentaje de pericarpio retenido en el nixtamal se determinó de acuerdo con la metodología descrita por Salinas y Vázquez (2006).

Calidad de la tortilla

Se midió en función de humedad (Método 14.004, AOAC 1984) y textura. Esta última variable se evaluó mediante la fuerza de ruptura a tensión (Martínez-Bustos *et al.*, 2001) y extensibilidad de la tortilla (Suhendro *et al.* 1999). Se usó un texturómetro Texture Analyser TA-XT2 (Stable Micro Systems, England) con el accesorio AT/G, que corresponde a unas pinzas de retención, en las cuales se colocó la muestra y se sometió a tensión. El texturómetro se calibró a una velocidad de 1 mm/s y una distancia de 20 mm, utilizando la celda de carga de 5 kg. Para cada tratamiento se tuvieron cuatro repeticiones. De la curva resultante se obtuvo la fuerza máxima requerida para romper la tortilla (gf), y la distancia recorrida hasta el corte de la pieza (mm), que se tomó como extensibilidad. Tanto la humedad como la textura en la tortilla se monitorearon a las 2 horas de haber sido elaboradas y posteriormente cada 24, y hasta 72 horas de almacenamiento a temperatura ambiente.

Análisis estadístico de los datos

Se utilizó un diseño completamente al azar. Se realizó análisis de varianza para cada grupo y de manera global para todas

las muestras, así como pruebas de correlación entre las diferentes variables. En todos los casos se utilizó el paquete SAS, versión 6.2 (SAS Institute, 1989).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físicas del grano

Al agrupar los maíces por su dureza de grano, se observó diferencia estadística de las variables asociadas con esta característica (PH e IF); la humedad del grano fue igual para los tres grupos de maíces. En cuanto al tamaño del grano, estimado a través del PCG, los maíces de textura de grano intermedia fueron los de grano más grande, seguidos de los maíces suaves, y los de grano más pequeño fueron los maíces duros (Cuadro 1). Los valores de PH de los maíces duros e intermedios cumplen con lo especificado para esta variable en la Norma de calidad para maíz nixtamalizado (NMX-FF-034/1-2002), que es de 74.0 kg·hl⁻¹; los maíces suaves estuvieron ligeramente por debajo. Respecto al IF, los únicos que satisfacen lo establecido en la norma son los maíces de grano duro. Los parámetros de calidad establecidos en la NMX-FF-034/1-2002 son favorables para la industria de las harinas nixtamalizadas (Salinas 2002), que elabora un producto con contenido de humedad completamente diferente a los de la industria de la masa y la tortilla. El tamaño del grano es un criterio que no se consigna en dicha norma, pero tiene influencia en la capacidad de hidratación del grano, ya que bajo una misma dureza se hidratan mejor los de grano pequeño que los de grano grande (Sánchez *et al.*, 2007).

Se observó diferencia significativa ($P < 0.05$) de los porcentajes de pico y pericarpio entre los grupos de maíces. Para la primera variable, los maíces suaves e intermedios tuvieron un mayor valor que los duros. Este resultado se puede deber a que la mayoría de los maíces de endospermo duro son híbridos comerciales que se cosechan de manera mecanizada, con humedad de grano elevada (20-25 %) para reducir el porcentaje de grano quebrado; sin embargo, bajo estas condiciones de humedad, parte del pedicelo de muchos granos se queda en el olote, aunque también es posible que el mejoramiento genético haya reducido el porcentaje relativo de esta estructura del grano, al ser granos más pequeños, que requieren un pedicelo menor para insertarse en el raquis u olote. Con respecto al porcentaje de pericarpio, los valores obtenidos se encuentran dentro del rango informado para este cereal (Watson, 2003). Durante el proceso de nixtamalización esta estructura es hidrolizada por la acción del álcali, volviéndose soluble en el agua de cocimiento, por lo que se pierde parcialmente en el nejayote y con el enjuague del nixtamal.

Los maíces de grano duro presentaron el menor porcentaje relativo de EH y el mayor porcentaje de EC. El mayor porcentaje de EH se observó en los maíces de dureza intermedia. El endospermo del grano de maíz representa entre 83-85 % del peso total del grano; de ahí que la dureza dependa particularmente de las características de esta estructura, específicamente la proporción de fracción harinosa y cristalina. A mayor porcentaje de EH, menor dureza de grano, y viceversa (Watson, 2003). Sin

CUADRO 1. Características físicas del grano de maíz entre grupos con diferente textura de endospermo.

Grupo	HG %	PH kg/hl	IF %	PCG g	Pico %	Pr %	G %	EH %	EV %
Duros	11.7a	78.2a	21c	33.0b	1.2b	6.0b	10.9a	31.5b	50.4a
Intermedios	11.7a	75.0b	50b	40.4a	1.6a	5.8c	11.0a	35.1a	46.5b
Suaves	11.9a	73.3c	70a	40.4a	1.7a	6.4a	11.2a	33.5ab	47.2b
DMS [†]	0.17	0.59	3.64	1.07	0.06	0.10	0.54	1.39	2.36

HG = Humedad del grano, PH = Peso hectolitrico, IF = Índice de flotación, PCG = Peso de cien granos, Pr = Pericarpio, EH = Endospermo harinoso, EC= Endospermo vitreo o cristalino.

Medias con la misma letra por columna, no son diferentes ($P < 0.05$)

[†]DMS = Diferencia Mínima Significativa.

embargo, en este trabajo mediante la estimación de estas dos fracciones no se diferencian los maíces intermedios de los suaves, que sí se separan claramente con las variables PH e IF. Para la industria de harinas nixtamalizadas los valores de EH y EC son determinantes para la selección de los maíces que procesa, que deben tener más de 48 % de EC.

Composición química del grano de maíz

Se presentó diferencia significativa (Tukey, $P=0.05$) entre los grupos de maíces para las variables estudiadas (Cuadro 2). El contenido de Pr mayor correspondió a los maíces de endospermo intermedio y duro; el menor se observó en los de endospermo suave. Los valores obtenidos se encuentran dentro de lo informado para el grano de este cereal (Watson, 2003). La relación entre la dureza del grano y el contenido de proteína ha sido previamente reportada por otros investigadores (Salinas *et al.*, 1992), y se atribuye a una mayor presencia de cuerpos proteínicos rodeando los gránulos de almidón en los maíces duros, con relación a los suaves (Watson, 2003).

El contenido de almidón fue estadísticamente igual entre los maíces duros e intermedios e inferior al observado en los maíces de grano suave. Los valores obtenidos son comparables con los informados por otros autores para maíces semidentados (Salinas y Pérez, 1997).

CUADRO 2. Composición química de las muestras de maíz con diferente textura de grano.

Grupo	P (%)	Al (%)	Am _m (%)	Ap _m (%)
Duros	9.2b	71.1b	23.9b	76.1a
Intermedios	9.4a	71.4b	24.3ab	75.7ab
Suaves	8.9c	72.8a	24.7a	75.3b
DMS ¹	0.21	0.38	0.66	0.66

P = proteína, Al = almidón, Am = amilosa en muestra y Ap = amilopectina en muestra.

Medias con la misma letra por columna, no son diferentes ($P < 0.05$)

¹DMS = Diferencia Mínima Significativa

Los valores de amilosa fueron estadísticamente diferentes entre los grupos de maíces analizados ($P < 0.05$). El mayor valor se presentó en los de grano suave, y el menor en los de grano duro. En lo que respecta al porcentaje de amilopectina, los resultados fueron exactamente al contrario, ya que estos polímeros son complementarios en la composición del almidón. Los valores

de amilosa obtenidos son ligeramente inferiores a los informados por Salinas y Pérez (1997), quienes señalan una variabilidad de 26.5 a 31.7 % en maíces mexicanos comúnmente destinados al proceso de nixtamalización, pero concuerdan con lo informado por Seetharaman *et al.* (2001) para maíces semidentados.

Variables de nixtamalización y tortillas

En el Cuadro 3 se presentan las medias por grupo de cada variable de nixtamalización y de elaboración de tortillas. Para el porcentaje de sólidos totales existió diferencia significativa entre los tres grupos de maíces ($P < 0.05$), con las mayores pérdidas en los maíces de grano suave. Los valores de esta variable son consistentes con los reportados por Sahai *et al.* (2000), que mencionan una variación entre 3.2 a 9.8 %, con las mayores pérdidas durante la etapa de reposo del nixtamal.

CUADRO 3. Análisis de medias de las características de nixtamalización y tortillas entre maíces.

Grupo	SN (%)	PR (%)	HN (%)	HM (%)	HT (%)
Duros	4.0c	33.1a	41.1a	56.2a	41.8b
Intermedios	4.3a	32.3a	42.1a	56.0a	45.0a
Suaves	4.1b	32.8a	44.1a	56.9a	45.5a
DMS ¹	0.06	1.62	4.1	1.29	1.76

SN = Sólidos en el nejayote, PR = Pericarpio retenido en el grano nixtamalizado, HN = Humedad del nixtamal, HM = Humedad de la masa, HT = Humedad de la tortilla.

Medias con la misma letra por columna, no son diferentes ($P < 0.05$)

¹DMS = Diferencia Mínima Significativa.

El porcentaje de pericarpio retenido en el nixtamal fue estadísticamente igual entre los tres grupos de maíces, de manera que no se observó efecto de la dureza del grano sobre esta variable en los maíces analizados, resultado que es consistente con lo informado por Serna-Saldivar *et al.* (1991). Para la industria de la masa y la tortilla es importante que parte del pericarpio solubilizado permanezca en el nixtamal, porque contribuye a la retención de agua y favorece las características de textura de masa y tortilla (Martínez-Bustos *et al.*, 2001).

Las humedades de nixtamal y masa fueron estadísticamente iguales entre los grupos de maíces, por lo que la dureza del grano no mostró efecto en ellas. Se ha mencionado que los granos harinosos (suaves) absorben más agua que los cristalinos (duros), pero en la mayoría de los trabajos publicados al respecto se analiza un número limitado de muestras.

En tortilla, la humedad fue mayor en los maíces de dureza intermedia y suave con relación a los duros. Esta variable se afecta por la temperatura y tiempo de cocimiento, además de la dureza del grano (Sahai *et al.*, 2001). Como el cocimiento fue igual para todas las muestras, en lo que respecta a la temperatura de la plancha y el tiempo de permanencia en ella, es posible que estas diferencias estén relacionadas con la cantidad de agua evaporada por la tortilla cuando se forma la ampolla, que en tortillas de trigo se ha visto que está relacionada con una mayor cantidad de amilopectina en la harina (Guo *et al.*, 2003). Los maíces de grano duro presentaron mayor contenido de amilopectina que los de grano intermedio y suave (Cuadro 2), por lo que es posible que lo que se ha observado en tortillas de trigo esté ocurriendo también en las tortillas de maíz. Los datos de humedad de tortilla del Cuadro 3 corresponden a la medición realizada después de dos horas de haber sido elaboradas, y son consistentes con los informados por Almeida *et al.* (1996), quienes señalan que puede variar de 38 a 55 %. Una mayor humedad en la tortilla conduce a mayores rendimientos de este producto (Sahai *et al.*, 2001).

Calidad en tortilla

Se midió en función de la humedad y textura de la tortilla. Dado que la textura se altera con la humedad (Arámbula *et al.*, 1999), se monitoreó esta última variable durante el periodo de almacenamiento de las tortillas. No se apreciaron cambios importantes de este componente durante el almacenamiento, aunque sí una tendencia a disminuir dentro de las primeras 24 horas (Figura 1). La humedad de las tortillas a las 24, 48 y 72 horas fue estadísticamente igual para los tres grupos de maíces. En las tortillas de los maíces suaves se apreció una ligera tendencia numérica de menor humedad al aumentar el tiempo de almacenamiento (de 2 a 48 horas), situación que no fue clara en los demás maíces.

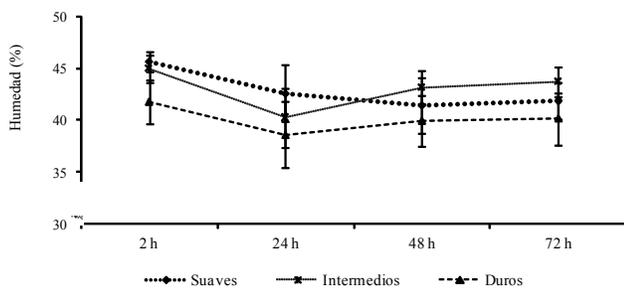


FIGURA 1. Humedad de la tortilla elaborada con maíces de diferente dureza a diferentes tiempos de almacenamiento.

Textura en tortillas

En el presente trabajo de investigación se evaluó la extensibilidad de la tortilla y la fuerza a tensión necesaria para romperla. Al realizar la prueba se observó que la tortilla puede romperse de tres formas diferentes: 1) cuando las dos caras de la tortilla se rompen simultáneamente; 2) cuando la cara principal se rompe primero y enseguida la cara de la ampolla, y 3) cuando la cara de la ampolla se rompe antes que la cara principal. De estos patrones de rompimiento, los más frecuentes fueron el 1 y el 3. Como para

estimar la dureza de la tortilla se considera la fuerza máxima, es importante considerar la forma en que se rompe.

La extensibilidad fue mayor en las tortillas recién elaboradas (2 horas) y se redujo de manera importante con el almacenamiento, lo que significa que las tortillas se volvieron rígidas. No se observó efecto de la dureza del grano sobre esta variable (Figura 2). Los valores de extensibilidad y el comportamiento de esta variable durante el almacenamiento de la tortilla coinciden con lo informado por Suhendro *et al.* (1999).

No obstante que la prueba se realizó por cuadruplicado, persistió una elevada variabilidad en las dos variables relacionadas con la textura de la tortilla.

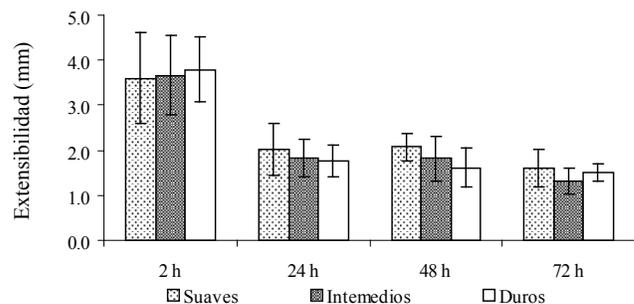


FIGURA 2. Extensibilidad de las tortillas elaboradas con maíces de diferente dureza, almacenadas a temperatura ambiente.

Las tortillas recién elaboradas de los maíces intermedios y suaves (2 h) requirieron fuerzas de 166 y 163 g_f para romperse, en ese orden, en tanto las de los maíces duros emplearon 214 g_f. Sin embargo, la elevada variabilidad dentro de tratamientos no permitió que estas diferencias numéricas fuesen significativas. Después de 24 horas de almacenamiento a temperatura ambiente, la fuerza requerida para romper las tortillas se incrementó 100 %, indicativo de un endurecimiento pronunciado que se acentuó ligeramente a las 48, y se mantuvo casi sin cambios hasta el final del periodo de almacenamiento (Figura 3). Este patrón de endurecimiento en las tortillas de maíz durante su almacenamiento ha sido previamente informado por otros autores (Gómez *et al.*, 1992; Salinas *et al.*, 2003). Es evidente que el endurecimiento y la pérdida de flexibilidad de la tortilla de maíz, atribuidos a la retrogradación del almidón (Rooney y Suhendro, 1999), no están relacionados con una reducción importante de su humedad, como lo demuestran los resultados de este trabajo, sino más bien, como sugieren trabajos recientes (Ottenhof *et al.*, 2005), se deben a cambios estructurales en las moléculas de amilosa y amilopectina, que llevan a alterar sus patrones de cristalinidad.

La dureza del grano no afectó las características de textura de las tortillas, resultado que coincide con lo informado por Salinas y Arellano (1989), quienes llegaron a esta conclusión utilizando métodos sensoriales para medir tales atributos.

Rendimientos de masa y de tortilla

Los dos productos más importantes de la industria de la masa y la tortilla son la masa fresca y la tortilla, con contenidos

promedio de humedad de 56 y 43 %, respectivamente. Los maíces que se destinan a esta industria deben ofrecer un índice de rendimiento masa/maíz de 1.9 a 2.0, y de tortilla/maíz de 1.4 – 1.5 por cada kg de maíz procesado, con humedad base estándar de 12 %. De acuerdo con los resultados de este trabajo, tales índices se logran con cualquiera de los tres grupos de maíces estudiados, pues no se presentó diferencia estadística entre ellos (Cuadro 4).

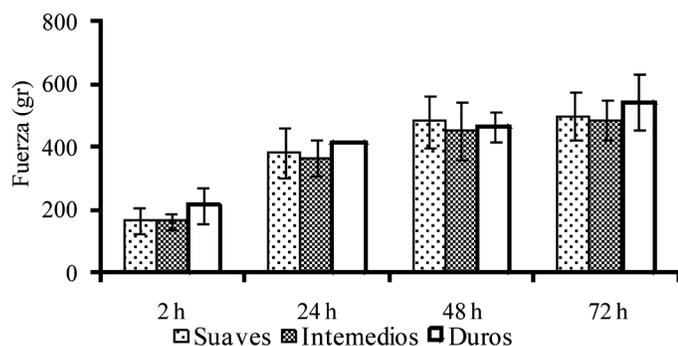


Figura 3. Fuerza máxima a tensión para la ruptura en tortillas de maíz almacenadas a temperatura ambiente.

Sin embargo, para calcular estos índices se consideró el peso de la masa obtenida de cada maíz, y aunque se tuvo cuidado de retirar toda la masa del molino entre cada muestra, es posible que en algunos casos parte de la muestra anterior se haya añadido a la siguiente, alterando su peso. Dado que esta situación es prácticamente imposible de evitar, un mejor estimador del rendimiento de la tortilla es su contenido de humedad.

CUADRO 4. Índices de rendimiento para masa y tortilla en maíces con diferente dureza.

Tipo de maíz	RM	RTc	RTf
Suave	1.95±0.09 [§]	1.52±0.06	1.46±0.06
Intermedio	1.92±0.08	1.50±0.07	1.44±0.07
Duro	1.98±0.08	1.48±0.09	1.43±0.08

§: El valor después del ± representa la desviación estándar de la media.

De las variables asociadas con la dureza del grano, únicamente el PH, IF y PCG presentaron una correlación significativa y altamente significativa con las humedades de nixtamal y tortilla. Las variables de EH y EC, que son las que determinan en primera instancia la dureza del grano (Watson, 2003), no estuvieron correlacionadas (datos no mostrados). Las variables de composición química analizadas tampoco presentaron correlación significativa.

CONCLUSIONES

La dureza del grano de maíz afectó el contenido de humedad de la tortilla, que fue mayor en los maíces de grano intermedio y suave con respecto a los duros. La textura no se vio afectada por

esta característica del grano. Dado que el rendimiento de masa y tortilla depende principalmente de sus contenidos de humedad, la industria que produce y vende estos productos se beneficia al procesar maíces de grano intermedio y suave. Las características favorables de textura de una tortilla recién elaborada, como son suavidad y extensibilidad, se pierden dentro de las primeras 24 horas de almacenamiento, independientemente de la dureza del grano.

LITERATURA CITADA

- Almeida D. H. D.; Cepeda M.; Rooney L. W. 1996. Properties of commercial nixtamalized corn flours. *Cereal Foods World*. 41: 624-630.
- Ansari O.; Bâga M.; Chibbar R. N.; Sultana N.; Howes N. K. 2010. Analysis of starch swelling power in Australian breeding lines of hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) *Field Crops Research* 115: 171-178.
- American Association of Cereal Chemists (AACC). 2000. Approved methods of the AACC. 6th ed. St. Paul Minnesota, USA.
- Arámbula V. G.; Mauricio S. R. A.; Figueroa J. D. C.; González-Hernández J.; Ordorica, F. C. A. 1999. Corn masa and tortillas from extruded instant corn flour containing hydrocolloids and lime. *Journal of Food Science*. 64: 120-124.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1984. Official methods of analysis. 12^a ed. St. Paul Minnesota, USA.
- Dombrink-Kurtzman M. A.; Knutson, C. A. 1997. A study of maize endosperm hardness in relation to amylose content and susceptibility to damage. *Cereal Chemistry* 74: 776-780.
- Flores-Farías R.; Martínez-Bustos F.; Salinas-Moreno Y.; Chang J. K.; González-Hernández J. Ríos E. 2000. Physicochemical and rheological characteristics of commercial nixtamalized Mexican maize flours for tortillas. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80: 657-664.
- Gomez M. H.; McDonough C. M.; Winaska R. D.; Rooney L. W. 1992. Corn starch changes during tortilla and tortilla chip processing. *Cereal Chem*. 69(3): 275-279.
- Guo G.; Jackson D. S.; Graybosch R. A.; Parkhurst A. M. 2003. Wheat tortilla quality: Impact of amylose content adjustments using ceroso wheat flour. *Cereal Chemistry* 80 (4): 427-436.
- Herrera S. R.; Hubert J. T. 1989. Influence of varying protein and starch degradabilities on performance of lactating cows. *Journal of Dairy Science* 72: 1477-1483.
- Juliano B. O. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. *Cereal Science Today* 16: (10): 334-340.
- Martínez-Bustos F.; Martínez-Flores H. E.; SanMartín-Martínez E.; Sánchez-Sinencio F.; Chang Y. K., Barrera-Arellano D.; Ríos E. 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: 1455-1462.
- Norma Mexicana: NMX-FF-034/-2002-SCFI. Productos alimenticios no industrializados para uso humano-cereales-Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado. Especificaciones y métodos de prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SCFI)
- Ottenhof M. A.; Hill S. E.; Farhat I. A. 2005. Comparative study of the retrogradation of intermediate water content ceroso maize, wheat, and potato starches. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 53:631-638.
- Rangel-Meza E.; Muñoz O.A.; Vázquez C. G.; Cuevas S. J.; Castillo M. J.; Miranda C. S. 2004. Nixtamalización, elaboración y calidad de tortilla de maíces de Ecatepec, Puebla, México. *Agrociencia* 38: 53-61.

- Rooney L. W.; Suhendro E. L. 1999. Perspectives on nixtamalization (alkaline cooking) of maize for tortillas and snacks. *Cereal Foods World* 44: 466-470.
- Sahai D.; Surjewan I.; Mua J. P.; Buendia M. O.; Rowe M.; Jackson D. S. 2000. Dry matter loss during nixtamalization of a white corn hybrid: impact of processing parameters. *Cereal Chemistry* 77: 254-258.
- Sahai D.; Mua P. J.; Surjewan I.; Buendia M. O.; Rowe M.; Jackson D. S. 2001. Alkaline processing (nixtamalization) of white Mexican corn hybrids for tortilla production: significance of corn physicochemical characteristics and process conditions. *Cereal Chemistry* 78: 116-120.
- Statistical Analysis System (SAS). SAS Institute, Inc. 1989. SAS/STAT User's Guide. Versión 6.2, Cary, NC; SAS Institute Inc.
- Salinas M. Y.; Arellano V. J. L. 1989. Calidad nixtamalera-tortillera de híbridos de maíz con diferente tipo de endospermo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 12: 129-135.
- Salinas M. Y.; Arellano V. J. L.; Bustos F. M. 1992. Propiedades físicas, químicas y correlaciones de maíces híbridos precoces para Valles Altos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 42(2): 161-167.
- Salinas M. Y.; Pérez H. P. 1997. Calidad nixtamalera-tortillera en maíces comerciales de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 20: 121-136.
- Salinas M. Y. 2002. Parámetros de calidad en maíz para las industrias molinera-tortillera y de harinas nixtamalizadas. *Revista Chapingo, serie Ingeniería Agropecuaria* 5: 133-136.
- Salinas M. Y.; Pérez H. P.; Castillo M. J.; Álvarez R. L. A. 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.
- Salinas M. Y.; Vázquez C. G. 2006. Metodologías de análisis de la calidad nixtamalera-tortillera en maíz. Folleto Técnico Núm. 23. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle de México. Chapingo, México. 91p.
- Sánchez F. C.; Salinas M. Y.; Vázquez C. G.; Velázquez C. G. A.; Aguilar G. N. 2007. Efecto de las prolaminas del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre la calidad de la tortilla. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 57: 295-301.
- Seetharaman K.; Tziotis A.; Borrás F.; White P. J.; Ferrer M.; Robutti J. 2001. Thermal and functional characterization of starch from argentinean corn. *Cereal Chemistry* 78: 379-386.
- Serna-Saldivar S. O.; Almeida-Dominguez H. D.; Gomez M. H.; Bockholt A. J.; Rooney L. W. 1991. Method to evaluate ease of pericarp removal on lime-cooked corn kernels. *Crop Science* 31: 842-844.
- Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) 2009. Disponible en: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx> (julio 12, 2010).
- Suhendro E. L.; Almeida-Domínguez H. D.; Rooney L. W.; Waniska R. D.; Moreira R. G. 1999. Use of extensibility to measure corn tortilla texture. *Cereal Chemistry* 76: 536-540.
- Watson S. A. 2003. Description, development, structure, and composition of the corn kernel. Chapter 3, 12 In: *Corn: Chemistry and Technology*. P. J. White and L. A. Johnson. (Eds.). Second ed. American 13 Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul Minnesota, USA. pp: 69-106.