

## CALIDAD NIXTAMALERA Y TORTILLERA EN MAÍCES DEL TRÓPICO HÚMEDO Y SUB-HÚMEDO DE MÉXICO\*

### ALKALINE COOKING AND TORTILLA QUALITY IN MAIZE GRAIN FROM THE HUMID AND SUB-HUMID TROPICAL LANDS OF MEXICO

**Yolanda Salinas Moreno<sup>1§</sup>, Noel Orlando Gómez Montiel<sup>2</sup>, José Ernesto Cervantes Martínez<sup>3</sup>, Mauro Sierra Macías<sup>4</sup>, Artemio Palafox Caballero<sup>4</sup>, Esteban Betanzos Mendoza<sup>5</sup> y Bulmaro Coutiño Estrada<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Campo Experimental Valle de México. INIFAP. Carretera México-Texcoco, km 38.5. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. Tel. 01 595 95 21500. Ext. 5372. <sup>2</sup>Campo Experimental Iguala. INIFAP. Carretera Iguala-Tuxpan, km 2. Iguala, Guerrero. C. P. 40000. <sup>3</sup>Campo Experimental Cotaxtla. INIFAP. Ocampo Núm. 234. Desp. 322. Veracruz, Veracruz. C. P. 91700. <sup>4</sup>Unidad Académica Multidisciplinaria Mante-Agronomía. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Blvd. Enrique Cárdenas G. 1201. Mante, Tamaulipas. C. P. 87000. <sup>5</sup>Campo Experimental Centro de Chiapas. Carretera Internacional Ocozocoautla de Espinoza, km 3. Ocozocoautla de Espinoza, Chiapas. C. P. 29140. <sup>§</sup>Autora para correspondencia: yolysamx@yahoo.com.

#### RESUMEN

El maíz producido para la industria de la masa y la tortilla o de la industria de harinas nixtamalizadas (IHN), debe satisfacer los requerimientos de eficiencia en el procesamiento y la calidad del producto final. El objetivo del presente trabajo fue determinar la calidad de maíces comerciales y precomerciales, para la elaboración de harinas nixtamalizadas, masa y tortilla, producidos en entidades ubicadas en el trópico húmedo y sub-húmedo de México en 2006. Se trabajó con 14 muestras de maíz cultivadas en el ciclo primavera-verano 2006 en el estado de Chiapas, Guerrero, Tamaulipas y Veracruz. La calidad se evaluó en términos de características físicas de grano y variables de nixtamalización; en tortilla se determinó textura y color. Todas las muestras fueron de grano blanco, característica común en los maíces tropicales, y por tanto adecuadas para la industria de harinas nixtamalizadas. Los maíces de Veracruz presentaron una calidad sobresaliente para este tipo de industria, por sus elevados rendimientos en masa y tortilla y excelente calidad. De todas las muestras analizadas, únicamente los maíces V-454-C10 (Tamaulipas) y H-561 (Chiapas) fueron adecuados para la industria de harinas nixtamalizadas. Las industrias relacionadas con el procesamiento alcalino del grano de maíz requieren contar con una materia prima especializada que permita mejorar su

#### ABSTRACT

The corn produced for the masa or dough and tortilla industry or for nixtamalized flours industry (IHN), it should satisfy the requirements of efficiency in process and quality of final product. The aim of this work was to determine the quality of commercial and pre-commercial corns, for elaboration of nixtamalized flours, dough and tortilla, produced in states located in the humid and sub-humid tropic of Mexico in 2006. This study used 14 corn samples cultivated in spring-summer 2006 cycle in States of Chiapas, Guerrero, Tamaulipas and Veracruz. The quality was evaluated in terms of physical characteristics of grain and nixtamalization variables; in tortilla it was determined texture and color. All samples were of white grain, common characteristic in tropical maizes, and therefore appropriate for nixtamalized flours industry. The maizes of Veracruz showed outstanding quality for this industry type, by their high dough and tortilla yields and excellent quality. From all analyzed samples, only maizes V-454-C10 (Tamaulipas) and H-561 (Chiapas) were proper for nixtamalized flours industry. The industries related with the alkaline processing of grain of maize require to have a specialized raw material that allows to improve their competitiveness and to offer to consumer the best possible

\* Recibido: mayo de 2010  
Aceptado: octubre de 2010

competitividad y ofrecer al consumidor el mejor producto posible, por tanto quienes hacen el mejoramiento genético de este cereal, deben tener en cuenta los parámetros agronómicos y de calidad.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., calidad, nixtamalización, tortillas, textura.

## INTRODUCCIÓN

El consumo anual de maíz en México en forma de tortilla asciende a 11.5 millones de toneladas de grano, lo cual representa un consumo *per cápita* de 70 kg (Yeverino *et al.*, 2007). Generalmente el maíz blanco es empleado para preparar tortillas de consumo básico en las ciudades; sin embargo, la tortilla consumida en las áreas rurales se elabora con el maíz que se produce localmente, que puede ser además del blanco, amarillo o de colores con pigmentos de antocianinas (azules o negros).

Las principales entidades o regiones de abastecimiento de maíz blanco destinado al procesamiento alcalino, para la industria de la masa y la tortilla (IMT) o de la industria de harinas nixtamalizadas (IHN) son principalmente: a) Sinaloa con producciones del ciclo otoño-invierno; b) El Bajío produce durante primavera-verano, comprende parte de Jalisco y Guanajuato e Hidalgo ubicado en la región denominada de transición; y c) los estados de Chiapas, Guerrero, Veracruz y Tamaulipas, cuyas zonas de producción comercial se ubican en las regiones agroecológicas denominadas “trópico húmedo” en el Golfo y “trópico sub-húmedo” por el Pacífico, que se caracterizan por presentar abundantes precipitaciones (1 700 mm y 1 000 mm, respectivamente), con temperaturas promedio anuales de 24 a 26.5 °C y máximas de 45 °C.

La calidad del grano de maíz para el procesamiento alcalino está determinada por sus características físicas y composición química. Esta calidad es importante para los procesadores de grano a nivel industrial, aunque no para las amas de casa de áreas rurales, quienes seleccionan el maíz de acuerdo a sus preferencias particulares y utilizan cantidades de cal para el proceso de nixtamalización conforme a su costumbre o gusto (Rangel *et al.*, 2004)

Los requerimientos de calidad del grano para la IMT e IHN que utilizan el proceso de nixtamalización son diferentes en algunos aspectos. La IHN requiere maíces de endospermo duro o muy

product, therefore who make the genetic improvement of this cereal they should keep in mind the agronomic and quality parameters.

**Key words:** *Zea mays* L., quality, nixtamalization, tortillas, texture.

## INTRODUCTION

The annual consumption of maize in Mexico in tortilla form reaches 11.5 million tons of grain, which represents consumption *per capita* of 70 kg (Yeverino *et al.*, 2007). White corn is generally used to prepare tortillas of basic consumption in cities; however, tortilla consumed in rural areas is elaborated with corn that is produced locally, that can be besides the white, yellow or of colors with anthocyanin pigments (blue or black).

The main supply states or regions of white corn dedicated to alkaline process, for industry of dough and tortilla (IMT) or for nixtamalized flour industry (IHN) are mainly: a) Sinaloa with productions of autumn-winter cycle; b) El Bajío produces during spring-summer, embraces part of Jalisco and Guanajuato and Hidalgo located in region of transition; and c) States of Chiapas, Guerrero, Veracruz and Tamaulipas whose areas of commercial production are located in agroecologic regions denominated “humid tropic” in Golfo and “sub-humid tropic” for Pacific that are characterized by showing abundant precipitations (1 700 mm and 1 000 mm, respectively), with annual average temperatures of 24 to 26.5 °C and maximum of 45 °C.

The quality of corn grain for alkaline process is determined by its physical characteristics and chemical composition. This quality is important for grain processors at industrial level, although not for housewives of rural areas who select corn according to their particular preferences and they use quantities of lime for the nixtamalization process according to their habit or favor (Rangel *et al.*, 2004)

The quality requirements of grain for IMT and IHN that use nixtamalization process are different in some aspects. The IHN requires corncobs of hard or very hard endosperm, with minimum pericarp retention during the process and that the humidity of nixtamal is less than 42%. On the other hand IMT requires corncobs of less

duro, con mínima retención de pericarpio durante el proceso y que la humedad del nixtamal no sobre pase 42%. La IMT por su parte, requiere maíces de menor dureza y que retengan mayor cantidad de pericarpio durante el proceso, ya que el pericarpio solubilizado por la acción del álcali, se convierte en gomas naturales que van a favorecer las características de textura en masa (adhesividad y cohesividad), y tortilla (plasticidad y suavidad) (Martínez-Bustos *et al.*, 2001).

Los maíces producidos en Sinaloa son apreciados tanto por los industriales de la masa y la tortilla como por las harinas nixtamalizadas, por su calidad para el procesamiento alcalino; por el contrario, en Valles Altos y muy altos del centro del país no son aceptados por su baja calidad para dicho proceso.

Sobre la calidad de los maíces del trópico húmedo y sub-húmedo, se conoce por el color blanco de grano y dureza que el industrial demanda, pues los valores promedio para estas propiedades en muestras de Chiapas y Veracruz son similares a los producidos en Sinaloa (Salinas y Pérez, 1997); sin embargo, como los maíces híbridos y de variedades mejoradas sembrados en las áreas productoras, son sustituidos periódicamente por nuevos y diferentes maíces, es importante conocer su calidad y verificar que satisfagan los requerimientos de la industria.

El objetivo del presente trabajo fue determinar la calidad de maíces comerciales y precomerciales para la elaboración de harinas nixtamalizadas, masa y tortilla, producidos en varias entidades del trópico húmedo y sub-húmedo de México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material genético

Se trabajó con 14 muestras de maíz cultivadas en el ciclo primavera-verano 2006 en Chiapas (1), Guerrero (6), Tamaulipas (4) y Veracruz (3). Entre ellas se tienen tanto híbridos (H), variedades de polinización libre (V) y variedades sintéticas (VS), desarrolladas por la empresa Monsanto y el sector oficial Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y corresponden a maíces tanto comerciales como precomerciales.

Las muestras se limpiaron manualmente y se dejaron secar a temperatura ambiente, hasta alcanzar una humedad entre 11 y 12%, para posteriormente proceder a su caracterización.

hardness and that retain greater quantity of pericarp during the process, since solubilized pericarp for the action of the alkali, becomes natural rubbers that will favor the characteristics of dough texture (adhesiveness and cohesiveness), and tortilla (plasticity and softness) (Martínez-Bustos *et al.*, 2001).

The corns produced in Sinaloa are appreciated as well as the dough and tortilla companies as for nixtamalized flours companies, by their quality for alkaline process; on the contrary, in high and very high Valleys of Central Mexico they are not accepted due their low quality for this process.

About the quality of corns of humid and sub-humid tropic, is known by the white grain color and hardness that companies demand, because average values for these properties in samples of Chiapas and Veracruz are similar to those produced in Sinaloa (Salinas and Pérez, 1997); however, as the hybrid corns and of varieties improved sown in producing areas, they are periodically replaced by new and different corns, it is important to know their quality and to verify that they satisfy industry requirements.

The objective of this work was to determine the quality of commercial and pre-commercial corns for elaboration of nixtamalized flours, dough and tortilla, produced in several entities located in the humid and sub-humid tropic of Mexico.

## MATERIALS AND METHODS

### Genetic material

It was used 14 samples of corn cultivated in spring-summer 2006 cycle in States of Chiapas (1), Guerrero (6), Tamaulipas (4) and Veracruz (3). Between them there are hybrid (H), varieties of free pollination (V) and synthetic varieties (VS), developed by private company (Monsanto) and official sector Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) and they correspond to corns as good as commercial as pre-commercial.

Samples were manually cleaned and were dried at ambient temperature, until reaching humidity between 11 and 12%, for then to proceed to their characterization.

### Caracterización física del grano

Las variables físicas evaluadas fueron: peso hectolítrico por el método 84-10 (AACC, 2000), índice de flotación (Salinas *et al.*, 1992), peso de 100 granos, color de grano por el método 14-30 (AACC, 2000), homogeneidad del tamaño de grano (MASECA®), color en harina cruda, porcentaje de pico (pedicelo), pericarpio, germen, endospermo harinoso y endospermo vítreo (Salinas y Vázquez, 2006). Los análisis se realizaron por duplicado.

### Nixtamalización y elaboración de tortillas

La nixtamalización se realizó a partir de 100 g de grano, utilizando 1% de óxido de calcio y 200 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).

Después del cocimiento, las muestras se dejaron en reposo por 14-16 h a temperatura ambiente para después enjuagar el nixtamal y molerlo en un molino de piedras para obtener la masa (Salinas y Arellano, 1989). Las tortillas se moldearon en una prensa manual y se cocieron sobre una plancha metálica. Una vez cocidas, se enfriaron a temperatura ambiente durante 30 min tapadas con una servilleta de manga.

### Calidad de nixtamal y tortillas

Para la evaluación de la calidad del nixtamal se consideraron las variables de humedad del nixtamal, pérdida de sólidos y pericarpio retenido, en tanto que la calidad de la tortilla se determinó a través de: humedad, rendimiento en tortilla fría, color en el equipo Agtron por el método 14-30 (AACC, 2000), expresado como porcentaje de reflectancia y en Hunter Lab miniScan, se obtuvieron los parámetros colorimétricos de a\* (rojo a verde) y b\* (amarillo a azul), así como la textura, se midió mediante el texturómetro TAXT2, utilizando la metodología descrita por Arámbula-Villa *et al.* (2004). Esta característica se expresó en función de la fuerza máxima de compresión (dureza) y elongación de la tortilla.

### Análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, y se realizó la prueba de Tukey para la comparación de medias. Los resultados se analizaron usando el paquete estadístico SAS versión 9.0 (SAS, 2002).

### Physical characterization of grain

The evaluated physical variables were: hectolitic weight by method 84-10 (AACC, 2000), flotation index (Salinas *et al.*, 1992), 100 grains weight, grain color by method 14-30 (AACC, 2000), homogeneity of grain size (MASECA®), color in raw flour, peak percentage (pedicel), pericarp, germ, floury endosperm and vitreous endosperm (Salinas and Vázquez, 2006). The analyses were made twice.

### Nixtamalization and elaboration of tortillas

The nixtamalization was made from 100 g of grain, using 1% of calcium oxide and 200 mL of distilled water. The components were mixed in a 600 mL precipitate glass and were heated in a nixtamalization grill until boil, assigning their cooking time according to hardness of grain (measured by flotation index).

After cooking, samples were left in rest by 14-16 h at ambient temperature and then to rinse nixtamal and to mill it in a stone mill to obtain the dough (Salinas and Arellano, 1989). The tortillas were formed in manual press and they were cooked on a metallic plate. Once cooked, they cooled at ambient temperature during 30 min covered with a blanket napkin.

### Nixtamal quality and tortillas

For evaluation of quality of the nixtamal there were considered the variables of humidity of the nixtamal, loss of solids and retained pericarp, as long as the quality of the tortilla was determined through: humidity, yield in cold tortilla, color in device Agtron for method 14-30 (AACC, 2000), expressed as reflectance percentage and in Hunter Lab miniScan, the colorimetric parameters were obtained for a\* (red to green) and b\* (yellow to blue), as well as the texture, was measured by means of TAXT2 texture analyzer, using methodology described by Arámbula-Villa *et al.* (2004). This characteristic was expressed in function of the maximum force of compression (hardness) and elongation of tortilla.

### Statistical analysis

An experimental design was used totally at random, and it was carried out Tukey test for comparison of averages. The results were analyzed using the statistical software SAS version 9.0 (SAS, 2002).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización física del grano

Las variables de peso hectolitrito e índice de flotación están relacionadas con la dureza del grano. Ambas se correlacionan de manera inversa, mientras mayor peso hectolitrito tenga un maíz, más duro será y su índice de flotación será menor (Salinas *et al.*, 1992). Se detectaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre los maíces para estas dos variables.

La muestra con el mayor peso hectolitrito fue la de Chiapas (H-561), que a su vez tuvo el menor índice de flotación (Cuadro 1). Por su parte, el H-518 de Veracruz presentó el peso hectolitrito más bajo e índice de flotación elevado, aunque el valor más alto en esta variable correspondió a la muestra V-559 de Guerrero (67%), porque este maíz posee el grano más suave del grupo de materiales evaluados. La dureza del grano está relacionada con el tiempo de nixtamalización que requiere el grano de maíz, mientras más duro más tiempo de cocimiento para lograr un nixtamal con características adecuadas para tener masa de calidad.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Physical characterization of grain

The variables of hectolitic weight and flotation index are related to hardness of grain. Both are correlated in inverse way, while greater hectolitic weight a corn has, harder it will be and its flotation index will be smaller (Salinas *et al.*, 1992). There were detected significant differences ( $p \leq 0.05$ ) between the corns for these two variables.

The sample with the greatest hectolitic weight was of Chiapas (H-561) that in turn had the smallest flotation index (Table 1). On the other hand, H-518 of Veracruz showed the lowest hectolitic weight and high flotation index, although the highest value in this variable corresponded to sample V-559 of Guerrero (67%), because this maize have the softest grain in the group of evaluated materials. The hardness of grain is related with the nixtamalization time that requires the corn grain; while harder, it is necessary to achieve a nixtamal with appropriate characteristics to have dough of quality, cooking time it will be longer.

**Cuadro 1. Propiedades físicas de grano de los maíces bajo estudio.**

**Table 1. Physical properties of grain of corns under study.**

Origen	Genotipo	PH (kg hL <sup>-1</sup> )	IF (%)	PCG (g)	CG (%)	PIC (%)	PER (%)	GER (%)
Tamaulipas	H-470 C	80.6 bc	2 g	32.9 f	58 gh	1.5 b	5.9 a	14.6 a
	V-454-C10	77.8 ef	12 f	38.1 bcd	61 efg	1.4 b	5.3 abcde	11.8 efg
	A-7573-C5	78 ef	13 f	41.9 a	57 h	1.3 b	4.8 de	13.2 bcd
	A-7573	77.4 f	50 c	38.5 bc	60 fgh	1.8 ab	3.9 f	11.5 fg
Guerrero	H-516	79.4 cd	12 f	34.8 e	65 bc	1.5 b	5.5 abc	12.1 defg
	VS-535	75.4 gh	60 b	37.4 cd	66 ab	1.5 b	4.7 e	13.4 b
	VS-558	77.6 f	28 e	35 e	63 cdef	1.5 b	4.9 cde	12.8 bcde
	V-559	74.2 h	67 a	37.2 d	68 a	1.6 b	5 bcde	13.2 bcd
	H-562	80.8 b	2 g	30.5 hi	64 bcd	1.5 b	5.4 abcde	11.8 efg
	H-563	78.4 def	3 g	32.3 fg	66 ab	1.4 b	5 bcde	12.2 cdefg
Veracruz	H-520	75.8 g	22 e	31.2 gh	61 def	1.4 b	5 bcde	12.7 bcde
	H-518	70 i	38 d	29.5 i	64 bcde	1.5 b	5.6 ab	13.3 bc
	VS-536	79 de	12 f	31.6 gh	60 fgh	1.3 b	5.4 abcd	12.4 bcdef
Chiapas	H-561	82.4 a	0 g	38.9 b	61 def	2.3 a	4.9 bcde	11.2 g
DMS ( $\alpha=0.05$ )		1.3475	7.342	1.2902	3.3687	0.5195	0.7081	1.1198
Valores establecidos por la industria	Harina							
	nixtamalizada	$\geq 74$	$\leq 20$	36-40	$\geq 57$	$\leq 2$	4.5-5.5	$\leq 12$
	Masa-tortilla	$\geq 74$	$\leq 50$	30-35		$\leq 2$	4.5-6	$\leq 13$

PH= peso hectolitrito; IF= índice de flotación; PCG= peso de 100 granos; CG= color de grano; PIC= pico; PER= pericarpio; GER= germen.



El tamaño del grano es otra variable de interés en el procesamiento alcalino, por su impacto en el grado de cocimiento y absorción de agua durante la nixtamalización. Granos de una misma dureza aunque de tamaño grande, alcanzan un menor cocimiento que granos pequeños en el mismo tiempo. De acuerdo con Salinas y Vázquez (2006), los granos grandes tienen un peso de 100 semillas mayor a 38 g, los medianos entre 33 y 38, en tanto que los pequeños presentan valores menores a 33 g. La IHN requiere maíces de grano intermedio, en tanto que IMT se favorece también con granos de este tamaño o menores, que se hidratan más fácilmente que los grandes y que favorece el rendimiento de los productos que comercializan que son de humedad elevada.

De las muestras de maíz analizadas, los granos de menor tamaño fueron procedentes de Veracruz y grano grande de la muestra A-7573-C5 de Tamaulipas, seguida por la muestra V-454-C10 y el H-561 de Chiapas. En las muestras de Guerrero, los híbridos fueron de grano pequeño y las variedades de grano intermedio.

Los híbridos y variedades cultivadas en Guerrero, presentaron granos más blancos, con un rango de variación en el porcentaje de reflectancia (R) de 61 a 68%, mientras que los menos blancos fueron los maíces de Tamaulipas, en tanto que en el resto de maíces el color osciló entre 57 y 60% de reflectancia; por lo tanto, todos los maíces analizados satisfacen el estándar de color de grano requerido por la industria de harinas nixtamalizadas que es 57% mínimo de reflectancia.

Los valores de pico, pericarpio y germen en las muestras analizadas estuvieron dentro de lo informado para maíz tipo dentado (Watson, 2003). Todas las muestras satisfacen el requerimiento de ( $\leq 2\%$ ) de pico, con excepción del híbrido H-561 de Chiapas, que presentó un valor ligeramente superior; el porcentaje de pericarpio de las muestras es adecuado para las dos industrias, en tanto que el de germen es satisfactorio en la mayoría de las muestras para la industria de la masa y tortilla, caso contrario para la industria de harinas nixtamalizadas, la cual requiere menores valores para evitar problemas de rancidez de la harina durante el almacenamiento (Bedolla y Rooney, 1984). Para la IHN, únicamente las muestras de V-454 C10, A-7573, H-562 y H-561 presentaron un porcentaje de germen adecuado (10-12%).

El porcentaje pico en el grano de maíz es relevante en la industria de la masa y la tortilla, ya que esta estructura está compuesta de lignina, y no se hidroliza con el álcali de la nixtamalización, aunque adquiere una tonalidad oscura que

The grain size is another variable of interest in alkaline process, due its impact in cooking grade and water absorption during nixtamalization. Grains of a same hardness although of big size, they reach a smaller cooking than small grains in the same time. In accordance with Salinas and Vázquez (2006), the big grains have 100 seeds weight greater than 38 g, the medium ones between 33 and 38, as well as the small ones show values less than 33 g. The IHN requires corns of intermediate grain, as well as the IMT is also favored with maizes of this grain size or even smaller, which are moisturized more easily than the big ones and that it favors the yield of products that are marketed that are of high humidity.

Of analyzed maize samples, the grains of smaller size were from Veracruz and big grain of sample A-7573-C5 of Tamaulipas, followed by sample V-454-C10 and the H-561 of Chiapas. In the samples of Guerrero, the hybrid ones were of small grain and the varieties of intermediate grain.

The hybrid ones and varieties cultivated in Guerrero, showed the whitest grains, with a variation range in the reflectance percentage (R) of 61 to 68%, while the less white ones were the maizes from Tamaulipas, as long as in rest of maizes color oscillated between 57 and 60% reflectance; therefore, all analyzed maizes satisfy the standard of color grain required by nixtamalized flours industry that is 57% minimum of reflectance.

The maximum (peak), pericarp and germ values in analyzed samples were inside the range informed for dent type maize (Watson, 2003). All samples fulfill requirement of ( $\leq 2\%$ ) for maximum, except for hybrid H-561 of Chiapas that showed a lightly superior value; the percentage of pericarp of samples is adapted for both industries, as long as that of germ is satisfactory in most of the samples for dough and tortilla industry, contrary case for nixtamalized flours industry, which requires smaller values to avoid problems of rancidness of flour during storage (Bedolla and Rooney, 1984). For IHN, only the samples of V-454 C10, A-7573, H-562 and H-561 showed a percentage of appropriate germ (10-12%).

The peak percentage in corn grain is of relevance in dough and tortilla industry, since this structure is mainly constituted of lignin, and it can not be hydrolyzed with alkali of nixtamalization, although acquires a dark tonality that affects the appearance of tortilla, because

afecta la apariencia de la tortilla, pues a mayor porcentaje, habrá mayor abundancia de puntos negros en la superficie (Salinas y Pérez, 1997). La IHN elimina esta estructura de la harina durante el proceso de cribado. El pericarpio, es una estructura formada de hemicelulosa (> 50%), celulosa (22%), ácidos fenólicos (5%) y lignina (1%) (Saulnier y Thibault, 1999). El componente principal (hemicelulosa) es hidrolizado por el álcali durante el proceso de nixtamalización y transformado en heteroxilanas asociadas con residuos de ácido ferúlico que poseen propiedades que favorecen la textura de la masa y la tortilla (Martínez-Bustos *et al.*, 2001).

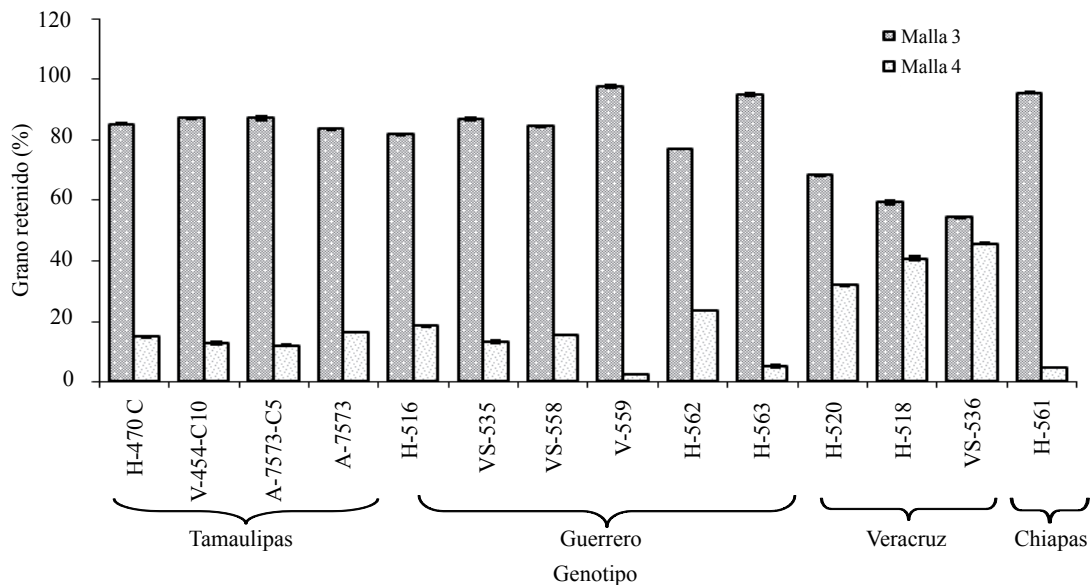
La homogeneidad del tamaño de grano se estima de manera indirecta mediante el porcentaje de grano retenido en las mallas número 3 y 4. La primera tiene una abertura de 6 860 micrones, en tanto que en la segunda es de 4 760 micrones.

Ambas industrias se benefician al procesar maíces de tamaño y forma homogénea. El valor mínimo establecido es 80% de grano retenido en la malla número 3. Con excepción de las muestras de Veracruz y del H-562 de Guerrero, todos los maíces satisfacen este requerimiento (Figura 1).

at greater percentage, there will be greater abundance of black points in the surface (Salinas and Pérez, 1997). The IHN eliminates this structure of flour during the sieving process. In case of pericarp, it is a structure formed mainly of hemicellulose (> 50%), cellulose (22%), phenolic acids (5%) and lignin (1%) (Saulnier and Thibault, 1999). The main component (hemicellulose) is hydrolyzed for alkali during nixtamalization process and become heteroxylans associated with residuals of ferulic acid that have properties that favor texture of dough and tortilla (Martínez-Bustos *et al.*, 2001).

The homogeneity of grain size is estimated in an indirect way by means of grain percentage retained in number 3 and 4 metallic meshes. The first one has an opening of 6 860 microns, as long as in second it is of 4 760 microns.

Both types of industries benefit when processing corns of homogeneous size and form. The established minimum value for this variable is 80% of grain retained in mesh number 3. Except for samples of Veracruz and H-562 of Guerrero, all the corns satisfy this requirement (Figure 1).



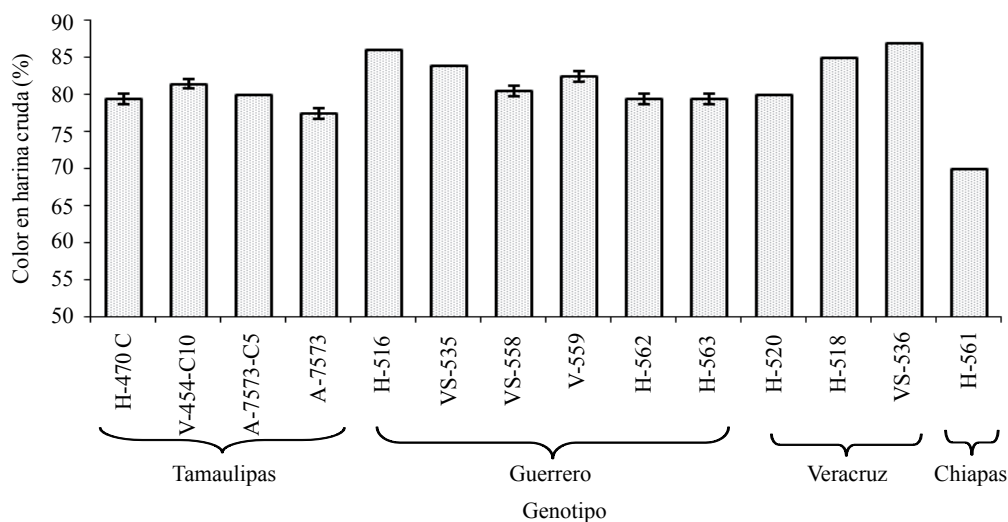
**Figura 1. Porcentaje de grano retenido en las mallas metálicas número 3 y 4 de las muestras analizadas.**  
**Figure 1. Grain percentage retained in the meshes metallic number 3 and 4 of the analyzed samples.**

La IHN considera el color de harina cruda de maíz como un indicador de la harina nixtamalizada. Para ello establece un valor mínimo de 77% de reflectancia en harina cruda, a fin de garantizar una harina nixtamalizada blanca (Morales, 2007).

The IHN considers color of raw flour of corn as an indicator of color of nixtamalized flour. For this creiteria it is set a minimum value of reflectance 77% in raw flour, in order to guarantee white nixtamalized flour (Morales, 2007).

El tamaño de partícula de la harina es un factor que debe tomarse en cuenta, ya que tiene una fuerte influencia sobre el porcentaje de reflectancia de la harina, medido en el colorímetro Agtron, significa que a menor tamaño de partícula mayor valor de reflectancia. De las muestras analizadas, sólo la proveniente de Chiapas no satisface este criterio. Esta muestra fue de mayor dureza de grano y es posible que la granulometría de su harina fuera también más alta, por que el valor de reflectancia fue menor que en el resto de los maíces; no obstante, se trata de un grano blanco (Figura 2).

The particle size of flour is a factor that should take into account, since it has a strong influence on the percentage of reflectance of flour, measured in Agtron colorimeter, meaning that at smaller size of particle, bigger reflectance value. Of analyzed samples, only the sample from Chiapas does not satisfy these criteria. This sample was of more grain hardness and is possible that grain of its flour was also higher, due reflectance value was smaller than in rest of corns; despite it is of a white grain (Figure 2).



**Figura 2. Porcentaje de reflectancia en harina cruda de las muestras bajo estudio.**

**Figure 2. Reflectance percentage in raw flour of samples under study.**

La determinación de la proporción de endospermo vítreo-harinoso sólo se realizó en los materiales que pasaron los criterios de color de grano ( $\geq 57\%$  R), dureza ( $\leq 20\%$ ), grano retenido en la malla número 3 ( $\geq 80\%$ ) y color en harina cruda ( $\geq 77\%$  R). De todas las muestras que pasaron estos estándares de calidad, únicamente la V-454-C10 cumplió con 48% solicitado por la industria de harinas nixtamalizadas.

### Calidad de nixtamal y tortillas

En general, las muestras presentaron una alta absorción de agua durante el reposo del grano, que se refleja en una humedad del nixtamal elevada, con una variación 43.2% a 49.9% (Cuadro 2). Sin embargo, una alta humedad en el nixtamal no garantiza una alta humedad en la tortilla, ya que influyen además de las características de los principales componentes de la masa (almidón, proteína, grasa), el espesor de la tortilla, el tiempo y

The determination of proportion of vitreous-floury endosperm was carried out only in materials that passed the criteria for grain color ( $\geq 57\%$  R), hardness ( $\leq 20\%$ ), retained grain in number 3 mesh ( $\geq 80\%$ ) and color in raw flour ( $\geq 77\%$  R). Of all samples that passed these quality standards, only V-454-C10 did fulfill 48% requested by nixtamalized flours industry.

### Nixtamal and tortillas quality

In general, the samples showed high water absorption during the resting of the grain that is reflected in a high humidity of nixtamal, with a variation from 43.2% to 49.9% (Table 2). However, a high humidity in the nixtamal doesn't guarantee a high humidity in the tortilla, since they also influence in the characteristics of main components of dough (starch, protein, fat), thickness of tortilla, cooking



temperatura de cocimiento. En tortillas el rango de humedad observado fue de 37.7 a 46%. Estos valores son similares a los informados por otros autores (Antuna *et al.*, 2008). En promedio, la tortilla con mayor humedad provino de los maíces de Veracruz, atribuido este resultado a su tamaño de grano pequeño, que permite mejor hidratación del endospermo.

time and temperature. In tortillas the range of humidity observed was from 37.7 to 46%. These values are similar to the informed by other authors (Antuna *et al.*, 2008). On average, the tortilla with more humidity came from corns of Veracruz, attributed this result to its size of small grain that allows a better hydration of endosperm.

## Cuadro 2. Variables de nixtamalización y de tortilla de los maíces estudiados.

Table 2. Nixtamalization and tortilla variables of studied corns.

Origen	Genotipo	PR (%)	HN (%)	HT (%)	PS (%)	RM	RTF
Tamaulipas	H-470 C	38.3 efg	49 ab	42.1 cd	3.4 cdef	1.9 b	1.5 b
	V-454-C10	31 g	46.1 ab	39.9 def	3.6 cd	1.8 c	1.4 c
	A-7573-C5	45.3 bcde	45.9 ab	39.2ef	3.3 defg	1.7 d	1.3 d
	A-7573	55.1 a	43.9 b	41.3 cde	3 ghi	1.8 c	1.4 c
Guerrero	H-516	49.5 abcd	46.1 ab	42.1 cd	4 ab	1.9 b	1.4 c
	VS-535	53.2 ab	44.7 ab	39.1 ef	2.8 i	1.8 c	1.3 d
	VS-558	49.3 abcd	44.9 ab	42.7 bcd	3.1 fghi	1.9 b	1.4 c
	V-559	44.8 cde	46.4 ab	41.2 cde	2.9 hi	1.8 c	1.4 c
	H-562	50.8 abcd	47.5 ab	40.9 cde	3.7 bc	1.9 b	1.5 b
	H-563	45.1 bcde	48.3 ab	41.3 cde	3.5 cde	1.9 b	1.4 c
Veracruz	H-520	52 abc	47.6 ab	45.3 ab	3.5 cde	2 a	1.5 b
	H-518	35.4 fg	49.9 a	46 a	4.2 a	2 a	1.6 a
	VS-536	43.2 def	44.6 ab	43.8 abc	3.3 efgh	1.9 b	1.5 b
Chiapas	H-561	44.6 cde	44.1 b	37.7 f	3.6 cde	1.8 c	1.5 b
DMS ( $\alpha=0.05$ )		8.4	5.5	2.9	0.4	0	0
Valores establecidos por la industria	Harina nixtamalizada	$\leq 30$	36-42		$\leq 5$		
	Masa-tortilla	$\geq 30$	44-48	$\geq 43$	$\leq 5$	$\geq 1.8$	$\geq 1.5$

PR= pericarpio retenido; HN= humedad del nixtamal; HT= humedad de la tortilla; PS= pérdida de sólidos; RM= rendimiento en maíz-masa; RTF= rendimiento en maíz-tortilla fría.

El resto de los maíces presentaron humedad de tortilla baja. Aguilar (2005) afirma que se requiere un valor 45% para obtener 1.5 kg de tortilla por kilogramo de maíz. En este sentido, la tortilla con mayor humedad (46%) fue el maíz H-518 de Veracruz, que proporcionó mayor rendimiento en maíz-masa (2) y maíz-tortilla (1.6), mientras que la tortilla con menor humedad (37.7%) fue el maíz H-561 de Chiapas, generando un rendimiento en maíz-masa de 1.8 y maíz-tortilla de 1.5.

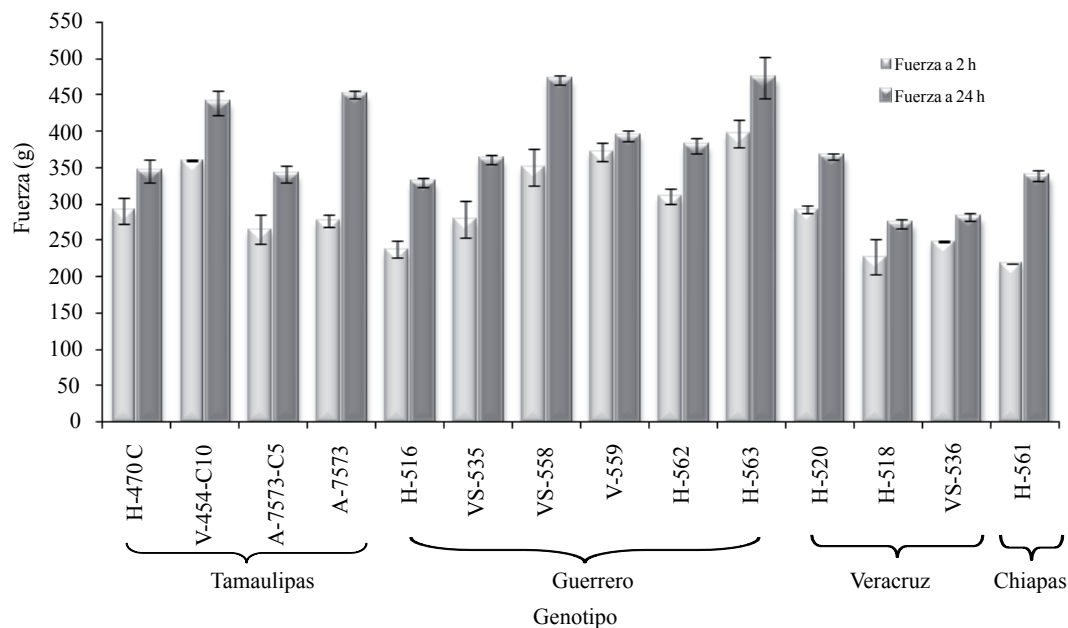
The rest of the corns showed a tortilla low humidity. Aguilar (2005) states that a value 45% is required to obtain a yield of 1.5 kg of tortilla per each kilogram of corn used. In this sense, the tortilla with more humidity (46%) was from the corn H-518 of Veracruz that also provided greater yield in corn-dough (2) and corn-tortilla (1.6), while the tortilla with smaller humidity (37.7%) was the one obtained from the corn H-561 of Chiapas, generating a yield in corn-dough of 1.8 and corn-tortilla of 1.5.

Cabe resaltar que algunos de los maíces analizados (A-7573-C5 y VS-535) a pesar de tener alta humedad en el nixtamal, no proporcionaron tortillas con alta humedad, esto condujo a rendimientos inferiores al valor de referencia de los industriales de la masa y la tortilla (1.5 kg de tortilla por 1 kg de maíz procesado con 12% de humedad promedio del grano).

La tendencia en la textura de las tortillas no fue clara respecto a la humedad de éstas, ya que se esperaría que aquellas con mayor humedad fueran de textura más suave; sin embargo, el caso particular de las tortillas elaboradas con el maíz de Chiapas no manifestó este comportamiento; no obstante, que fue la tortilla menos húmeda (37.7%) y fue la más suave durante las primeras horas, en comparación con el resto. Al transcurso de las 24 h, la textura de las tortillas se volvió más dura y rígida, aunque el maíz V-559 de Guerrero mostró un cambio poco severo en su dureza a través del tiempo, en cambio su elongación, que fuera la mayor de todas en las tortillas recién elaboradas, se vio afectada a las 24 h (Figuras 3 y 4).

It is necessary to inform that some of analyzed corns (A-7573-C5 and VS-535) in spite of having high humidity in nixtamal, they didn't provide tortillas with high humidity, this led to inferior yields to the value of reference for dough and tortilla industry (1.5 kg of tortilla per 1 kg of corn processed with a humidity average in the grain 12%).

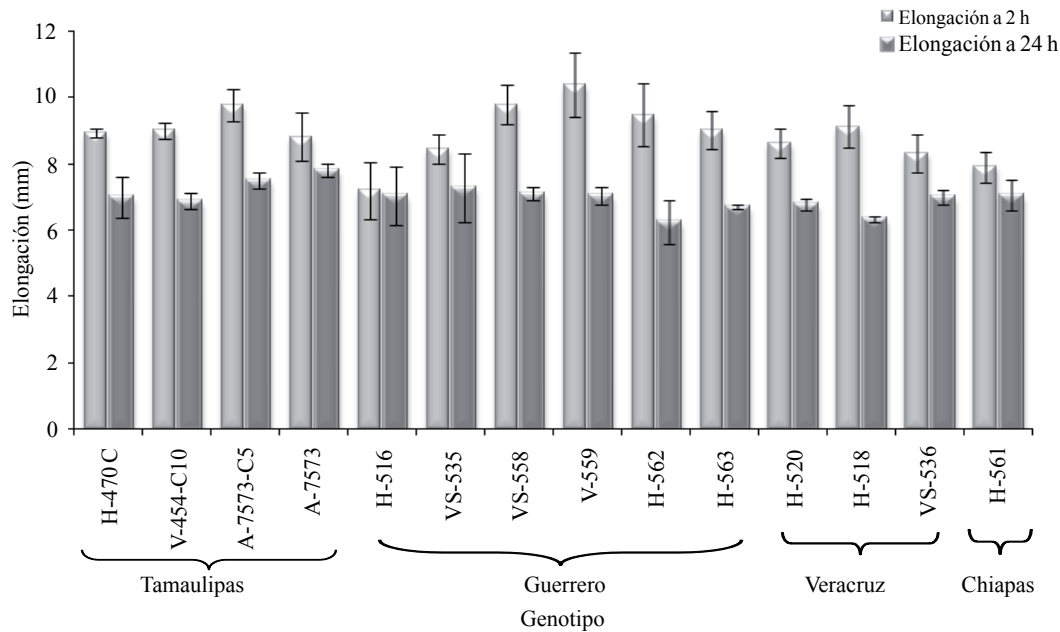
The tendency in the texture of tortillas was not clear regarding their humidity, since it would be expected that those with more humidity were of softer texture; however, the peculiar case of tortillas elaborated with corn of Chiapas didn't manifest this behavior; nevertheless that was the less humid tortilla (37.7%) and it was the softest during the first hours, in comparison with the rest. At the course of 24 h, the texture of the tortillas became harder and more rigid, although the corn V-559 of Guerrero showed a not very severe change in its hardness through time, on the other hand its elongation that was the bigger than all in the recently elaborated tortillas, it was affected at the 24 h (Figures 3 and 4).



**Figura 3. Dureza de las tortillas obtenidas de los maíces bajo estudio, expresada como fuerza a compresión.**  
**Figure 3. Hardness of the obtained tortillas of the corns under study, expressed as force to compression.**

Son diversos los trabajos publicados que abordan los aspectos de textura en tortillas de maíz (Martínez-Bustos *et al.*, 2001; Sánchez-Feria *et al.*, 2007), aunque en la mayoría de ellos se utiliza el mismo equipo (texture analyzer, TXXT2) y los parámetros de fuerza máxima de rompimiento y deformación,

There are diverse published works that approach the texture aspects in tortillas of corn (Martínez-Bustos *et al.*, 2001; Sánchez-Feria *et al.*, 2007), although in most of them the same device is used (texture analyzer, TXXT2) and the parameters of break maximum force and deformation,



**Figura 4. Elongación de las tortillas obtenidas de los maíces bajo estudio.**  
**Figure 4. Elongation of the obtained tortillas of the corns under study.**

elasticidad o elongación, para definir la textura (Suhendro *et al.*, 1998; Arámbula-Villa *et al.*, 2004), enninguno de estos se han establecido hasta ahora, los valores que debe presentar una tortilla para ser considerada como de buena calidad.

Se menciona que la tortilla no debe ser dura ni rígida o “tiesa”, pero la tortilla para tacos debe tener cierta resistencia que permita mantener su forma cuando se forme el taco con algún ingrediente alimenticio; por ejemplo, cuando se agrega carne y salsa debe estar suave al morderse. La tortilla para elaborar enchiladas y chilaquiles debe tener la textura diferente que para hacer tacos; por lo tanto, no se han establecido los valores de las variables que se utilizan comúnmente para medir esta importante propiedad de la tortilla que se asocian con estos parámetros.

Con respecto al color de las tortillas, la mayor luminosidad se encontró en los maíces de Chiapas, con un porcentaje de reflectancia a las dos horas de 95%, valor que denota blancura; siguen las de Guerrero que en promedio presentaron un valor de 80%, mientras que las de Veracruz fueron más oscuras desde su elaboración, con una reflectancia promedio de 77%; las de Tamaulipas mostraron un rango mayor en las tortillas a las dos horas de elaboradas (69% a 87% de reflectancia). Las tortillas elaboradas del maíz A-7573 cultivado en Tamaulipas fueron las de menor reflectancia debido a su tonalidad amarilla.

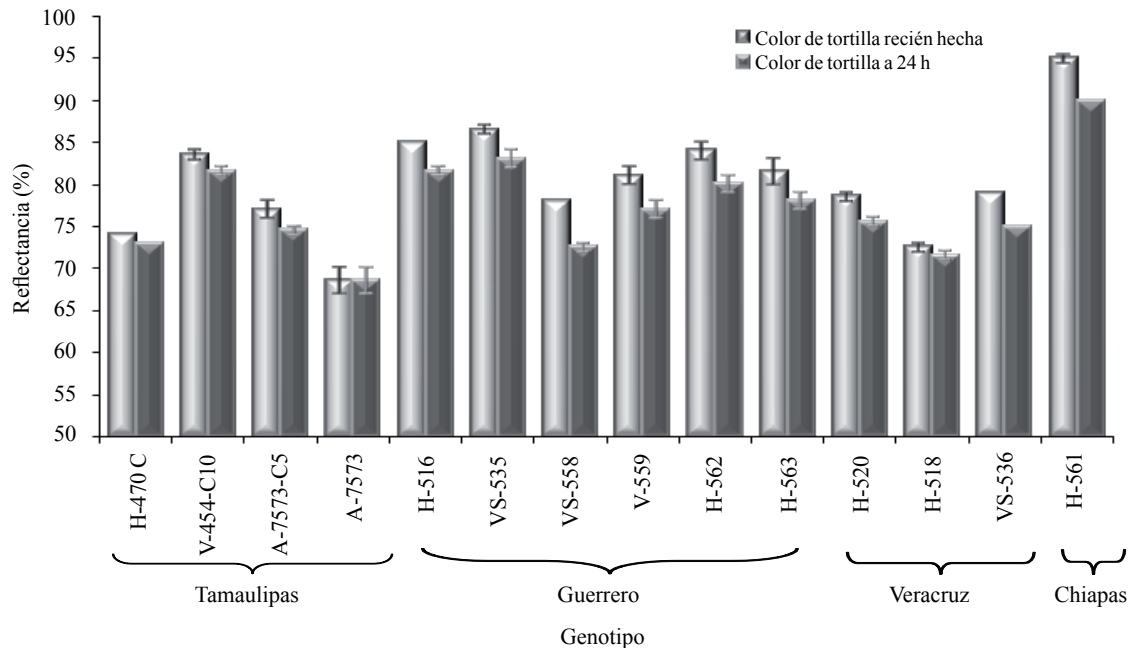
elasticity or elongation, to define the texture (Suhendro *et al.*, 1998; Arámbula-Villa *et al.*, 2004), up to now in none of these have been set the values that it should show a tortilla to be considered as of good quality.

It is mentioned that the tortilla should not be hard neither rigid or “tiesa”, but the tortilla for tacos should have certain resistance that allows to maintain its form when the taco is formed with some food ingredient; for example, when meat and sauce is added it should be soft when biting. The tortilla to elaborate enchiladas and chilaquiles should have the different texture than to make tacos; therefore, the values of the variables that are commonly used to measure this important property of the tortilla that are associated with these parameters have not been set.

With regard the color of tortillas, the greater brightness was in those from corn of Chiapas, with a reflectance percentage at two hours of 95%, value that denotes the whiteness of this material; then the following are those of Guerrero that on average showed a value 80%, while those of Veracruz were the darkest from their elaboration, with an average reflectance 77%; those of Tamaulipas showed a range of more variation in tortillas at two hours after elaboration (69% to 87% reflectance). The tortillas from corn A-7573 cultivated in Tamaulipas were of smaller reflectance due their yellow tonality.

A las 24 h se observó una mayor disminución en la reflectancia de las tortillas de Guerrero y Chiapas con relación a las de Tamaulipas, debido que en estas últimas dominó la tonalidad amarilla, que enmascara los cambios que puedan ocurrir en la determinación de reflectancia (Figura 5).

At 24 h a greater decrease was observed in reflectance of tortillas from Guerrero and Chiapas with respect to those of Tamaulipas, due that in these latter prevails yellow tonality, which masks the changes that can occur in reflectance determination (Figure 5).



**Figura 5. Color de las tortillas obtenidas de los maíces, expresado como porcentaje de reflectancia.**  
**Figure 5. Color of the obtained tortillas of the corns, expressed as reflectance percentage.**

En la Figura 6 se muestran los parámetros colorimétricos de  $a^*$  y  $b^*$ , donde se aprecia que la mayoría de las tortillas elaboradas con maíces de Tamaulipas, presentaron una tonalidad amarilla, dada por sus valores en  $b^*$  (amarillo a azul) que fueron mayores con relación al resto de las tortillas ( $> 21$ ); esta coloración es atribuida a la mayor retención de pericarpio, que se observó en el nixtamal de estos maíces después de su enjuague, con referencia a los maíces de Guerrero y Veracruz.

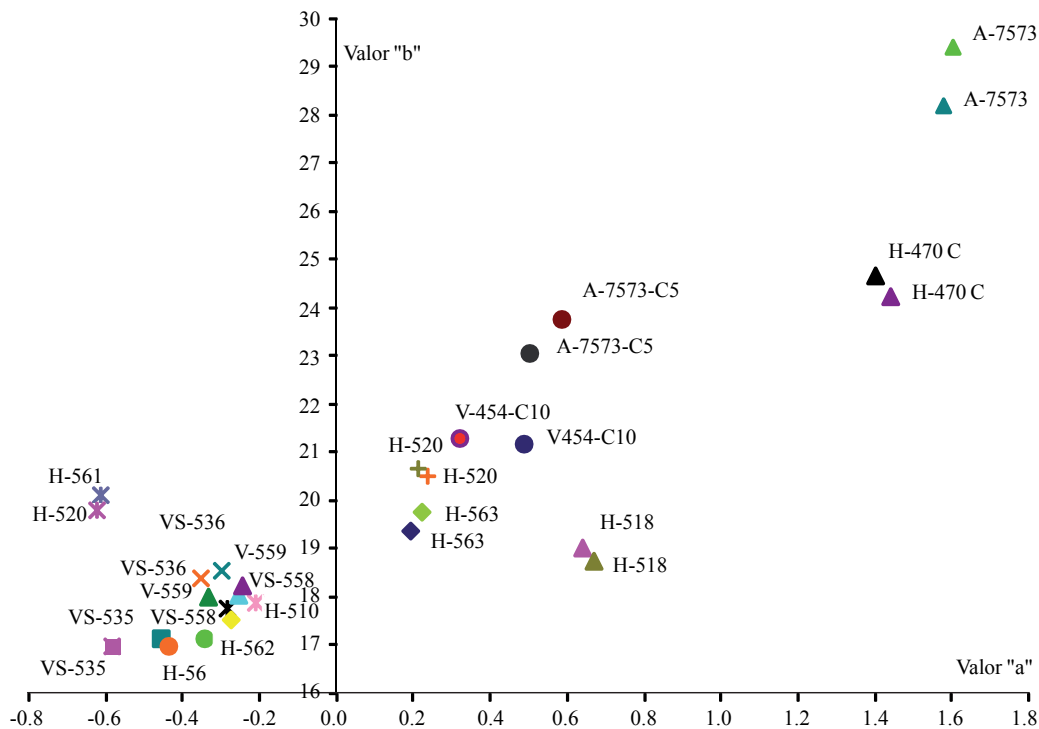
El pericarpio es la primera barrera para la entrada de iones  $Ca^{+2}$ ,  $H^{+1}$ , y  $OH^{-1}$  presentes en el agua de cocimiento al endospermo, durante la nixtamalización (Fernández-Muñoz *et al.*, 2004). En esta estructura están los fenoles insolubles del grano de maíz, como ácido ferúlico, que se encuentra en forma esterificada a los polisacáridos de la pared celular (Del Pozo-Insfran *et al.*, 2006). El ión  $OH^{-1}$  rompe el enlace éster que existe entre los monómeros y dímeros de ácido ferúlico y las heteroxilanas de la hemicelulosa y se obtienen fracciones de heteroxilanas con residuos de ácido ferúlico de coloración amarilla intensa.

In Figure 6 are shown colorimetric parameters of  $a^*$  and  $b^*$ , where it is appreciated that most of tortillas elaborated with corns of Tamaulipas, showed a yellow tonality, given by their values in  $b^*$  (yellow to blue) that were greater with relationship to rest of tortillas ( $> 21$ ); this coloration is attributed to higher pericarp retention, which was observed in nixtamal of these corns after its washing, with respect to corns of Guerrero and Veracruz.

The pericarp is the first barrier for insertion of ions  $Ca^{+2}$ ,  $H^{+1}$ , and  $OH^{-1}$  existent in cooking water to endosperm, during nixtamalization process (Fernández-Muñoz *et al.*, 2004). In this structure are concentrated the insoluble phenols of corn grain, mainly ferulic acid that is in esterified form to polysaccharides of cellular wall (Del Pozo-Insfran *et al.*, 2006). The  $OH^{-1}$  ion breaks ester bond that exists between the monomers and dimers of ferulic acid and heteroxylans of hemicellulose and heteroxylans fractions are obtained with residuals of ferulic acid of intense yellow coloration.

Nótese que las tortillas del maíz A-7573 se separan de las demás por presentar mayores valores de  $b^*$ , porque hace las tortillas más amarillas de todas las muestras analizadas y por tanto menos blancas (Figura 6). Las muestras de maíz de Tamaulipas fue el que mayor porcentaje de pericarpio retuvo (55%) después del enjuague con agua, durante el proceso de nixtamalización. Sin embargo, la muestra VS-535 de Guerrero, con un valor parecido (53.2%), mostró un tinte amarillo en sus tortillas muy por debajo del que se observó en A-7573. Estos resultados muestran la posible participación de los compuestos fenólicos del pericarpio en el tinte amarillo de las tortillas elaboradas a partir de maíces de grano blanco.

Notice that tortillas of corn A-7573 are different to the others due they show biggest values in  $b^*$ , because produces the most yellow tortillas in all analyzed samples and therefore less white (Figure 6). Between samples of Tamaulipas this corn was the one that bigger pericarp percentage retained (55%) after washing with water, during nixtamalization process. However, the sample VS-535 of Guerrero, with a similar value (53.2%), showed a yellow tint in their tortillas very below than observed in those of A-7573. These results show the possible participation of phenolic compounds of pericarp in yellow tint of tortillas elaborated from corns of white grain.



**Figura 6. Parámetros colorimétricos  $a^*$  y  $b^*$  de las tortillas obtenidas de los maíces bajo estudio.**  
**Figure 6. Parameters colorimetric  $a^*$  and  $b^*$  of obtained tortillas for corns under study.**

**CONCLUSIONES**

La mayoría de los maíces analizados posee características de calidad adecuadas para la industria de la masa y la tortilla. Particularmente, los maíces de Veracruz destacan por su buen rendimiento en los productos que comercializa esta industria.

**CONCLUSIONS**

Most of analyzed corns have characteristic of appropriate quality for dough and tortilla industry. Particularly, corns of Veracruz outstand by their good yield in products that this industry markets.



El maíz V-454-C10 del estado de Tamaulipas, satisface todos los requerimientos de calidad de la industria de harinas nixtamalizadas; el maíz H-561 de Chiapas, aunque no cumple con el porcentaje de endospermo vítreo, se aproxima mucho al valor requerido por lo que también puede ser considerado como adecuado para este fin. Estos resultados deben ser considerados teniendo en cuenta el efecto que el ambiente de producción tiene sobre la textura del endospermo y color del grano.

Los maíces blancos comerciales y en proceso de mejoramiento para liberación en áreas del trópico húmedo, son adecuados para la industria de la masa y la tortilla.

The corn V-454-C10 of State of Tamaulipas fulfill all quality requirements for nixtamalized flours industry; the corn H-561 of Chiapas, although it doesn't fulfill the percentage of vitreous endosperm, it approaches a lot to value required by what can also be considered as appropriate for this purpose. These results should be considered keeping in mind the effect that the production environment has on the texture of endosperm and color of the grain.

The commercial white corns and in process of improvement for release in areas of humid tropic, are suitable for dough and tortilla industry.

*End of the English version*

## AGRADECIMIENTOS

Las autoras(es) agradecen el apoyo del CONACYT a través del proyecto S0007-2005-1-12126 para la realización del presente trabajo.

## LITERATURA CITADA

- American Association of Cereal Chemists (AACC). 2000. Approved methods of the AACC. 10<sup>th</sup> edit. St. Paul MN. 425 p.
- Aguilar, M. L. 2005. Diferencias en el rendimiento en tortilla y su calidad respecto al tipo de endospermo del maíz (*Zea mays* L.). Tesis de Licenciatura. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo. 54 p.
- Antuna, G. O.; Rodríguez, H. S. A.; Arámbula, V. G.; Palomo, G. A.; Gutiérrez, A. E.; Espinoza, B. A.; Navarro, O. E. F. y Andrio, E. E. 2008. Calidad nixtamalera y tortillera en maíces criollos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 31(3):23-27.
- Arámbula-Villa, G.; Méndez-Albores, J. A.; González-Hernández, J.; Gutiérrez-Arias, E. and Moreno-Martínez, E. 2004. Evaluation of a methodology to determine texture characteristics of maize (*Zea mays* L.) tortilla. *Arch. Latinoamericanos Nutr.* 54(2):216-222.
- Bedolla, S. and Rooney, L. W. 1984. Characteristics of US and Mexican instant maize flours for tortilla and snack preparation. *Cereal Foods World.* 29:732-735.

- Del Pozo-Insfran, D.; Brenes, C. H.; Serna-Saldívar, S. O. and Talcott, T. S. 2006. Polyphenolic and antioxidant content of white and blue corn (*Zea mays* L.) products. *Food Res. Int.* 39:696-703.
- Fernández-Muñoz, J. L.; Rojas-Molina, I.; González-Dávalos, M. L.; Leal, M.; Valtierra, M. E.; Martín-Martínez, E. and Rodríguez, M. E. 2004. Study of calcium ion diffusion on components of kernels during traditional nixtamalization process. *Cereal Chem.* 81:65-69.
- Martínez-Bustos, F.; Martínez-Flores, H. E.; Martín-Martínez, E.; Sánchez-Sinencio, F.; Chang, Y. K.; Barrera-Arellano, D. and Ríos, E. 2001. Effect of the components of maize on the quality of masa and tortillas during the traditional nixtamalization process. *J. Sci. Food Agric.* 81(15):1455-1462.
- Morales, D. A. 2007. Comunicación personal. Jefe del Laboratorio Central de MASECA en Monterrey, Nuevo León, México.
- Rangel, M. E.; Muñoz, O. A.; Vázquez, C. G.; Cuevas, S. J.; Castillo, M. J. y Miranda, C. S. 2004. Nixtamalización, elaboración y calidad de tortilla de maíces de Ecatlán, Puebla, México. *Agrociencia.* 38:53-61.
- 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, B. F. y Gómez, E. J. 1992. Comparación de métodos para medir dureza del maíz (*Zea mays* L.). Arch. Latinoamericanos Nutr. 42(1):59-63.
- Salinas, M. Y. y Pérez, H. P. 1997. Calidad nixtamalera-tortillera en maíces comerciales de México. Rev. Fitotec. Mex. 20:121-136.
- Salinas, M. Y. 2004. Calidad de maíz para las industrias molinero-tortillera y de harinas nixtamalizadas. Primer congreso nacional de nixtamalización, del maíz a la tortilla. Querétaro, Querétaro, México. 5-9 pp.
- Salinas, M. Y. y Vázquez, C. G. 2006. Metodologías de análisis de la calidad nixtamalera-tortillera en maíz. INIFAP. Folleto técnico. Núm. 24. 98 p.
- Sánchez, F. C.; Salinas, M. Y.; Vázquez, C. M. G.; Velázquez, C. G. A. y Aguilar, G. N. 2007. Efecto de las prolaminas del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre la textura de la tortilla. Arch. Latinoamericanos Nutr. 57(3):295-301.
- Statistical Analysis System (SAS). 2002. For Windows. Versión 9. SAS Institute, Inc. Cary, N. C. USA.
- Saulnier, L. and Thibault, J. F. 1999. Ferulic acid and diferulic acids as components of sugar-beet pectins and maize bran heteroxilans. J. Sci. Food Agric. 79:396-402.
- Suhendro, E. L.; Almeida-Dominguez, H. D.; Rooney, L. W. and Waniska, R. D. 1998. Objective rollability method for corn tortilla texture measurement. Cereal Chem. 75:320-324.
- Watson, S. A. 2003. Description, development, structure and composition of the corn kernel. *In*: corn: chemistry and technology (White, P. J. and Johnson, L. A. eds). Second edition. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN. 69-106 pp.
- Yeverino, G. M.; Arteaga, M. G.; Gracia, V. Y. y González, T. M. 2007. Comparación de la calidad de la tortilla elaborada en autoservicios y en tortillerías. IX Congreso de Ciencia de los Alimentos y V Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad de Guanajuato. Memoria. 690-694 pp.