

## MEZCLAS DE MAÍZ NORMAL CON MAÍZ CEROSO Y SU EFECTO EN LA CALIDAD DE LA TORTILLA\*

### BLENDS OF WAXY WITH NORMAL MAIZE AND THEIR EFFECT ON TORTILLA QUALITY

Yolanda Salinas-Moreno<sup>1§</sup>, Erika Belem Castillo-Linares<sup>2</sup>, María Gricelda Vázquez-Carrillo<sup>1</sup> y María Ofelia Buendía-González<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Valle de México. INIFAP. Carretera Los Reyes-Textcoco, km 13.5. Coatlinchán, Textcoco, Estado de México. C. P. 56250. Tel. 01 595 9521500. Ext. 5372. (yolysamx@yahoo.com), (gricelda.vazquez@yahoo.com). <sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Textcoco, km 38.5. Chapingo, Textcoco, Estado de México. C. P. 56230. Tel. 01 595 95 21500. Ext. 1692. (ebelem.cl@hotmail.com), (ofeliabg@hotmail.com). <sup>§</sup>Autora para correspondencia: yolysamx@yahoo.com.

#### RESUMEN

La tortilla de maíz se endurece durante su almacenamiento, debido a la retrogradación del almidón. Una práctica para retardar este fenómeno es adicionar gomas a la harina o bien aprovechar la retrogradación lenta de la amilopectina. Se estudió el efecto de mezclas de maíz normal (H-40) y maíz ceroso (MC), sobre las características de la masa y la calidad de la tortilla. Se determinaron las propiedades de formación de pasta de la masa, y en la tortilla fría se evaluaron: humedad, color, rolabilidad, extensibilidad, y fuerza a la tensión. Las variables en tortilla se midieron durante tres días de almacenamiento a temperatura ambiente (21 °C). Como testigos se utilizaron tortillas elaboradas con 100% maíz ceroso y 100% maíz normal (H-40). Una proporción mayor 30% de MC en la mezcla condujo a tener masas con muy malas características de manejo (excesivamente adhesivas), y con viscosidades inferiores al testigo normal y el tratamiento con 30% de MC. El contenido de humedad de las tortillas no se afectó por la incorporación de MC en la mezcla, pero sí el color, ya que la luminosidad decreció y el aspecto de las tortillas fue más cristalino en la medida que se incrementó la proporción de MC. Dicho incremento se asoció con una menor fuerza de ruptura a tensión y mayor extensibilidad en las tortillas recién elaboradas (2

#### ABSTRACT

Maize tortillas are hardened during storage due to starch retrogradation. A practice to retard this phenomenon is to add gums to the flour or seize the amylopectin's slow retrogradation. The effect of mixtures of regular maize (H-40) and waxy maize was studied on dough characteristics and on tortilla quality. The dough's paste-forming properties were determined and tortillas were evaluated for moisture, color, rollability, extensibility and tensile strength. The variables were measured for three days of storage at room temperature (21 °C). The tortillas made with 100% waxy corn and 100% corn (H-40), were used as control. A higher proportion of 30% of waxy maize in the mix, led to dough with very bad handling characteristics (too sticky) and viscosities below the normal control and the treatment with 30% of waxy maize. The moisture content of tortillas was not affected by the inclusion of waxy maize in the mix, but the color did, its brightness decreased and the tortillas appearance was more crystalline as it increased the proportion of waxy maize. This increase was associated with lower tensile breaking strength and greater extensibility in freshly prepared tortillas (2 h). But after 24 h of storage, those tortillas which were harder and

\* Recibido: febrero de 2011  
Aceptado: octubre de 2011

h). Pero después de 24 h de almacenamiento, las tortillas más duras y menos extensibles fueron las que contenían mayor proporción de MC (60, 85 y 100%). La rolabilidad presentó un patrón similar al de la textura. Sin embargo, en la tortilla recalentada las mejores características de suavidad y extensibilidad se observaron en las tortillas preparadas con 30% de MC en la mezcla.

**Palabras clave:** amilopectina, amilosa, maíz ceroso, textura, tortilla.

## INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cereales de mayor importancia en la alimentación del pueblo Mexicano, ya que cerca de 12 millones de toneladas son transformadas anualmente en tortilla y otros productos como tamales, tostadas y atoles.

La tortilla al igual que los productos con base en almidón, se endurece durante el almacenamiento, que reduce su aceptación por el consumidor. Este endurecimiento se debe a la retrogradación del almidón (Rooney y Suhendro, 1999), que se inicia tan pronto la tortilla comienza a enfriarse (Gómez *et al.*, 1992). La velocidad de retrogradación del almidón, es determinada por factores como la proporción de amilopectina: amilosa (Jane y Chen 1992; Klucinec y Thompson, 2002), el contenido y la interacción de lípidos con la amilosa (Gudmundson y Eliasson, 1990), y la longitud de las cadenas de la amilopectina (Ward *et al.*, 1994), entre otros, determinados en todos los casos por la fuente botánica del almidón (Ottenhof *et al.*, 2005), pero también por las condiciones de almacenamiento de los productos ricos en este polímero (Fernández *et al.*, 1999).

El maíz tipo dentado, es el que comúnmente se destina a la elaboración de tortillas, presenta en su almidón una relación amilopectina:amilosa de 75:25 (Watson, 2003). La cinética de retrogradación de estas fracciones es diferente y ha sido ampliamente estudiada (Jane y Chen, 1992; Klucinec y Thompson, 2002), por su importancia en la industria de alimentos, ya que constituye una de las principales causas del deterioro de los productos con base en almidón. Se sabe que la amilosa retrograda más rápido que la amilopectina, y que la retrogradación de esta última es parcialmente reversible con calor, no así la de la primera (Rooney y Suhendro, 1999).

less extensible were those containing higher proportion of waxy maize (60, 85 and 100%). Rollability presented a pattern similar to the texture. However, in reheated tortillas, the best features of softness and extensibility were observed in tortillas prepared with 30% of waxy maize in the mix.

**Key words:** amylopectin, amylose, texture, tortilla, waxy maize.

## INTRODUCTION

Maize (*Zea mays* L.) is one of the most important cereals in the diet of the Mexican people, with nearly 12 million tons annually processed into products such as tortillas, tamales, tostadas and porridges.

Tortillas and other starch-based products are hardened during storage, reducing consumer acceptance. This hardening is due to starch retrogradation (Rooney and Suhendro, 1999), which begins as soon as the tortilla begins to cool (Gómez *et al.*, 1992). Starch's retrogradation rate is determined by factors such as the amylopectin: amylose proportion (Jane and Chen, 1992; Klucinec and Thompson, 2002), the content and interaction of lipids with amylose (Gudmundson and Eliasson, 1990) and length of amylopectin chains (Ward *et al.*, 1994), among others, determined in all cases by the botanical source of starch (Ottenhof *et al.*, 2005), but also by the conditions of storage of products rich in this polymer (Fernández *et al.*, 1999).

The toothed-type maize, is commonly intended to make tortillas, its starch has an amylopectin: amylose proportion of 75:25 (Watson, 2003). Retrogradation kinetics of these fractions is different and has been widely studied (Jane and Chen, 1992; Klucinec and Thompson, 2002), for its importance in the food industry because it is one of the main causes of deterioration of starch-based products. It is known that amylose retrogradation is faster than amylopectin, and retrogradation of the last one is partially reversible with heat, but it is not for the first one (Rooney and Suhendro, 1999).

Information about viscoelastic and kinetic differences of retrogradation between amylose and amylopectin has been used to prolong freshness during storage of wheat bread and tortillas (Bhattacharya *et al.*, 2002; Waniska *et*

La información sobre las diferencias viscoelásticas y de cinética de retrogradación entre amilosa y amilopectina, se ha aprovechado para prolongar la frescura durante el almacenamiento de pan y tortillas de trigo (Bhattacharya *et al.*, 2002; Waniska *et al.*, 2002), así como de tortillas de maíz (Rooney y Suhendro, 1999; Salinas *et al.*, 2003). En el caso particular de las tortillas de maíz, el incremento de la fracción amilopectina en el almidón de harinas nixtamalizadas por encima de la proporción 75/25 amilopectina/amilosa, permitió que las tortillas se endurecieran lentamente que el testigo (maíz dentado) o las elaboradas con harina que tenía una menor proporción de amilopectina (Salinas *et al.*, 2003).

Estos resultados muestran que se pueden mejorar las características de textura de las tortillas de maíz, modificando la proporción de amilosa/amilopectina en su almidón. Sin embargo, la información publicada al respecto es escasa, por lo que el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de mezclas de maíz ceroso y maíz dentado sobre las propiedades de formación de pasta de la harina nixtamalizada y la textura de la tortilla durante su almacenamiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material de estudio

Se emplearon el maíz híbrido H-40, que es de grano dentado y duro, color cremoso y comúnmente usado en las tortillerías tradicionales para la elaboración de tortillas y un maíz ceroso, donado por la empresa Monsanto, de grano también cremoso.

### Caracterización física y química de los maíces

Las determinaciones físicas fueron: humedad de grano y peso hectolitrico (AACC, 1976); índice de flotación (Salinas *et al.*, 1992); peso de mil granos, para esta determinación se contaron manualmente 100 granos, se pesaron en una balanza semianalítica (Sartorius, modelo BL610) y el resultado se multiplicó por 10; color de grano, medido en términos de luminosidad, tono y croma, utilizando el equipo Hunter Lab MiniScan XE Plus (Modelo 45/O-L) en escala CIE  $L^*a^*b^*$ , con los valores  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  se calculó el ángulo de tono y el índice de saturación de color, conforme a lo descrito por McGuire (1992). Todos los análisis se realizaron por duplicado (humedad de grano, peso hectolítico) o triplicado (índice de flotación, peso de 100 granos y color).

*et al.*, 2002), as well as maize tortillas (Rooney and Suhendro, 1999; Salinas *et al.*, 2003). In the case of maize tortillas, the increase in amylopectin fraction in the starch of nixtamalized flour above the 75/25 of amylopectin/amylose ratio, let tortillas to harden more slowly than control's (toothed maize) or those made with flour that with a lower amylopectin proportion (Salinas *et al.*, 2003).

These results show that the textural characteristics of maize tortillas can be improved, changing the amylos/amylopectin ratio in starch. However, published information about it is insufficient, so the aim of this study was to determine the effect of mixtures of toothed and waxy maize on the properties of dough formation of nixtamalized flour and tortilla texture during storage.

## MATERIALS AND METHODS

### Study materials

Hybrid maize H-40 was used, which have toothed and hard grains, creamy color and commonly used in traditional tortillas making and waxy maize, donated by Monsanto, also creamy color.

### Maize's physical and chemical characterization

The physical measurements were: grain moisture and hectoliter weight (AACC, 1976); floating index (Salinas *et al.*, 1992); weight of thousand grains, for this determination 100 grains were manually counted and weighed on a semi-analytical scale (Sartorius, model BL610) and the result was multiplied by 10; grain color measured in terms of brightness, tone and chroma, using a Hunter Lab MiniScan XE Plus (Model 45/O-L) in CIE  $L^*a^*b^*$  scale, using the  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$  values, the angle of tone and color saturation index were calculated, as described by McGuire (1992). All analyzes were performed in duplicate (grain moisture, hectoliter weight) or triplicate (floating index, weight of 100 grains and color).

The proximal chemical analysis of samples was performed in flour made from raw grain milling in a cyclone type mill (Udy, Mod. 1093, Tecator, Sw), with 0.5 mm sieve. The measurements and their references were: starch (Herrera and Hubert, 1989), amylose (Juliano, 1971), protein by the method 46-11 (AACC, 1976), crude fiber method

El análisis químico proximal de las muestras se realizó en harina obtenida de la molienda del grano crudo en un molino tipo ciclónico (UDY, Mod. 1093, Tecator, Sw), con tamiz de 0.5 mm. Las determinaciones y sus referencias fueron: almidón (Herrera y Hubert, 1989), amilosa (Juliano, 1971), proteína por el método 46-11 (AACC, 1976), fibra cruda método 7.054 (AOAC, 1975), y extracto etéreo método Núm. 7.044 (AOAC, 1975). En el caso del contenido de amilosa, el análisis se efectuó en harinas de grano crudo. El contenido de amilopectina se obtuvo al restar a 100 el porcentaje de amilosa en base seca.

### Mezclas de maíz normal y ceroso

Considerando la información de que el incremento de la fracción amilopectina en la masa de maíz mejora la textura de la tortilla durante el almacenamiento (Salinas *et al.*, 2003), se realizaron mezclas de grano nixtamalizado de los maíces H-40 y maíz ceroso, que poseen contenidos contrastantes de amilopectina en su almidón.

Los maíces se nixtamalizaron por separado usando 100 g de grano, 1% de óxido de calcio (CaO) y 200 mL de agua destilada (Salinas y Arellano, 1989). El tiempo de cocimiento para el maíz H-40 fue de 38 minutos, tiempo determinado con base en la dureza del grano, en tanto que para el “ceroso” fue de 20 min, que fue el tiempo que permitió obtener la masa menos adhesiva, pues los almidones cerosos se caracterizan por gelatinizar más fácilmente que los normales (Bhattacharya y Hanna, 1987), por lo que aún tiempos cortos de cocimiento, conducen a formación de masa adhesiva. Después del cocimiento, las muestras se dejaron reposar a temperatura ambiente durante 14-16 h.

Posteriormente, el nixtamal se enjuagó con agua corriente para eliminar el exceso de álcali y parte del pericarpio solubilizado. Se realizaron mezclas de grano nixtamalizado en proporciones 85%, 60%, y 30% de maíz ceroso. Como controles se tuvieron los tratamientos 100% maíz ceroso y 100% maíz dentado. Los factores que se consideraron para definir las proporciones de ambos maíces en la mezcla, fueron el contenido de amilopectina en cada maíz y la humedad del grano nixtamalizado.

### Preparación de las tortillas

La mezcla de nixtamal se molió en un molino de piedras para obtener la masa, misma que se acondicionó con agua destilada. Las tortillas se prepararon a partir de 20 g de masa

7054 (AOAC, 1975) and ether extract method Num. 7.044 (AOAC, 1975). In the case of amylose content, the analysis was done in raw grain flours. The amylopectin content was obtained by subtracting to 100, the percentage of amylose in dry basis.

### Mixtures of regular and waxy maize

Whereas the increase in amylopectin fraction in maize dough improves the tortilla texture during storage (Salinas *et al.*, 2003), mixtures of nixtamalized grain of maize H-40 and waxy maize were done, which have contrasting amylopectin content in their starch.

The corns were nixtamalized separately using 100 g of grain, 1% of calcium oxide (CaO) and 200 mL of distilled water (Salinas and Arellano, 1989). The cooking time for maize H-40 was 38 minutes, the time was determined based on the grain hardness, while for “waxy” it was 20 min, which was the time that allowed to obtain a less sticky dough, as waxy starches as characterized to gelatinize more easily than regular (Bhattacharya and Hanna, 1987), so even short cooking times lead to formation of adhesive-dough. After cooking, samples were allowed to stand at room temperature for 14-16 h.

Later, the maize was rinsed under tap water in order to remove the excess of alkali and part of the solubilized pericarp. The nixtamalized grain mixes were made in proportions 85%, 60% and 30% of waxy maize. As controls there were used treatments: 100% waxy maize and 100% toothed maize. The factors considered to define the proportions of both corns in the mix, were the amylopectin content in each maize and moisture of nixtamalized grain.

### Preparation of tortillas

The nixtamal mixture was milled in a stone-made mill for obtaining the dough, which was conditioned with distilled water. The tortillas were prepared from 20 g of dough, using a metal hand press, pressing to reach an approximate diameter of  $12.5 \pm 1$  cm and a thickness of  $1.19 \pm 1$  mm. The cooking was done on a metal griddle at a temperature of about  $150 \pm 10$  °C. The cold tortillas were packed in polyethylene bags in groups of eight, with waxed paper between each of them in order to keep them from sticking and so they've got wrapped in cloth napkins to reduce moisture loss. The bags of tortillas were stored at

empleando una prensa manual metálica, presionando hasta alcanzar un diámetro aproximado de  $12.5 \pm 1$  cm, y grosor de  $1.19 \pm 1$  mm. El cocimiento se llevó a cabo en un comal metálico a una temperatura aproximada de  $150 \pm 10$  °C. Las tortillas frías se empacaron en bolsas de polietileno en grupos de ocho, con papel encerado entre cada una, para evitar que se pegaran y envueltas en una servilleta de tela para reducir las pérdidas de humedad. Las bolsas con las tortillas se almacenaron a temperatura ambiente ( $21 \pm 2$  °C), para evitar el efecto de las bajas temperaturas sobre la textura (Fernández *et al.* 1999). La humedad, color y textura se midieron a las 2, 24, 48 y 72 h de haber sido elaboradas.

### Propiedades de formación de pasta en la masa

Se determinó en la masa obtenida de los diferentes tratamientos, la cual se congeló en nitrógeno líquido y liofilizó. Posteriormente se molió en un molino tipo ciclónico (UDY, Sample Mill, Mod. 1093. Tecator, Sw.), con malla 0.5 mm. Una muestra de 3.5 g, ajustada a 14% de humedad, se colocó en un recipiente de aluminio y se adicionó agua destilada hasta lograr un peso de 28 g. La prueba se realizó en un Rapid Visco Analyser (Newport Scientific Pty. Warriewood, Australia). De la curva resultante de la prueba se obtuvo: temperatura de inicio de formación de pasta (TIFP) en °C, viscosidad máxima (VM), en centipoises (cP), y viscosidad final (VF), también en cP.

### Evaluaciones en tortilla

**Humedad.** La humedad se evaluó de acuerdo al método 14.004 del AOAC (1984), a 2 h después de elaboradas y posteriormente cada 24 h por 3 días.

**Color.** El color se midió con el equipo Hunter Lab MiniScan XE Plus (Modelo 45/O-L). Se utilizó una tortilla entera en la cual se realizaron cuatro lecturas en diferentes puntos.

**Textura.** La textura se midió en función de la fuerza a la tensión y extensibilidad, de acuerdo a la metodología descrita por Martínez-Bustos *et al.* (2001), empleando 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  $1 \text{ mm s}^{-1}$  y una distancia de 20 mm, utilizando la celda de carga de 5 kg. Para cada tratamiento se tuvieron 4 repeticiones. De la curva resultante se obtuvo la fuerza

room temperature ( $21 \pm 2$  °C) in order to avoid the effect of low temperatures on the texture (Fernández *et al.* 1999). Moisture, color and texture were measured at 2, 24, 48 and 72 h after made.

### Pasta-forming properties in the dough

It was determined in the dough obtained from the different treatments, which was frozen in liquid nitrogen and lyophilized. Subsequently it was milled in a cyclone mill (UDY, Sample Mill, Mod. 1093. Tecator, Sw.), with 0.5 mm mesh. A sample of 3.5 g, adjusted to 14% moisture, was placed in an aluminum pan and distilled water was added until reaching a weight of 28 g. The test was performed in a Rapid Visco Analyser (Newport Scientific Pty. Warriewood, Australia). From the resulting curve of the test, there were obtained: onset temperature of pasta formation (OTPF) in °C, maximum viscosity (VM), in centipoise (cP) and final viscosity (FV), also in cP.

### Tortilla assessments

**Humidity.** Moisture was assessed according to the method 14.004 of AOAC (1984), 2 h after made and then every 24 h for 3 days.

**Color.** The color was measured using Hunter Lab MiniScan XE Plus equipment (Model 45/O-L). A whole tortilla was used; four readings were made at different points.

**Texture.** The texture was measured in terms of tensile strength and extensibility, according to the method described by Martínez-Bustos *et al.* (2001), using a texture analyzer (Texture Analyser TA-XT2, Stable Micro Systems, England) with an AT/G accessory, corresponding to a retaining clips in which the sample was placed and subjected to tension. The texture analyzer was calibrated at a speed of  $1 \text{ mm s}^{-1}$  and a distance of 20 mm, using the load cell of 5 kg. For each treatment 4 replicates were done. From the resulting curve the maximum force required to break the tortilla (gf) and distance to the cutting of tortilla (mm), which was taken as extensibility were obtained.

For the rollability test, five strips of 2 cm width were cut off from each tortilla, eliminating the edge strips; each strip was wrapped around a wooden cylinder of 2 cm in diameter and the degree of breakdown was subjectively scored on

máxima requerida para romper la tortilla (gf), y la distancia recorrida hasta el corte de la pieza (mm), que se tomó como extensibilidad.

Para la prueba de rolabilidad se cortaron cinco tiras de 2 cm de ancho de cada tortilla a evaluar, eliminando las tiras de las orillas; cada tira fue enrollada en un cilindro de madera de 2 cm de diámetro y de manera subjetiva se calificó el grado de ruptura mediante una escala de 1 a 5; donde 1 corresponde a una tira que no se rompe, 2 a una que se rompe de manera parcial (25%), 3 a una que se rompe 50%, 4 a una que se rompe 75%, y 5 a una que se rompe completamente (Suhendro *et al.*, 1999). Las evaluaciones se hicieron en tortilla fría por cuadruplicado.

### Análisis estadístico

Los datos sobre características físicas y químicas de los maíces se analizaron bajo un diseño completamente al azar, con análisis de varianza y comparación de medias mediante Tukey ( $\alpha = 0.05$ ), cuando fue procedente. El diseño experimental para analizar los datos de textura fue completamente al azar con un arreglo factorial 5\*4; los factores fueron la proporción de maíz ceroso/dentado en la mezcla (A) con cinco niveles (100, 85, 60, 30 y 0% de maíz ceroso o 100% de maíz dentado), y el tiempo de almacenamiento (B), con cuatro niveles (2, 24, 48 y 72 h).

Los datos de rolabilidad se analizaron mediante la prueba aproximada de Friedman de estadística no paramétrica, que consistió en cambiar las observaciones originales por rangos, los cuales se asignaron a los tratamientos en forma separada para cada bloque (Martínez, 1994). Para llevar a cabo este análisis, se ordenaron los datos en una tabla para encontrar los rangos  $R(Y_{ij})$  dentro de cada bloque y posteriormente se sumaron los rangos de cada tratamiento (columna) para obtener  $R_j$ . El análisis se realizó usando el programa de cómputo SAS, versión 6.1 (SAS, 1989).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización física y química de los maíces

Las características físicas de los maíces usados en las mezclas fueron estadísticamente distintas, con excepción del peso hectolítrico (Cuadro 1). El grano del maíz ceroso fue más pequeño y blanco que H-40. De acuerdo al valor

a scale of 1 to 5; where 1 corresponds to a strip that is not broken, 2 to one that is partially broken (25%), 3 to a breaking of 50%, 4 to a breaking of 75% and 5 to one that breaks completely (Suhendro *et al.*, 1999). The assessments were quadruplicated made in cold tortillas.

### Statistical analysis

The data on maize's physical and chemical characteristics were analyzed under a completely randomized design, with analysis of variance and comparison of means by Tukey ( $\alpha = 0.05$ ), when it was appropriate. The experimental design to analyze the texture data was completely random with a factorial arrangement 5\*4; and two factors: the proportion of waxy/toothed maize in the mixture (A) with five levels (100, 85, 60, 30 and 0% of waxy maize or 100% of toothed maize) and storage time (B) with four levels (2, 24, 48 and 72 h).

Rollability data were analyzed using the approximate Friedman test of nonparametric statistics, which consisted in changing the original observations by ranks, which were assigned to treatments separately for each block (Martínez, 1994). In order to carry out this analysis, data were ordered in a table to find the ranges  $R(Y_{ij})$  within each block and subsequently the ranks of each treatment were added (column) in order to obtain  $R_j$ . The analysis was performed using the SAS software program, version 6.1 (SAS, 1989).

## RESULTS AND DISCUSSION

### Physical and chemical characterization of maize

The physical characteristics of maize used in the mixtures were statistically different, except for the hectoliter weight (Table 1). Waxy maize grain was smaller and whiter than H-40's. According to the floating index value, waxy corn endosperm was very hard, while H-40 was considered of middle-endosperm.

Considering the variables of chemical composition, a statistical difference between the two corns was observed in starch, amylose, amylopectin and protein variables, while they were similar in oil content, crude fiber and ashes (Table 2). The values of chemical variables in maize H-40 were consistent with those reported for toothed type maize (Watson, 2003); the waxy corn values were within those reported by Eggum *et al.* (1983) for this type of maize.

de índice de flotación, el maíz ceroso fue de endospermo muy duro, en tanto que H-40 se consideró de endospermo intermedio.

The waxy maize had the lowest amylose content (7.3%) and subsequently the higher content of amylopectin, so that a greater proportion of this maize in the mix means

### Cuadro 1. Características físicas de grano en maíz dentado y maíz ceroso.

Table 1. Physical characteristics of grain in toothed and waxy maize.

Maíces	HG (%)	PH (kg hL <sup>-1</sup> )	IF (%)	PMG (g)	CG (%L)
Ceroso	12.8 a	81.2 a	5 b	289 b	76.1 a
H-40	11.1 b	78.2 a	41 a	343 a	65.1 b
DHS	0.021	6.72	2.15	1.57	2.56

HG=humedad de grano; PH=peso hectolítrico; IF=índice de flotación; PMG=peso de mil granos; CG=color de grano (% de luminosidad L); DHS=diferencia significativa honesta. Medias con la misma letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p < 0.05$ ).

Considerando las variables de composición química, se presentó diferencia estadística entre los dos maíces en las variables de almidón, amilosa, amilopectina y proteína, en tanto que fueron iguales en los contenidos de aceite, fibra cruda y cenizas (Cuadro 2). Los valores de variables químicas en el maíz H-40 fueron consistentes con lo reportado para maíces tipo dentado (Watson, 2003); para el caso del maíz ceroso estuvieron dentro de lo informado por Eggum *et al.* (1983) para este tipo de maíz.

higher content of amylopectin in dough, nixtamalized flour or tortilla. The value of amylose observed in maize H-40 corresponds to those reported by other authors for toothed maize (Watson, 2003).

The physical characterization of maize was performed in order to have information for defining the nixtamalization conditions for both genotypes. Due to the different size of the grains and hardness, is not suitable to

### Cuadro 2. Composición química del grano de maíz dentado (H-40) y maíz ceroso.

Table 2. Chemical composition of toothed maize grain (H-40) and waxy maize.

Maíz	ALM (%)	AL (%)	AP (%)	P (%)	EE (%)	FC (%)	C (%)
Ceroso	76.9 b	7.3 b	92.7 a	7.3 b	5.15 a	2.1 a	1.3 a
H-40	78.5 a	24 a	76 b	8.8 a	5.1 a	2 a	1.4 a
DHS	0.87	4.39	4.39	0.09	0.21	0	0.01

ALM=almidón; AL=amilosa; AP=amilopectina; P=proteína; EE=extracto etéreo; FC=fibra cruda; C=cenizas; DHS=diferencia significativa honesta. Medias con la misma letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p < 0.05$ ).

El maíz ceroso presentó el menor contenido de amilosa (7.3%) y subsecuentemente el mayor contenido de amilopectina, por lo que una mayor proporción de este maíz en la mezcla significa mayor contenido de amilopectina en la masa, harina nixtamalizada o tortilla. El valor de amilosa observado en el maíz H-40 corresponde con lo reportado por otros autores (Watson, 2003) para maíces dentados.

nixtamalized them together. We tried, but the dough obtained was very “chewy” and difficult to mold to make tortillas, it was attributed to the adhesive characteristic of amylopectin, which makes up for almost all the maize’s starch. Dough’s characteristics improved when the mixture was made with nixtamalized grain.

La caracterización física de los maíces se realizó para contar con información que permitiera definir las condiciones de nixtamalización para ambos genotipos. Por el tamaño diferente de sus granos y la dureza no es conveniente nixtamalarlos juntos. Se intentó, pero la masa obtenida era muy “chiclosa” y difícil de moldear para elaborar

In the treatments with high proportion of waxy maize (85% and 100%), the high dough stickiness persisted. This adhesiveness was not associated with its moisture content, since the values were even lower than in regular maize (data not shown in table). In regular maize’s dough, this phenomenon has been linked to the presence of a soluble fraction of amylopectin from the fragmentation of the polymer during

las tortillas, atribuido a la característica adhesiva de la amilopectina, que conforma casi la totalidad del almidón de este maíz. Las características de la masa mejoraron cuando la mezcla se hizo con el grano nixtamalizado.

En los tratamientos con alta proporción de maíz ceroso (85% y 100%), persistió la excesiva adhesividad de la masa. Dicha adhesividad no estuvo asociada con su contenido de humedad, pues los valores fueron inclusive menores que el del maíz normal. En masa de maíz normal este fenómeno se ha relacionado con la presencia de una fracción soluble de amilopectina, proveniente de la fragmentación de este polímero durante el cocimiento y molienda del grano, la cual al parecer es fácilmente liberada por el almidón ceroso (Miklus y Hamaker, 2003).

La formación de la ampolla durante el cocimiento de las tortillas del maíz ceroso, fue considerablemente mayor de lo que comúnmente se observa en las preparadas a partir de maíz normal, que denota una gran facilidad de la masa para liberar agua que se evapora en el cocimiento.

### Propiedades de formación de pasta

La incorporación de maíz ceroso en la harina, afectó las variables de las propiedades de formación de pasta. La temperatura de inicio de formación de pasta (TIFP), decreció a medida que aumentó la proporción de maíz ceroso en la harina. Los tratamientos con mayor proporción de maíz ceroso (85 y 60%), así como el de maíz ceroso 100% presentaron una TIFP similar, pero menor numéricamente que la observada en los tratamientos de 30% y 100% maíz dentado (Figura 1).

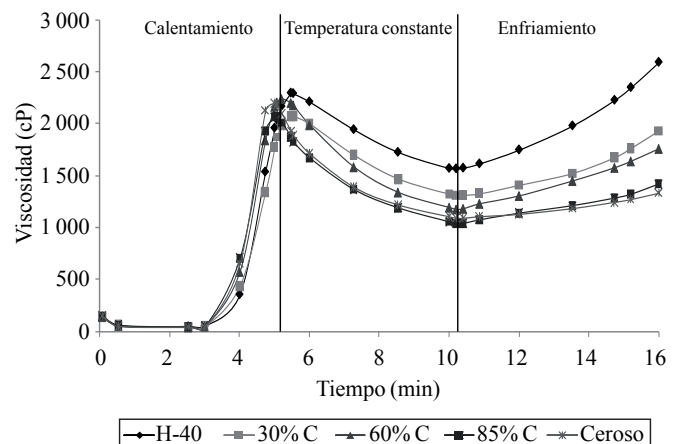
La viscosidad máxima al final del ciclo de calentamiento fue parecida entre los diferentes tratamientos de mezclas de maíz normal y ceroso. Dicha viscosidad presentó una caída importante durante el periodo de temperatura constante, atribuido a que algunos gránulos hinchados no fueron capaces de mantener su estructura y se solubilizaron durante la agitación, disminuyendo la viscosidad del gel. En harinas de mezclas de trigo normal con trigo ceroso se ha reportado el mismo comportamiento (Guo *et al.*, 2003), el cual se atribuye a la actividad de la amilasa (Hayakawa *et al.*, 2004). Sin embargo, en harinas de maíz nixtamalizado es posible que se deba al rompimiento de gránulos hinchados, ya que por el pH elevado durante la nixtamalización (entre 11 y 13), la actividad de la enzima puede verse seriamente limitada.

cooking and milling of grain, which apparently is easily released from the waxy starch (Miklus and Hamaker, 2003).

The blister formation during the cooking of waxy maize tortillas was considerably greater than is commonly observed in those prepared from regular maize, indicating an ease of the dough to release water that evaporates during cooking.

### Paste-forming properties

The incorporation of waxy maize into flour, affected the variables of paste-forming properties. The onset temperature of pasta formation (OTPF), decreased as the proportion of waxy maize into the flour increased. Treatments with higher proportion of waxy maize (85 and 60%); as well as 100% of waxy maize had a similar OTPF, but numerically lower than that observed in the treatments with 30% and 100% of toothed maize (Figure 1).



**Figura 1. Viscosidad de harinas nixtamalizadas con diferentes proporciones de maíz ceroso/maíz dentado. C= ceroso.**

**Figure 1. Viscosity of nixtamal flour with different proportions of waxy maize/toothed maize. C= waxy.**

The maximum viscosity at the end of the heating cycle was similar between the different treatments of mixtures of regular and waxy maize. This viscosity showed a significant drop during the constant temperature period, that drop was attributed to some swollen granules that were not able to maintain its structure and solubilized during agitation, reducing the gel viscosity. In mixed flours of regular wheat with waxy wheat the same behavior has been reported (Guo *et al.*, 2003), which is attributed to the amylase activity (Hayakawa *et al.*, 2004). However, in nixtamalized maize

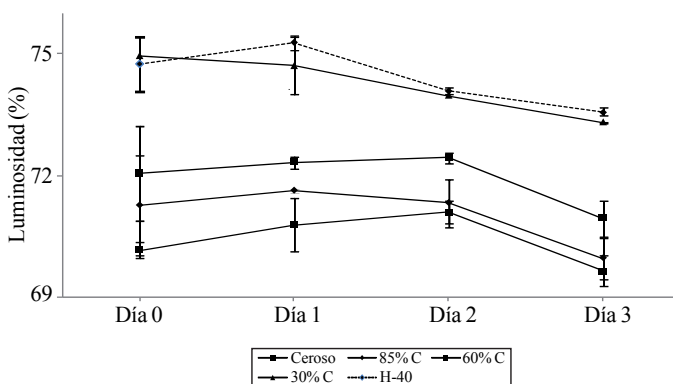


La viscosidad final (VF) durante el ciclo de enfriamiento, se incrementó con relación al valor que presentó al final de la etapa de calentamiento. El incremento estuvo relacionado con una menor proporción de maíz ceroso en la harina, de manera que el tratamiento 100% maíz dentado presentó el mayor valor (2 592 cP), y 85% y 100% maíz ceroso fueron de menor viscosidad (1 420 y 1 334 cP, en ese orden).

Lo que se evalúa en la etapa de enfriamiento de la prueba, es la capacidad de la muestra de formar un gel. Esta propiedad se atribuye a la amilosa (Hayakawa *et al.*, 2004), que en el tratamiento 100% maíz dentado se encontraba en mayor proporción que en el resto de los tratamientos, en los cuales se incorporó maíz ceroso, que por tener en su almidón una elevada cantidad de amilopectina, contribuyó a diluir la amilosa.

### Color en la tortilla

La proporción de maíz ceroso/maíz dentado en la masa de maíz, afectó el color de la tortilla en términos de su luminosidad (L), la cual decreció al aumentar la proporción de maíz ceroso y las tortillas presentaron un aspecto translúcido, que se intensificó al enfriarse (Figura 2). Con base en esta variable se aprecian dos grupos, el de valores elevados de L que correspondieron a los tratamientos con menor presencia de maíz ceroso en la mezcla (30% y 0%) y el grupo de los tratamientos con elevada proporción (60%, 85% y 100%). Esta variable permaneció sin mayores cambios durante los primeros dos días de almacenamiento, particularmente en los tratamientos con 60 y 85% de maíz ceroso, pero en el día tres se observó un descenso en sus valores.



**Figura 2. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la luminosidad de tortillas con diferentes proporciones de maíz ceroso.**

**Figure 2. Effect of storage time on the lightness of tortillas with different proportions of waxy maize.**

flour this may be due to the breakdown of swollen granules, since the high pH during processing (between 11 and 13); the enzyme activity can be severely limited.

The final viscosity (FV) during the cooling cycle, increased from the value submitted at the end of the heating step. The increase was associated with a lower proportion of waxy maize in the flour, so that the treatment of 100% toothed maize showed the highest value (2 592 cP), and 85% and 100% waxy maize showed lower viscosity (1420 and 1 334 cP, in that order).

What is evaluated in the cooling stage of the test is the ability of the sample to form a gel. This property is attributed to the amylose (Hayakawa *et al.*, 2004), which in the treatment of 100% toothed maize was in greater proportion than in other treatments with waxy maize incorporated, due to its high amount of amylopectin in its starch in order to diffuse the amylose.

### Tortillas' color

The waxy/toothed maize proportion of maize dough affects the tortilla's color in terms of lightness (L), which decreased by increasing the proportion of waxy maize and tortillas showed a translucent appearance, which intensified upon cooling (Figure 2). Based on this variable two groups are shown, one of high values of L which corresponded to treatments with lower presence of waxy maize in the mixture (30% and 0%) and the other group of treatment with high proportion (60%, 85% and 100%). This variable remained largely unchanged during the first two days of storage, particularly in treatments with 60 and 85% of waxy maize, but on day three there was a decline in its values.

In the treatments with low proportion of waxy maize, the lightness clearly decreased from the second day of storage. Similar results for changes in lightness by increasing the dough's amylopectin, were observed in tortillas made with nixtamalized flour, to which the proportion of amylopectin in starch was increased (Salinas *et al.*, 2003) and in wheat tortillas made with mixtures of waxy and regular wheat (Waniska *et al.*, 2002; Guo *et al.*, 2003) and it is attributed to the low retention of air bubbles in the structural net of starch and protein, as a result of the increased presence of amylopectin in the system (Waniska *et al.*, 2002). However, it is possible that the observed changes during storage are due to starch retrogradation, especially amylopectin as retrogradation makes it to recover its crystallinity.

El grupo de tratamientos con baja proporción de maíz ceroso, la luminosidad decreció claramente a partir del segundo día de almacenamiento. Resultados similares en cuanto a cambios en luminosidad al incrementar la amilopectina en la masa, fueron observados en tortillas preparadas con harinas nixtamalizadas, a las que se incrementó la proporción de amilopectina en su almidón (Salinas *et al.*, 2003) y en tortillas de trigo elaboradas con mezclas de trigo ceroso y normal (Waniska *et al.*, 2002; Guo *et al.*, 2003), y se atribuyen a la baja retención de burbujas de aire en la red estructural de almidón y proteína, producto de una mayor presencia de amilopectina en el sistema (Waniska *et al.*, 2002). Sin embargo, los cambios observados durante el almacenamiento es posible que se deban a la retrogradación del almidón, particularmente de la amilopectina, la cual al retrogradarse recupera su cristalinidad.

El tono ( $h^\circ$ ) del color de las tortillas evaluadas en el presente estudio, se ubicó en el primer cuadrante de la escala CIE  $L^*a^*b^*$ , con valores entre 85 y 88.6°, que corresponden a un color amarillo claro, el cual no se modificó de manera importante, tampoco por la incorporación de maíz ceroso en la mezcla durante el período de evaluación. El índice de saturación de color (croma) estuvo entre 16.7 y 21, lo cual significa que el color fue de una intensidad intermedia.

### Humedad en la tortilla

El contenido de humedad en los productos a base de almidón se relaciona con la suavidad de estos, en tanto que su pérdida se asocia con resequedad y endurecimiento. En las tortillas obtenidas de los diferentes tratamientos los valores para esta variable fueron entre 32.9 y 37.8%, y el análisis de varianza mostró que no existe efecto significativo ( $p < 0.05$ ) de la proporción de maíz ceroso en la mezcla, tampoco del tiempo de almacenamiento (Figura 3).

Otros autores han informado resultados similares tanto en tortillas de maíz (Salinas *et al.*, 2003), como en pan obtenido de mezclas de trigo regular y trigo ceroso (Lee *et al.*, 2001).

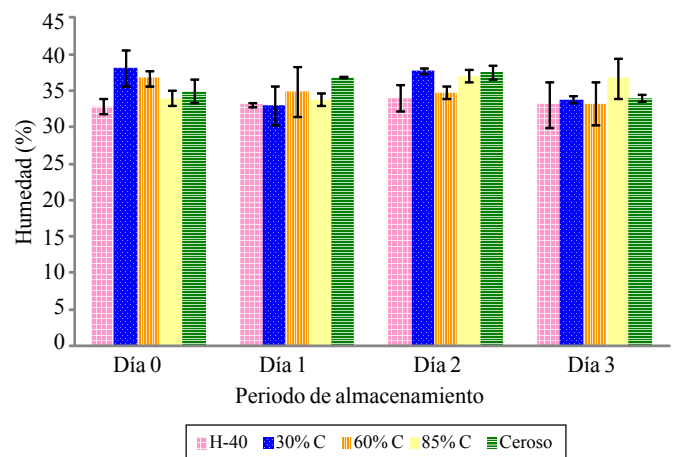
### Fuerza a la tensión y extensibilidad de la tortilla

Los resultados obtenidos en la primera evaluación (2 h), fueron diferentes a los obtenidos en las evaluaciones posteriores. A las 2 h fue evidente el efecto de la adición de maíz ceroso en la masa sobre la textura de la tortilla. Un incremento de este maíz en la mezcla se relacionó con mayores distancias de ruptura y menores fuerzas de tensión;

The color tone ( $h^\circ$ ) of tortillas evaluated in this study, was located in the first quadrant of the CIE  $L^*a^*b^*$  scale, with values between 85 and 88.6°, corresponding to a light yellow color, which did not change significantly, not even by the incorporation of waxy maize in the mixture during the evaluation period. The rate of color saturation (chroma) was between 16.7 and 21, which means that the color was of intermediate intensity.

### Tortilla moisture

The moisture content in starch-based products is related to the smoothness of these, while its loss is associated with drying and hardening. In tortillas obtained from the different treatments, the values for this variable were between 32.9 and 37.8% and the analysis of variance revealed no significant effect ( $p < 0.05$ ) in the proportion of waxy maize in the mix or storage time (Figure 3).



**Figura 3. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre el contenido de humedad de tortillas preparadas con diferentes mezclas de maíz ceroso/maíz dentado.**

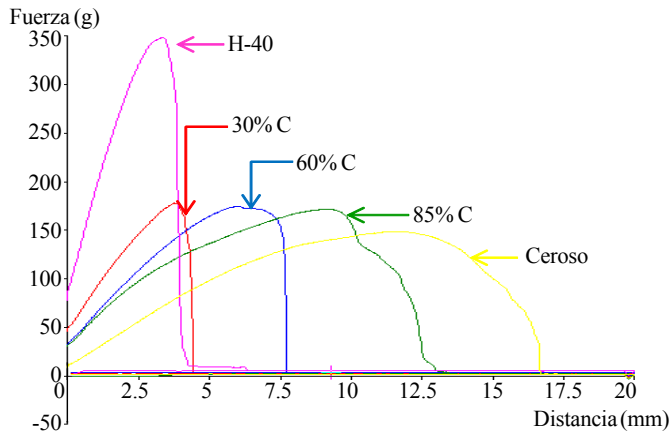
**Figure 3. Effect of storage time on moisture content of tortillas prepared with different mixtures of waxy maize/toothed maize.**

Other authors have reported similar results in both corn tortillas (Salinas *et al.*, 2003), as in bread obtained from mixtures of regular wheat and waxy wheat (Lee *et al.*, 2001).

### Tensile strength and extensibility of tortilla

The results obtained in the first assessment (2 h) were different from those obtained in subsequent evaluations. At 2 h, the effect of the addition of waxy maize in the dough on the tortilla texture was evident. An increase of this maize in the

es decir, con mayor extensibilidad y mayor suavidad. Las tortillas más extensibles fueron del maíz ceroso, y las menos extensibles del maíz H-40 (Figura 4). La fuerza de tensión y la extensibilidad mostraron diferencia estadística por efecto de la proporción de maíz ceroso en la mezcla ( $p < 0.05$ ) y altamente significativo por efecto de almacenamiento ( $p < 0.01$ ).



**Figura 4. Efecto del incremento de la fracción amilopectina sobre la fuerza de tensión y extensibilidad de la tortilla a 2 h de haber sido elaboradas.**

**Figure 4. Effect of increased amylopectin fraction on the tensile strength and extensibility of the tortilla at 2 h after made.**

A 24 h de almacenamiento las tortillas de todos los tratamientos de mezclas incrementaron su dureza y redujeron su extensibilidad. Con el tiempo de almacenamiento todas las tortillas continuaron endureciéndose, pero a una tasa menor que la observada entre 2 y 24 h. Sin embargo, la comparación de medias indicó que a partir del segundo día de almacenamiento, la extensibilidad de la tortilla fue igual para todos los tratamientos y la fuerza de tensión considerablemente mayor en aquellos donde se adicionó maíz ceroso (Cuadro 3).

mix, was associated with greater breaking distances and lower tensile strength; i. e., with greater extensibility and softness. The most extensible were made with waxy maize and less extensible with maize H-40 (Figure 4). The tensile strength and extensibility showed statistical difference as an effect of the proportion of waxy maize in the mixture ( $p < 0.05$ ) and highly significant by the storage effect ( $p < 0.01$ ).

At 24 h of storage, tortillas of all mixing treatments increased its hardness and reduced its extensibility. With storage time all the tortillas continued to harden, but at a slower rate than that between 2 and 24 h. However, comparison of means indicated that from the second day of storage, the extensibility of tortillas was similar for all treatments and tensile strength significantly higher in those which waxy maize was added (Table 3).

The rapid hardening experienced by cereal-based products in which starch is the main component has been reported for bread, wheat tortillas (Seetharaman *et al.*, 2002) and maize tortillas (Suhendro *et al.*, 1999; Salinas *et al.*, 2003). This is mainly due to retrogradation of starch, which simply means a reordering of amylose and amylopectin chains (Ottenhof *et al.*, 2005).

It is known that retrogradation of amylose is faster than amylopectin and in the latter is partially reversible with heat, but not in the case of the first (Rooney and Suhendro, 1999). The reversibility of retrogradation of amylopectin was seen in this work, as tortillas with waxy maize when they were heated, were much softer than those without. However, a high proportion of this maize in the mixture (60 and 85%), causes that the tortilla is perceived as “chewy”, which is considered an undesirable characteristic.

The tortillas of treatment with 30% of waxy maize in the mix were not perceived as “chewy” and they softened considerably over reheated, the latter feature was not

**Cuadro 3. Valores de fuerza de tensión y extensibilidad en tortillas obtenidas de las mezclas de maíz normal y maíz ceroso. Table 3. Values of tensile strength and extensibility of tortillas obtained from mixtures of regular and waxy maize.**

Tratamiento	Tiempo de almacenamiento							
	2 h		24 h		48 h		72 h	
	FT (gf)	D (mm)	FT (gf)	D (mm)	FT (gf)	D (mm)	FT (gf)	D (mm)
100 % H-40	349.1 a	3.57 c	407.7 e	1.89 a	595.4 d	2.13 a	728.5 d	1.98 a
30 % MC	180.8 b	3.71 c	651.5 d	2.15 a	717.5 c	1.79 a	1011.4 c	2.01 a
60 % MC	174.1 bc	6.22 b	683.7 c	1.66 a	808.4 b	1.78 a	1040.2 c	1.89 a
85 % MC	172 d	10.03 a	780.7 a	2.01 a	953.3 a	1.96 a	1148.8 b	2.15 a
100 % MC	151 c	11.48 a	705.4 b	2.05 a	857.6 b	1.95 a	1251.5 a	2.27 a

FT= fuerza a la tensión (gf); D= distancia de extensibilidad de la tortilla. Medias con la misma letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p < 0.05$ ).

El rápido endurecimiento que experimentan los productos a base de cereales en que el almidón es el principal componente, ha sido reportado para pan, tortillas de trigo (Seetharaman *et al.*, 2002) y tortillas de maíz (Suhendro *et al.*, 1999; Salinas *et al.*, 2003). Se debe principalmente a la retrogradación del almidón, que de manera simple significa un reordenamiento de las cadenas de amilosa y amilopectina (Ottenhof *et al.*, 2005).

Se sabe que la amilosa retrograda más rápido que la amilopectina y que la retrogradación de ésta última es parcialmente reversible con calor, no así en el caso de la primera (Rooney y Suhendro, 1999). La reversibilidad de la retrogradación de la amilopectina pudo comprobarse en este trabajo, ya que las tortillas que contenían maíz ceroso, al ser recalentadas fueron mucho más suaves que las que no tenían. Sin embargo, una elevada proporción de este maíz en la mezcla (60 y 85%), provoca que la tortilla se perciba como “chiclosa” al ser masticada, lo que se considera una característica indeseable.

Las tortillas del tratamiento con 30% de maíz ceroso en la mezcla no se percibieron como “chiclosas”, y se suavizaron considerablemente con el recalentado; esta última característica no se observó en las tortillas del maíz dentado (H-40). Aunque no se cuantificó el contenido de amilopectina en la masa, es indiscutible que la incorporación de 30% maíz ceroso indujo un incremento de la amilopectina en la mezcla.

Este resultado muestra que es posible mejorar la textura de la tortilla almacenada, sin tener que adicionar aditivos como gomas, si se selecciona adecuadamente el tipo de maíz, aprovechando la variabilidad que existe para contenido de amilopectina en el almidón de este cereal (Seetharaman *et al.*, 2001). Es interesante observar que la pérdida de humedad en la tortilla entre las 2 h y 24 h fue de sólo 2%, por lo que el endurecimiento no estuvo asociado con la deshidratación.

### Rolabilidad

La rolabilidad es un parámetro asociado con la flexibilidad de las tortillas, y está estrechamente relacionado con la capacidad que tienen para hacerse taco sin romperse. Las tortillas frescas (recién elaboradas) son suaves y se enrollan fácilmente, en tanto que las tortillas almacenadas son rígidas, quebradizas y se rompen cuando se enrollan (Suhendro *et al.*, 1999). Los valores de esta variable cambiaron durante el almacenamiento y por efecto de la proporción de maíz ceroso en la mezcla.

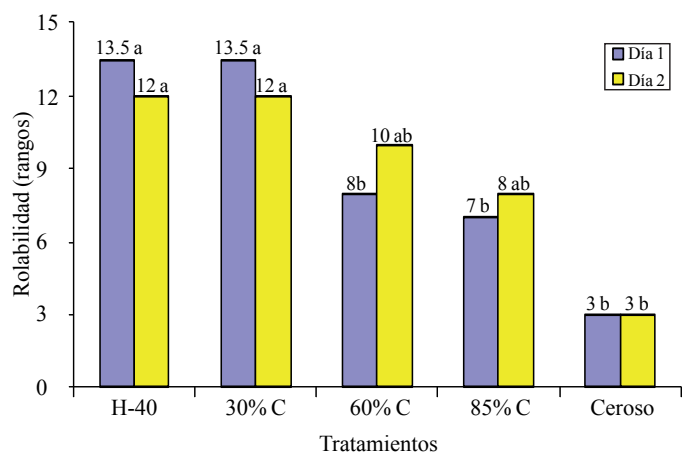
observed in the toothed maize (H-40) tortillas. Although the content of amylopectin in dough was not quantified, it is indisputable that the incorporation of 30% of waxy maize induced an increase of amylopectin in the mixture.

This result shows that it is possible to improve the texture of stored tortillas, without having to incorporate additives such as gums, if the maize type is properly selected, taking advantage of the variability that exists for amylopectin in this cereal starch (Seetharaman *et al.*, 2001). Interestingly, the moisture loss in the tortilla between 2 h and 24 h was only of 2%, so that the hardening was not associated with dehydration.

### Rollability

The rollability is a parameter associated with the flexibility of tortillas, and is closely related to its ability to roll on itself without breaking. Fresh tortillas (freshly prepared) are soft and easily rolled, while the stored tortillas are rigid, brittle and break when rolled (Suhendro *et al.*, 1999). The values of this variable changed during storage and by the effect of the waxy maize proportion in the mixture.

The assessment made at 2 h after made, did not show significant differences ( $p=0.05$ ) between treatments, but in day one (24 h) two statistically different groups were obtained: one made up of 100% toothed maize (H-40) tortillas and 30% waxy maize in the mixture and the other by treatments with 60, 85 and 100% of waxy corn characterized by the rigidity of their tortillas (Figure 5).



**Figura 5. Efecto del incremento de maíz ceroso en la mezcla, sobre la rolabilidad de la tortilla durante su almacenamiento.**

**Figure 5. Effect of increased waxy maize in the mixture on the tortilla rollability during storage.**

La evaluación efectuada a 2 h de haber sido elaboradas las tortillas no mostró diferencias significativas ( $p= 0.05$ ) entre tratamientos; sin embargo, para el día uno (24 h) se tuvieron dos grupos estadísticamente diferentes: uno formado por las tortillas de 100% maíz dentado (H-40) y de 30% de maíz ceroso en la mezcla y el otro por los tratamientos con 60, 85 y 100% maíz ceroso caracterizado por la rigidez de sus tortillas (Figura 5).

Para el día dos se mantuvieron esos mismos dos grupos, aunque se pudo observar que la rolabilidad se incrementó ligeramente en algunos tratamientos, debido probablemente al reblandecimiento de la tortilla, ocasionado por la condensación de agua sobre la superficie del papel ceroso que se colocó entre cada tortilla para evitar que se pegaran. Finalmente las diferencias desaparecieron en el día tres en el que las tortillas de todos los tratamientos presentaron la menor rolabilidad.

Al final del periodo de evaluación (72 h), la prueba de rolabilidad en las tortillas, se realizó tanto en tortilla fría como recalentada, encontrando que las de alta amilopectina fueron más rolables con respecto al resto de los tratamientos.

## CONCLUSIONES

El incremento de maíz ceroso en la mezcla se asoció con tortillas más extensibles y suaves, pero “chiclosas” al masticarse. Después de 24 h de almacenamiento a temperatura ambiente, las tortillas de todos los tratamientos incrementaron su dureza y redujeron su extensibilidad, aunque la “chiclosidad” se mantuvo en los tratamientos con alta proporción de maíz ceroso (85 y 100%). Al recalentar las tortillas, aquellas con mayor proporción de maíz ceroso, fueron considerablemente más suaves que del maíz normal. Las mezclas de maíz normal con cantidades pequeñas de maíz ceroso (30%), favorecen las propiedades de textura de la tortilla, volviéndola más suave y extensible en el recalentado, por lo que puede ser una opción para evitar el uso de gomas en este tipo de alimento.

## LITERATURA CITADA

- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1975. Official methods of analysis. 14<sup>th</sup> edition. St. Paul Minnesota, USA.
- American Association of Cereal Chemists (AACC). 1976. Official methods of analysis. 8<sup>th</sup> edition. St. Paul Minnesota, USA.

For day two, the same groups remained, although it was noted that rollability increased slightly in some treatments, probably due to softening of the tortilla caused by condensation on the surface of the waxy paper that was placed between each tortilla in order to avoid them to stick. Finally, the differences disappeared on day three in which tortillas of all treatments showed lower rollability.

At the end of the evaluation period (72 h), rollability test in the tortillas was performed in both cold and heated tortillas, finding that those with high amylopectin had more rollability respect to the rest of the treatments.

## CONCLUSIONS

The increased waxy maize in the mixture was associated with more extensible and soft tortillas but “chewy”. After 24 h of storage at room temperature, the tortillas of all treatments increased hardness and reduced its extensibility, although the “chewy” remained in treatments with high proportion of waxy maize (85 and 100%). When reheating tortillas those with higher proportion of waxy maize, were considerably softer than those of regular maize. Mixtures of regular maize with small amounts of waxy maize (30%), favor the textural properties of tortillas, making them softer and extensible when reheated, so it may be an option to avoid the use of gums in this type of food.

*End of the English version*



- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1984. Official methods of analysis. 12<sup>th</sup> edition. St. Paul Minnesota, USA.
- Bhattacharya, M. S.; Erazo-Castrejón, V.; Doehlert, D. C. and McMullen, M. S. 2002. Staling of bread as affected by ceroso wheat flour blends. *Cereal Chem.* 79(2):178-182.
- Bhattacharya, M. and Hanna, M. A. 1987. Kinetics of starch gelatinization during extrusion cooking. *J. Food Sci.* 52:764-766.
- Eggum, B. O.; Dumanovic, J.; Misevic, D. and Denic, M. 1983. Grain yield and nutritive value of high oil, opaque and ceroso maize hybrids. *J. Cereal Sci.* 1:139-145.
- Fernández, A. D.; Waniska, R. D. and Rooney, L. W. 1999. Changes in starch properties of corn tortillas during storage. Time on the retrogradation of banana starch extrudate. *J. Agric. Food Chem.* 53:1081-1086.

- Gómez, H. M.; Lee, J. F.; McDonough, C. M.; Waniska, R. D. and Rooney, L. W. 1992. Corn starch changes during tortilla and tortilla chip processing. *Cereal Chem.* 69(3):275-279.
- Gudmundsson, M. and Eliasson, A. C. 1990. Retrogradation of amylopectin and the effects of amylose and added surfactants/emulsifiers. *Carbohydrate Polymers.* 13:295-315.
- Guo, G.; Jackson, D. S.; Graybosch, R. A. and Parkhurst, A. M. 2003. Wheat tortilla quality: Impact of amylose content adjustments using ceroso wheat flour. *Cereal Chem.* 80(4):427-436.
- Hayakawa, K.; Tanaka, K.; Nakamura, T.; Endo, S. and Hoshino, T. 2004. End use quality of ceroso wheat flour in various grain-based foods. *Cereal Chem.* 81(5):666-672.
- Herrera, S. R. and Hubert, J. T. 1989. Influence of varying protein and starch degradability on performance of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 72:1477-1483.
- Jane, J. L. and Chen, J. F. 1992. Effect of amylose molecular size and amylopectin branch chain length on paste properties of starch. *Cereal Chem.* 69(1):60-65.
- Juliano, B. O. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. *Cereal Sci. Today.* 16(10):334.
- Klucinec, D. J. and Thompson, D. B. 2002. Amylopectin nature and amylose-to-amylopectin ratio as influences on the behavior of gels of dispersed starch. *Cereal Chem.* 79 (1):24-35.
- Lee, M. R.; Swanson, B. G. and Baik, B. K. 2001. Influence of amylose content on properties of wheat starch and breadmaking of starch and gluten blends. *Cereal Chem.* 78(6):701-706.
- Martínez, G. A. 1994. Experimentación agrícola y métodos estadísticos. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. 357 p.
- Martínez-Bustos, F.; Martínez-Flores, H. E.; Sanmartín-Martínez, E.; Sánchez-Sinencio, F.; Chang, Y. D.; Barrera-Arellano, D. and Ríos, E. 2001. Effect of the components of maize on the quality of masa and tortillas during the traditional nixtamalisation process. *J. Sci. Food Agric.* 81:1455-1462.
- McGuire, G. R. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience.* 27(12):1254-1255.
- Miklus, B. M. and Hamaker, R. B. 2003. Isolation and characterization of a soluble branched starch fraction from corn masa associated with adhesiveness. *Cereal Chem.* 80(6):693-698.
- Ottenhof, M. A.; Hill, S. E. and Farhat, I. A. 2005. Comparative study of the retrogradation of intermediate water content ceroso maize, wheat, and potato starches. *J. Agric. Food Chem.* 53:631-638.
- Rooney, L. W. and Suhendro, E. L. 1999. Perspectives on nixtamalization (alkaline cooking) of maize for tortillas and snacks. *Cereal Food World.* 44:466-470.
- Salinas, M. Y. y Arellano, V. J. L. 1989. Calidad nixtamalera y tortillera de híbridos de maíz con diferente tipo de endospermo. *Rev. Fitotec. Mex.* 12:129-135.
- Salinas, M. Y.; Martínez-Bustos, F. y Gómez-Eras, J. 1992. Comparación de métodos para medir la dureza del maíz (*Zea mays* L.). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición.* 42(1):59-63.
- Salinas, M. Y.; Pérez, H. P.; Castillo, M. J. y 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. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(2):115-121.
- Statistical Analysis System (SAS). 1989. SAS/STAT User's Guide. Versión 6.2. SAS Institute Inc. Cary, NC. USA.
- Seetharaman, K.; Tziotis, A.; Borrás, F.; White, P. J.; Ferrer, M. and Robutti, J. 2001. Thermal and functional characterization of starch from Argentine a corn. *Cereal Chem.* 78:379-386.
- Seetharaman, K.; Chinnapha, N.; Waniska, D. and White, P. 2002. Changes in textural, pasting and thermal properties of wheat buns and tortillas during storage. *J. Cereal Sci.* 35:215-223.
- Suhendro, E. L.; Almeida-Domínguez, H. D.; Ronney, L. W.; Waniska, R. D. and Moreira, R. G. 1999. Use of extensibility to measure corn tortilla texture. *Cereal Chem.* 76(4):536-540.
- Waniska, R. D.; Graybosch, R. A. and Adams, J. L. 2002. Effect of partial waxy wheat on processing and quality of wheat flour tortillas. *Cereal Chem.* 79(2):210-214.
- Ward, K. E. J.; Hosene, R. C. and Seib, P. A. 1994. Retrogradation of amylopectin from maize and wheat starches. *Cereal Chem.* 71(2):150-155.
- Watson, S. A. 2003. Description, development, structure, and composition of the corn kernel. Chapter 3, *In: corn: chemistry and technology.* White, P. J. and Johnson, L. A. (eds.). 2<sup>nd</sup> edition. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul Minnesota, USA. 69-106 pp.
- Weber, H. F.; Collarez-Queiroz, F. and Chang, Y. K. 2009. Physicochemical, rheological, morphological and thermal characterization of normal, waxy and high amylose corn starch. *Ciencia y Tecnología de Alimentos* 29:748-753.