

# GENOTIPOS DE MAÍZ (*Zea mays* L.) CON DIFERENTE CONTENIDO DE ACEITE Y SU RELACIÓN CON LA CALIDAD Y TEXTURA DE LA TORTILLA

## OIL CONTENT IN MAIZE (*Zea mays* L.) GENOTYPES AND ITS RELATIONSHIP WITH QUALITY AND TEXTURE OF TORTILLA

María G. Vázquez-Carrillo<sup>1\*</sup>, David Santiago-Ramos<sup>1</sup>, Yolanda Salinas-Moreno<sup>1</sup>, Julio López-Cruz<sup>2</sup>, Ma Carmen Ybarra-Moncada<sup>2</sup>, Alejandro Ortega-Corona<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Calidad de Maíz, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Valle de México. Km. 13.5 Carretera Los Reyes-Textcoco. 56250. Coatlinchan, Textcoco, Estado de México. (gricelda\_vazquez@yahoo.com) (david\_san\_18@hotmail.com) (yolysamx@yahoo.com). <sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México-Textcoco. 56230. Chapingo, Estado de México. <sup>3</sup>Campo Experimental Valle del Yaqui, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Calle Dr. Norman E. Borlaug, Km. 12, Col. Valle del Yaqui, Cajeme, Sonora. 85000. Sonora, México.

### RESUMEN

La textura de las tortillas es un indicador fundamental de su calidad. La relación entre el contenido de aceite del grano de maíz (*Zea mays* L.) y la textura de las tortillas es poco conocida; sin embargo, la presencia del aceite mejora significativamente la firmeza y masticabilidad de este alimento. El objetivo del presente estudio fue evaluar la composición química del grano de maíces con contenido diferente de aceite y determinar la relación entre el contenido de aceite y la calidad y textura de las tortillas recién elaboradas y almacenadas durante 24, 48 y 72 h a 4 °C. En este estudio se usaron maíces con endospermo normal (MEN), con contenido alto de aceite (ACA) y de alta calidad proteínica (ACP). El diseño experimental fue completamente al azar con ocho tratamientos y dos repeticiones; con los datos se realizó un análisis de varianza y las medias se compararon con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). El análisis de los resultados muestra que los maíces ACA presentaron el porcentaje mayor de aceite ( $x=5.9$  %). Las tortillas elaboradas con los maíces ACA fueron de textura más suave y con mayor elongación recién elaboradas y durante el periodo de almacenamiento, respecto a los otros maíces; su contenido de lisina ( $x=3.13$  %) y triptófano ( $x=0.6075$  %) fue inferior a las tortillas de maíces ACP ( $x=3.98$  % y  $0.846$  %). La población amarilla (PAN) de ACA

### ABSTRACT

The texture of tortillas is a key indicator of their quality. The relationship between the oil content of corn (*Zea mays* L.) grain and the texture of tortillas is little known; however, the presence of oil significantly improves the strength and chewiness of this food. The aim of this study was to evaluate the chemical composition of grain corns with different oil content and determine the relationship between the oil content and the quality and texture of freshly prepared and stored tortillas for 24, 48 and 72 h at 4 °C. In this study normal endosperm corns (MEN), and corns with high oil content (ACA) and high protein quality (ACP) were used. The experimental design was completely randomized with eight treatments and two replications; the data was used to carry out an analysis of variance and means were compared with the Tukey's test ( $p \leq 0.05$ ). The analysis of the results shows that ACA corns had the highest percentage of oil ( $x=5.9$  %). Tortillas made with ACA corns had softer texture and large elongation when they are freshly prepared and during the storage period than the rest of the corns; their lysine content ( $x=3.13$  %) and tryptophan ( $x=0.6075$  %) was lower than tortillas of ACP corns ( $x=3.98$  % and  $0.846$  %). The yellow population (PAN) of ACA stood out for its high oil content in tortillas and softness. All genotypes fulfill the requirements of the masa and tortilla industry.

\*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: mayo, 2013. Aprobado: febrero, 2014.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 48: 159-172. 2014.

**Key words:** grain quality, protein quality, elongation, lipids, *Zea mays* L.

**destacó por su contenido alto de aceite y suavidad de las tortillas. Todos los genotipos cumplen los requerimientos de la industria de la masa y la tortilla.**

**Palabras clave:** calidad de grano, calidad proteínica, elongación, lípidos, *Zea mays* L.

## INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el cereal de producción mundial mayor; en México, de 2009 a 2012 se produjeron y consumieron, en promedio, 21 y 29 millones t año<sup>-1</sup> (USDA, 2013). En México, 91.4 % de la producción de maíz es maíz blanco, 8.0 % maíz amarillo y 0.6 % maíces de diferentes colores y palomeros (SIAP, 2013). El principal destino del maíz en México es la elaboración de alimentos tradicionales, principalmente tortillas, de las cuales las blancas son preferidas; pero ha aumentado el consumo de tortillas de maíz amarillo y azul debido a su contenido de compuestos antioxidantes (Utrilla-Coello *et al.*, 2009; Mendoza-Díaz *et al.*, 2012). En México, la tortilla es el segundo producto más importante en la canasta básica de consumo y se calcula que en 2010 el consumo diario por persona en las zonas rurales fue 217.9 g, y en las zonas urbanas 155.4 g, lo que refleja la importancia de este producto en la alimentación de la población (SE-DGIB, 2012).

La textura de las tortillas es un indicador fundamental de su calidad; los consumidores prefieren tortillas suaves por lo que la industria busca mejorar esta variable para cumplir con esta exigencia (Gasca-Mancera y Casas-Alencáster, 2007; Platt-Lucero *et al.*, 2012). La influencia del tipo de endospermo del maíz sobre la textura de las tortillas fue estudiada por Osorio-Díaz *et al.* (2011) y encontraron que los maíces con endospermo duro o vítreo producen tortillas con una textura más rígida que las elaboradas con maíces de endospermo harinoso y dureza intermedia. La calidad y textura de las tortillas es afectada por los componentes del pericarpio y el germen (Martínez-Bustos *et al.*, 2001), las prolaminas (Sánchez *et al.*, 2007) y por la relación amilosa-amilopectina (Salinas *et al.*, 2003).

La relación entre el contenido de aceite del grano de maíz y la textura de las tortillas es poco conocida. Al respecto, la firmeza y masticabilidad de las tortillas mejoró significativamente en aquellas cuyo

## INTRODUCTION

Maize (*Zea mays* L.) is the world's largest cereal production; in Mexico, from 2009 to 2012, 21 and 29 million t year<sup>-1</sup>, were on average produced and consumed (USDA, 2013). In Mexico, 91.4 % of corn production is white corn, 8.0 % yellow corn and 0.6 % corn of different colors and popcorns (SIAP, 2013). The main destination of corn in Mexico is preparing traditional foods, mainly tortillas, which are preferred white, but the consumption of yellow and blue corn tortillas has increased due to their content of antioxidant compounds (Utrilla-Coello *et al.*, 2009; Mendoza-Díaz *et al.*, 2012). In Mexico, the tortilla is the second largest product in the basic basket of consumer and it is estimated that in 2010 the daily consumption per person in rural areas was 217.9 g, and 155.4 g in urban areas, reflecting the importance of this product in feeding the population (SE-DGIB, 2012).

The texture of tortillas is a key indicator of their quality, consumers prefer soft tortillas so the industry seeks to improve this variable to fulfill this requirement (Gasca-Mancera and Casas-Alencáster, 2007; Platt-Lucero *et al.*, 2012). The influence of the corn endosperm type on the texture of tortillas was studied by Osorio-Díaz *et al.* (2011) and found that corns with hard or vitreous endosperm produce tortillas with a stiffer texture than those made with corns of floury endosperm and intermediate hardness. The quality and texture of tortillas is affected by the components of the pericarp and germ (Martínez-Bustos *et al.*, 2001), prolamins (Sánchez *et al.*, 2007) and the amylose-amylopectin ratio (Salinas *et al.*, 2003).

The relationship between oil content of corn grain and texture of tortillas is little known. In this regard, firmness and chewiness of tortillas was significantly improved in those whose oil content was 4.3-4.4 % compared with those containing less 2 % of oil (Vidal-Quintanar *et al.*, 2001) and, furthermore, the physicochemical characteristics and texture of tortillas were better with the addition of 0.5 % of non-polar lipids to the nixtamalized corn flour (Arámbula-Villa *et al.*, 2001). The oil reduces starch retrogradation and increases the shelf life of the product due to the formation of the amylose-lipid complex (Putseys *et al.*, 2010), which was found in bakery products where the addition of certain

contenido de aceite fue 4.3-4.4 %, comparado con las que contenían menos de 2 % de aceite (Vidal-Quintanar *et al.*, 2001) y, además, las características fisicoquímicas y de textura de las tortillas fueron mejores con la adición de 0.5 % de lípidos no polares a la harina de maíz nixtamalizada (Arámbula-Villa *et al.*, 2001). El aceite disminuye la retrogradación del almidón e incrementa la vida de anaquel del producto debido a la formación del complejo amilosa-lípidos (Putseys *et al.*, 2010), lo cual se observó en productos de panificación donde la adición de ciertos lípidos o surfactantes modifica la textura y prolonga la vida de anaquel del pan (Biliaderis, 1991; Eliasson y Wahlgren, 2004).

Los lípidos se pueden transformar mediante los procesos de rancidez hidrolítica y rancidez oxidativa, en compuestos que afectan la calidad de las harinas y las tortillas; sin embargo, es posible prevenir esas reacciones indeseables mediante el uso de aditivos, ácidos y antioxidantes principalmente (Rollow, 2002; Martínez-Flores *et al.*, 2004; Shobha *et al.*, 2011). Adicionalmente, el acomplejamiento de los lípidos con la amilosa y otros compuestos, la alta actividad de agua de las tortillas, el pH alcalino y el almacenamiento en refrigeración constituyen una barrera para el deterioro de los lípidos (Lehtinen, 2003).

En 2004, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), con sede en el CIRNO-CENEB, Ciudad Obregón, Sonora, inició un proyecto de mejoramiento genético con el propósito de generar maíces con contenido alto de aceite (7-8 %), mediante una selección recurrente por medios hermanos en varias poblaciones de maíz (Preciado-Ortiz *et al.*, 2013). El objetivo del presente estudio fue evaluar la calidad y composición química del grano de maíces con diferente contenido de aceite y determinar la relación entre el contenido de aceite y la calidad y textura de las tortillas recién elaboradas y durante su almacenamiento a 4 °C.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Germoplasma

Las muestras del estudio se produjeron en el ciclo de cultivo primavera-verano 2009, en dos campos experimentales del INIFAP (Cuadro 1). En el campo experimental Valle del Yaqui

lipids or surfactants changes the texture and prolongs the shelf life of bread (Biliaderis, 1991; Eliasson and Wahlgren, 2004).

The lipids can be transformed, by the processes of hydrolytic rancidity and oxidative rancidity, in compounds which affect the quality of the flour and tortillas; however, it is possible to prevent those undesirable reactions by using additives, acids and mainly antioxidants (Rollow, 2002; Martínez-Flores *et al.*, 2004; Shobha *et al.*, 2011). Additionally, lipid complexes with amylose and other compounds, the high water activity of tortillas, the alkaline pH and the storage in refrigeration compose a barrier to deterioration of lipids (Lehtinen, 2003).

In 2004, the National Research Institute of Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP) located in CIRNO-CENEB, Ciudad Obregon, Sonora, began a breeding project with the purpose of generating corns with high-oil (7-8 %) content, using a half sib recurrent selection method in various populations of corn (Preciado-Ortiz *et al.*, 2013). The purpose of this study was to evaluate the quality and chemical composition of grain corns with different oil content and determining the relationship between the oil content and the quality and texture of freshly made tortillas and during storage at 4 °C.

## MATERIALS AND METHODS

### Germplasm

Samples studied were produced in the crop cycle spring-summer 2009 in two experimental fields of the INIFAP (Table 1). In the experimental field Valley of Yaqui in Ciudad Obregon, Sonora, the climate is warm subtropical arid, annual average temperature of 31.0 °C and average annual rainfall of 277 mm; the planting density used was 65 000 plants ha<sup>-1</sup> under irrigation conditions and fertilization of 250N-100P-00K. The experimental field Cotaxtla, Veracruz, has a warm humid climate with annual average temperature of 25 °C and precipitation of 1400 mm, the planting density was 62 500 plants ha<sup>-1</sup> under rainfed conditions and fertilization of 161N-46P-00K.

### Physical and chemical analyses

The evaluated variables were the flotation index (IF) (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2011) and the percentage of germ in grain (Salinas and Vazquez, 2006); in whole grain and tortilla

**Cuadro 1. Identificación de los genotipos utilizados en el estudio.**  
**Table 1. Identification of genotypes used in this study.**

Genotipo	Tipo <sup>†</sup>	Color	Procedencia
H-431	HEN	Blanco	Cd. Obregón, Sonora
HAzul	HEN	Azul	Cd. Obregón, Sonora
PBN (Población Blanca del Noroeste)	ACA	Blanco	Cd. Obregón, Sonora
PBB (Población Blanca de Bajío)	ACA	Blanco	Cd. Obregón, Sonora
PAN (Población Amarilla del Noroeste) <sup>‡</sup>	ACA	Amarillo	Cd. Obregón, Sonora
PAB (Población amarilla de Bajío)	ACA	Amarillo	Cd. Obregón, Sonora
H-519C	ACP	Blanco	Cotaxtla, Veracruz
V-556AC	ACP	Amarillo	Cotaxtla, Veracruz

<sup>†</sup>HEN: Híbrido de endospermo normal; ACA: Genotipos con alto contenido de aceite; ACP: Genotipos de alta calidad proteínica. <sup>‡</sup>La población PAN es portadora del gene Opaco-2, promotor de niveles altos de lisina y triptófano. <sup>§</sup>HEN: Hybrid of normal endosperm; ACA: Genotypes with high oil content; ACP: Genotypes of high protein quality. <sup>¶</sup>PAN population is carrier of the gene Opaco-2, promoter of high levels of lysine and tryptophan.

en Ciudad Obregón, Sonora, el clima es subtropical árido cálido, temperatura media anual de 31.0 °C y precipitación media anual de 277 mm; la densidad de siembra fue de 65 000 plantas ha<sup>-1</sup>, en condiciones de riego y fertilización de 250N-100P-00K. El campo experimental de Cotaxtla, Veracruz, presenta clima cálido húmedo, con temperatura media anual de 25 °C y precipitación de 1400 mm; la densidad de plantación fue 62 500 plantas ha<sup>-1</sup> bajo condiciones de secano y fertilización de 161N-46P-00K.

#### Análisis físicos y químicos

Las variables evaluadas fueron el índice de flotación (IF) (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2011) y el porcentaje de germen en grano (Salinas y Vázquez, 2006); en grano entero y tortilla se analizó el contenido de proteína por el Método 46-11 (AACC, 2000), lisina, triptófano y almidón con las metodologías de Galicia *et al.* (2012) y aceite por el Método 7.044 (AOAC, 1990).

#### Calidad de nixtamal y tortillas

La nixtamalización consistió en la cocción de 100 g de maíz con 0.7 g de Ca(OH)<sub>2</sub> y 200 mL de agua, y el tiempo de nixtamalización se asignó de acuerdo con el IF: IF=0-12 % 45 min, IF=13-38 % 40 min, IF=39-62 % 35 min, IF=63-87 % 30 min, IF=88-100 % 25 min. Al finalizar el cocimiento el grano reposó 16 h, luego se lavó con 200 mL de agua y se molió en un molino de piedras hasta obtener una masa de textura fina (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2011). La elaboración de las tortillas, la evaluación del porcentaje de sólidos en nejayote (agua de cocción) y el pericarpio retenido en el nixtamal se realizó de acuerdo con los métodos descritos por Salinas y Vázquez (2006).

the protein content was analyzed by Method 46-11 (AACC, 2000), lysine, tryptophan and starch with the methodologies of Galicia *et al.* (2012) and oil by the Method 7.044 (AOAC, 1990).

#### Quality of nixtamal and tortillas

Nixtamalization consisted of cooking 100 g of corn with 0.7 g of Ca(OH)<sub>2</sub> and 200 mL of water, and the time of nixtamalization was assigned according to the IF: IF=0-12 % 45 min, IF=13-38 % 40 min, IF=39-62 % 35 min, IF=63-87 % 30 min, IF=88-100 % 25 min. At the end of the cooking the grain steeped 16 h, then washed with 200 mL of water and ground in a stone mill to obtain a mass of fine texture (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2011). The preparation of tortillas, the assessment of solids percentage in nejayote (cooking water) and the retained pericarp in the nixtamal was performed according to the methods described by Salinas and Vázquez (2006). The tortillas were cooled in cloth napkins and stored in polyethylene bags until evaluation. In freshly prepared tortillas (2 h) and stored 24, 48 and 72 h at 4 °C, moisture was determined by the method 44-10 (AACC, 2000) and the maximum breaking force by tension and elongation was measured with the texturometer Brookfield® (Model CT3, Middleboro, MA, USA) with the methodology proposed by Arámbula-Villa *et al.* (2004).

#### Statistical analysis

The experimental design was completely randomized with eight treatments and all evaluations were made with two replications. With the results an analysis of variance was performed, the means were compared with the Tukey test (DSH,

Las tortillas se enfriaron en servilletas de tela y se guardaron en bolsas de polietileno para su evaluación. En tortillas recién elaboradas (2 h) y almacenadas 24, 48 y 72 h a 4 °C, se determinó humedad por el método 44-10 (AACC, 2000), y la fuerza máxima de rompimiento por tensión y elongación se midió con el texturómetro Brookfield® (Modelo CT3, Middleboro, MA, USA).

#### Análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente aleatorizado, con ocho tratamientos y todas las evaluaciones se hicieron con dos repeticiones. Con los resultados se realizó un análisis de varianza, se compararon las medias con la prueba de Tukey (DSH;  $p \leq 0.05$ ) y se efectuó un análisis de correlación simple utilizando SAS para Windows, versión 9.0.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Características físicas y composición química del grano

Diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre maíces se observaron en las características físicas del grano y su composición química (Cuadro 2). Los maíces ACA tuvieron dureza mayor y el HAzul fue el más suave (Cuadro 2). Salinas *et al.* (2010) reportan que el maíz blanco para elaboración de

$p \leq 0.05$ ) and a simple correlation analysis was performed using SAS for Windows, version 9.0.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Physical characteristics and chemical composition of the grain

Highly significant differences ( $p \leq 0.01$ ) among corns in the grain physical characteristics and chemical composition (Table 2) were observed. Corns ACA were those of greater hardness, and the HAzul was the softest (Table 2). Salinas *et al.* (2010) report that white maize for making tortillas, with the traditional method, must have an  $IF \leq 50$  %, limit that fulfill all genotypes evaluated. In the grain, the oil is mainly in the germ and when its size increases, so does the oil content and improves the protein quality due to the fact it is composed mainly of albumins and globulins with good balance of amino acids (Lambert *et al.*, 1998). The percentage of germ in grain did not change ( $p > 0.05$ ) in the ACA, ACP and H-431 corns (Table 2), and was similar to the results reported by Billeb and Bressani (2001) and Vázquez *et al.* (2012) for normal endosperm corns and ACP. The HAzul hybrid had the lowest percentage of germ (Table 2). In the same year of assessment, the same genotypes grown in Celaya, Guanajuato,

**Cuadro 2. Características físicas y químicas de maíces con diferente contenido de aceite.**  
**Table 2. Physical and chemical characteristics of corns with different oil content.**

Genotipo	IF <sup>†</sup> (%)	Dureza <sup>‡</sup>	Germen	Aceite <sup>§</sup>	Proteína <sup>§,¶</sup>	Almidón <sup>§</sup>
H-431	21 b	D	11.7 a	4.5 de	12.2 b	72.1 ab
HAzul	44 a	I	10.1 b	4.9 cd	12.8 a	67.5 b
PBN	12 c	MD	11.6 a	5.5 b	13.1 a	70.4 ab
PBB	13 c	D	12.0 a	5.8 b	11.0 c	71.0 ab
PAN	13 c	D	12.0 a	6.7 a	12.0 b	69.9 ab
PAB	13 c	D	11.2 ab	5.1 c	13.0 a	67.5 b
H-519C	20 b	D	12.0 a	4.6 de	9.8 d	73.4 a
V-556AC	20 b	D	11.7 a	4.4 e	9.4 e	74.3 a
DSH <sup>¶</sup>	1.71		1.13	0.32	0.28	4.71

<sup>†</sup>IF: Índice de flotación. <sup>‡</sup>MD: muy duro si IF=0-12 %; D: duro si IF=13-37 %; I: intermedio si IF=38-62 %. <sup>§</sup>A base seca; <sup>¶</sup>N×6.25; <sup>¶</sup>DSH: diferencia significativa honesta. Medias con letras diferentes en cada columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ) ❖ <sup>†</sup>IF: flotation index. <sup>‡</sup>MD: very hard if IF=0-12 %; D: hard if IF=13-37 %; I: intermediate if IF=38-62 %. <sup>§</sup>A dry basis; <sup>¶</sup>N×6.25; <sup>¶</sup>DSH: honest significant difference. Means with different letters in each column are statistically different ( $p \leq 0.05$ ).

tortillas con el método tradicional, debe tener un  $IF \leq 50$  %, límite que mantuvieron todos los genotipos evaluados. En el grano de maíz, el aceite se encuentra principalmente en el germen, y cuando su tamaño incrementa, también aumenta el contenido de aceite y mejora la calidad de la proteína debido a que está constituido principalmente por albúminas y globulinas con un balance adecuado de aminoácidos (Lambert *et al.*, 1998). El porcentaje de germen en grano fue similar ( $p > 0.05$ ) en los maíces ACA, ACP y H-431 (Cuadro 2), y a los reportados por Billeb y Bressani (2001) y Vázquez *et al.* (2012) para maíces de endospermo normal y ACP. El híbrido HAzul presentó el porcentaje menor de germen (Cuadro 2). En el mismo año de evaluación, los mismos genotipos cultivados en Celaya, Guanajuato, presentaron un contenido de germen mayor en PAB, similar en PAN y menor en PBB y PBN (Preciado-Ortiz *et al.*, 2013), respecto a los encontrados en este estudio; estas diferencias se atribuyen al efecto de la interacción genotipo-ambiente. No se encontró relación entre el contenido de aceite en grano y la proporción de germen.

Los maíces ACA exhibieron los porcentajes mayores de aceite ( $\bar{X} = 5.8$  %) y destacó la PAN (Cuadro 2) cuyo contenido fue semejante a lo informado por White y Weber (2003) para maíces ACA. El siguiente genotipo con el mayor contenido de aceite fue HAzul, y el contenido menor de aceite fue para H-431 y los maíces ACP (Cuadro 2). Estos resultados son superiores a los reportados por Vázquez *et al.* (2011) de un contenido promedio de aceite de 4.9 % para maíces criollos y 3.5 % para híbridos.

Los granos de maíces ACP mostraron un contenido de proteína estadísticamente inferior al de los otros genotipos. El contenido mayor de proteína en el grano fue para los maíces ACA, H-431 y HAzul. Entre los maíces ACA destacaron PBN y PAB por su contenido alto de proteína (mayor a 13.0 %), y estos resultados pueden atribuirse al tamaño mayor del germen, lo que también aumenta el contenido de proteína (White y Weber, 2003), o bien a la concentración mayor de zeínas en el endospermo, lo que explica la dureza del grano, ya que de acuerdo con Kljak *et al.* (2011) estas proteínas están íntimamente relacionadas con la vitreosidad y dureza del grano. Según Vázquez *et al.* (2012), el contenido de proteína depende en gran medida de la interacción genotipo-

presented a higher content of germ in PAB, similar in PAN and lower in PBB and PBN (Preciado-Ortiz *et al.*, 2013), with respect to those found in this study; these differences are attributed to the effect of the genotype-environment interaction. No relationship between oil content in grain and the proportion of germ was found.

The ACA corns exhibited the highest percentages of oil ( $\bar{X} = 5.8$  %), highlighting the PAN (Table 2) whose content was similar to that reported by White and Weber (2003) for ACA corns. The following genotype with the highest oil content was the HAzul, and the H-431 and ACP corns were the genotypes with the lowest oil content (Table 2). These results are superior to those reported by Vazquez *et al.* (2011) of an average oil content of 4.9 % for landraces and 3.5 % for hybrids.

The ACP corn grains showed a protein content statistically lower than those of other genotypes. The higher protein content in grain was for ACA, H-431 and HAzul corns. Among ACA corns PBN and PAB were outstanding for their high protein content (greater than 13.0 %), and these results may be attributable to a larger size of the germ, which also increases the content of protein (White and Weber, 2003), or to a higher concentration of zeins in the endosperm, which explains the grain hardness, which according to Kljak *et al.* (2011) these proteins are closely related with vitreousness and grain hardness. According to Vázquez *et al.* (2012), protein content depends largely on the genotype-environment interaction; the highest protein content in ACA and normal endosperm hybrids regarding the ACP is due to the higher dose of fertilizer with nitrogen applied to the first ones during their cultivation.

The starch content was higher in the ACP corns (Table 2). The lower starch content of ACA corns is because for every 1 % of increase in oil, starch is reduced by 1.25 % (Dudley and Lambert, 1992). The low starch content of genotypes of normal endosperm respect the ACPs is due to the fact that at higher population densities starch content is reduced because the ability to increase the endosperm is limited and the number of cells and the starch granules formed is reduced (Vázquez *et al.*, 2013). Additionally, high temperatures during the crop development influenced the accumulation of this component in the genotype HAzul. The genotype H-431 is drought tolerant so it was only affected by planting density.

ambiente; el contenido mayor de proteína en los híbridos ACA y de endospermo normal respecto a los ACP se debe a la dosis mayor de fertilización con nitrógeno aplicada a los primeros durante su cultivo.

El contenido de almidón fue mayor en los maíces ACP (Cuadro 2). El contenido menor de almidón de los maíces ACA obedece a que por cada 1 % de aumento en aceite, el almidón se reduce 1.25 % (Dudley y Lambert, 1992). El contenido bajo de almidón de los genotipos de endospermo normal respecto de los ACP se debe a que a mayores densidades de población se reduce el contenido de almidón debido a que se limita la capacidad de crecimiento del endospermo y se reduce el número de células y los gránulos de almidón formados (Vázquez *et al.*, 2013). Adicionalmente, las temperaturas altas durante el desarrollo del cultivo influyeron en la acumulación de este componente en el genotipo HAzul. El genotipo H-431 es resistente a la sequía por lo que sólo fue afectado por la densidad de plantación.

Las correlaciones entre aceite y proteína ( $r=0.33$ ), aceite y almidón ( $r=-0.39$ ) y almidón y proteína ( $r=-0.84^{**}$ ), son semejantes a las informadas por Dudley y Lambert (1992). Esto implica que durante el mejoramiento genético con énfasis en la mayor producción de aceite, el contenido de almidón se puede reducir.

### Contenido de aceite, proteína y almidón de tortillas

Diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) se detectaron entre maíces en el contenido de aceite, almidón y proteína en las tortillas. El proceso de nixtamalización y la elaboración de las tortillas indujo pérdidas de aceite desde 18.2 hasta 40.3 %, valores menores a los informados por Almeida-Domínguez *et al.* (1998). Los maíces ACA presentaron la pérdida mayor de aceite, pero sus tortillas tuvieron contenido mayor de aceite respecto a las de los otros maíces. Los maíces ACP tuvieron las menores pérdidas (Cuadro 3).

Las pérdidas se atribuyen a la hidrólisis de los lípidos en la solución alcalina, lo cual favorece su solubilización en el nejayote, o bien, pueden reaccionar con el ion calcio formando materiales insaponificables que no pueden ser extraídos eficientemente con los solventes usados, por lo que sus contenidos en las tortillas se reducen significativamente

The correlations between oil and protein ( $r=0.33$ ), oil and starch ( $r=-0.39$ ) and starch and protein ( $r=-0.84^{**}$ ), are similar to those reported by Dudley and Lambert (1992). This implies that during the genetic improvement with emphasis on increased production of oil, the starch content can be reduced.

### Oil, protein and starch content of tortillas

There were highly significant differences ( $p \leq 0.01$ ) among corns in oil, starch and protein content in tortillas. The nixtamalization process and the preparation of tortillas induced oil losses from 18.2 to 40.3 %, values lower than those reported by Almeida-Domínguez *et al.* (1998). The ACA corns had the largest oil loss, but their tortillas were those of highest oil content with respect to the other corns. The ACP corns had the lowest losses (Table 3).

The losses are attributed to the hydrolysis of lipids in the alkaline solution, which favors their solubilization in the nejayote or can react with the calcium ion forming unsaponifiable materials that cannot be removed efficiently with the solvents used, so their contents in tortillas are significantly

**Cuadro 3. Contenido de aceite, proteína y almidón de las tortillas de maíces con diferente contenido de aceite.**  
**Table 3. Oil, protein and starch content of tortillas of corns with different oil content.**

Genotipo	Aceite <sup>†</sup>	Proteína <sup>†, §</sup>	Almidón <sup>†</sup>
	%		
H-431	3.2 d	9.7 c	75.1 bc
HAzul	3.8 bc	11.9 a	76.9 a
PBN	4.2 a	9.7 c	75.6 ab
PBB	3.9 ab	10.5 b	74.9 bc
PAN	4.0 ab	11.6 a	70.9 d
PAB	4.0 ab	9.8 c	73.7 c
H-519C	3.6 c	10.3 b	75.0 bc
V-556AC	3.6 c	8.8 d	75.9 ab
DSH <sup>§</sup>	0.23	0.47	1.63

<sup>†</sup>A base seca; <sup>§</sup>N×6.25; <sup>§</sup>DSH: diferencia significativa honesta. Medias con letras diferentes en cada columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ) ❖ <sup>†</sup>A dry basis; <sup>§</sup>N×6.25; <sup>§</sup>DSH: honest significant difference. Means with different letters in each column are statistically different ( $p \leq 0.05$ ).

(Martínez-Flores *et al.*, 2006). Las tortillas de maíces ACA presentaron, en promedio 4.03 % de aceite y las de maíz ACP 3.6 %, valores superiores a los reportados por Vázquez *et al.* (2012) para maíces de Valles Altos.

Las tortillas de los maíces HAZul y PAN mostraron contenido de proteína estadísticamente superior a los otros genotipos (Cuadro 3); en los demás maíces la proteína se redujo por efecto de la transformación a tortillas. Los genotipos PBN y PAB, ambos ACA, tuvieron la pérdida mayor (3.3 %) de proteína. Durante la transformación de grano a tortilla se observó un aumento significativo en el contenido de almidón debido a la concentración de compuestos al perderse principalmente pericarpio durante la nixtamalización. Las tortillas con menos incremento de almidón fueron las de maíces ACP y PAN, en tanto que en las de HAZul el almidón aumentó en 9.4 %, lo cual se asocia con la mayor pérdida de pericarpio del nixtamal (Cuadro 5).

#### Contenido de lisina y triptófano en grano y tortilla

Los genotipos ACP tuvieron el contenido mayor de lisina y triptófano en el grano y las tortillas (Cuadro 4). En los maíces ACP y HEN los contenidos de lisina y triptófano están acordes con lo informado por Ortega *et al.* (1986) y Vázquez *et al.*

reduced (Martínez-Flores *et al.*, 2006). ACA corn tortillas had on average 4.03 % of oil and those of ACP corn 3.6 %, higher values than those reported by Vázquez *et al.* (2012) for corns of highland Valleys.

In tortillas, the HAZul and PAN corns showed statistically a protein content superior to the other genotypes (Table 3), in the rest of the corns protein was reduced by effect of the transformation from corn to tortillas. The genotypes PBN and PAB, both ACA had the largest (3.3 %) loss of protein. During the transformation from grain to tortillas a significant increase was observed in the content of starch due to concentration of compounds to be lost mainly pericarp during nixtamalization. Tortillas with less increase of starch were those of ACP and PAN corns, whereas in those of HAZul starch increased 9.4 %, which is associated with greater loss of nixtamal pericarp (Table 5).

#### Lysine and tryptophan content in grain and tortilla

The ACP genotypes had the largest content of lysine and tryptophan in grain and tortilla (Table 4). In corns ACP and HEN contents of lysine and tryptophan are consistent with those reported by Ortega *et al.* (1986) and Vázquez *et al.* (2012). ACA corns have high protein quality (higher content of

**Cuadro 4. Lisina y triptófano en grano y tortilla de seis genotipos de maíz de endospermo normal y dos de alta calidad proteínica.**

**Table 4. Lysine and tryptophan in grain and tortilla of six genotypes of normal endosperm corn and two of high-quality protein.**

Genotipo	Triptófano (g 100 g proteína <sup>-1</sup> )		Lisina (g 100 g proteína <sup>-1</sup> )	
	Grano entero	Tortillas	Grano entero	Tortillas
H-431	0.635 d	0.551 d	2.739 c	2.471 d
H-Azul	0.699 c	0.552 d	2.807 c	3.048 c
PBN	0.611 d	0.554 d	3.421 b	3.102 c
PBB	0.703 c	0.552 d	3.328 b	3.124 c
PAN	0.692 c	0.610 c	3.472 b	2.826 d
PAB	0.693 c	0.663 c	3.276 b	3.427 b
H-519C	0.852 b	0.789 b	3.505 b	3.560 b
V-556AC	1.092 a	0.903 a	4.429 a	4.413 a
DSH <sup>†</sup>	0.033	0.027	0.176	0.203

<sup>†</sup>DSH: diferencia significativa honesta. Medias con letras diferentes en cada columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ) ❖ <sup>†</sup>DSH: honest significant difference. Means with different letters in each column are statistically different ( $p \leq 0.05$ ).



(2012). Los maíces ACA tienen calidad mayor de proteína (mayor contenido de lisina y triptófano) que los maíces con endospermo normal debido a que presentan contenido mayor de proteína en el germen (Dado, 1999). Esto fue comprobado porque los maíces ACA tuvieron 2.0 y 21.6 % más triptófano y lisina que los HEN. El contenido de ambos aminoácidos en los maíces ACA es similar al reportado para este tipo de maíces (Eggum *et al.*, 1985; Dado, 1999).

Durante el procesamiento del maíz por nixtamalización, molienda y cocción de las tortillas, el contenido de lisina y triptófano puede ser afectado. En este estudio las pérdidas de lisina del grano a la tortilla fueron 0.36 a 18.60 %, y el genotipo PAN tuvo la mayor pérdida. Las tortillas de los maíces ACP tuvieron 11.3 % más triptófano que las de ACA y HEN. Las pérdidas de triptófano fueron 4.32 a 21.47 % y las mayores pérdidas fueron para HAzul y PBB (21.2 % en promedio); pérdidas similares de estos aminoácidos fueron reportadas por Vázquez *et al.* (2012). Los aumentos ligeros en el contenido de lisina, de grano a tortilla en H-Azul, PAB y H-519C se deben a que el proceso de nixtamalización disminuye la solubilidad de la fracción de zeínas (nutricionalmente pobre) y aumenta la de las glutelinas (ricas en lisina y triptófano), lo que aumenta la disponibilidad de ambos aminoácidos (Martínez-Flores *et al.*, 2002).

### Calidad de nixtamal y tortillas

Hubo diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre genotipos en las variables pericarpio retenido por el nixtamal, sólidos en el nejayote, y humedad de las tortillas a las 2, 24, 48 y 72 h.

La suavización rápida del pericarpio facilita la penetración del agua, y su eliminación durante el lavado del nixtamal. La pérdida excesiva de pericarpio puede disminuir las propiedades texturales de la masa y las tortillas debido a la eliminación de las gomas naturales (Martínez-Bustos *et al.*, 2001). El pericarpio retenido en el nixtamal de maíces PBN y V556AC fue estadísticamente superior al retenido en los demás genotipos. Los HEN retuvieron menos pericarpio (Cuadro 5) y perdieron más sólidos ( $r = -0.91^{**}$ ,  $p \leq 0.01$ ).

En la industria de la masa y la tortilla (IMT) se prefieren los maíces cuyo nixtamal retenga más de

lysine and tryptophan) than corns with normal endosperm due to the fact that present a higher protein content in the germ (Dado, 1999). This was verified because corns ACA had 2.0 and 21.6 % more tryptophan and lysine than those of HEN. The contents of both amino acids in corns ACA is similar to that reported for this type of corns (Eggum *et al.*, 1985; Dado, 1999).

During processing of corn by nixtamalization, milling and baking of tortillas, the content of lysine and tryptophan may be affected. In this study lysine losses of grain to tortilla were 0.36 % to 18.60 %, and the genotype PAN had the highest loss. Tortillas of the ACP corns had 11.3 % more tryptophan than those of ACA and HEN. Tryptophan losses were between 4.32 and 21.47 % and the largest losses were for HAzul and PBB (21.2 % on average); similar losses of these amino acids were reported by Vázquez *et al.* (2012). The slight increases in the lysine content of grain to tortilla in H-Azul, PAB and H-519C are due to the fact that the nixtamalization process decreases the solubility of the fraction of zeins (nutritionally poor) and increases that of the glutelin (rich in lysine and tryptophan), which increases the availability of both amino acids (Martínez-Flores *et al.*, 2002).

### Quality of nixtamal and tortillas

Statistically significant differences were found ( $p \leq 0.01$ ) between genotypes in the variables retained pericarp by the nixtamal, solids in nejayote and moisture of tortillas at 2, 24, 48 and 72 h.

The rapid softening of pericarp facilitates water penetration and its removal during the washing of nixtamal. Excessive loss of pericarp can decrease the textural properties of masa and tortillas due to the elimination of natural gums (Martínez-Bustos *et al.*, 2001). The retained pericarp in the nixtamal of corns PBN and V556AC was statistically higher than that retained in other genotypes. The HEN retained less pericarp (Table 5) and lost more dry matter ( $r = -0.91$ ,  $** p \leq 0.01$ ).

In the tortilla and masa industry (IMT) is preferred corns whose nixtamal retain more than 30 % of pericarp (Salinas *et al.*, 2010), so that all the corns in this study fulfill this requirement. The genotypes H-431, HAzul and yellow ACA corns had the largest dry matter loss, compared

**Cuadro 5. Pericarpio retenido, pérdida de sólidos y humedad de tortillas de ocho genotipos de maíz, con diferente contenido de aceite.****Table 5. Retained pericarp, loss of solids and moisture of tortillas of eight corn genotypes with different oil content.**

Genotipo	PR <sup>†</sup>	PS <sup>‡</sup>	Humedad (%)			
	%	%	2 h	24 h	48 h	72 h
H-431	31.6 f	3.6 b	42.3 bc	39.6 d	39.6 bc	39.8 cd
HAzul	30.5 g	3.9 a	41.8 c	40.0 d	41.0 b	38.9 ef
PBN	48.5 a	3.0 d	40.3 de	40.0 d	40.8 b	42.0 bc
PBB	42.2 b	3.1 cd	40.9 d	41.1 bc	41.8 ab	40.1 c
PAN	37.9 d	3.6 b	40.7 d	41.4 bc	42.6 a	37.6 d
PAB	36.5 e	3.6 b	42.6 bc	42.7 ab	41.6 ab	38.5 e
H-519C	39.9 c	3.1 c	43.5 a	43.0 a	42.8 a	42.5 b
V556AC	48.0 a	3.0 d	41.5 c	42.2 b	39.3 c	39.8 cd
DSH <sup>§</sup>	0.84	0.12	1.88	2.13	1.57	1.90

<sup>†</sup>PR: pericarpio retenido en el nixtamal, <sup>‡</sup>PS: pérdida de sólidos en nejayote. <sup>§</sup>DSH: diferencia significativa honesta. Medias con letras diferentes en cada columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ )

❖ <sup>†</sup>PR: retained pericarp in the nixtamal, <sup>‡</sup>PS: loss of solids in nejayote. <sup>§</sup>DSH: honest significant difference. Means with different letters in each column are statistically different ( $p \leq 0.05$ ).

30 % de pericarpio (Salinas *et al.*, 2010), y todos los maíces en este estudio cumplen este requisito. Los genotipos H-431, HAzul y los ACA amarillos tuvieron la mayor pérdida de sólidos, respecto a los ACP y los ACA blancos, lo cual se atribuye a la cantidad menor de pericarpio retenido en el grano de nixtamal. Todos los materiales presentaron pérdidas de sólidos menores al 5.0 % estipulado en la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 (SE-DGN, 2002) para maíces para producción industrial de tortillas. La humedad de las tortillas se correlaciona con su textura, y tortillas con reducida humedad tienden a ser rígidas y quebradizas (Almeida-Domínguez *et al.*, 1998). Sin embargo, en el presente estudio no se encontró una relación directa entre el contenido de humedad y la fuerza de tensión y elongación de las tortillas en ninguno de los cuatro tiempos de evaluación. Las tortillas de los genotipos evaluados tuvieron porcentajes de humedad en el intervalo informado por Vazquez *et al.* (2012), pero fueron menores a los reportados por Billeb y Bressani (2001), lo que se atribuye a la excesiva dureza de los granos. Las tortillas de los maíces ACA, tuvieron mayor estabilidad en humedad durante el almacenamiento; en algunos casos la humedad aumentó ligeramente a las 24 y 48 h (PBB, PAN, PAB y V556AC) (Cuadro 4) debido principalmente a la condensación del vapor agua que liberan las tortillas dentro de la

to the ACP and the white ACA corns, which is attributed to the least amount of retained pericarp in the grain of nixtamal. All materials showed dry matter losses lower than 5.0 % stipulated in the Mexican Norm NMX-FF-034/1-SCFI-2002 (SE-DGN 2002) for corns for industrial production of tortillas. The moisture content of tortillas is correlated with the tortilla texture and tortillas with low moisture tend to be rigid and brittle (Almeida-Dominguez *et al.*, 1998). However, in the present study a clear relationship between moisture content and tension force and elongation of tortillas in any of the four evaluation times was not found. Tortillas of the genotypes evaluated had percentages of moisture within the interval reported by Vazquez *et al.* (2012), but were lower than those reported by Billeb and Bressani (2001), which is attributed to the excessive hardness of the grains. Tortillas of the ACA corns, were those of most stability in moisture during storage; in some cases moisture increased slightly at 24 and 48 h (PBB, PAN, PAB and V556AC) (Table 4), mainly due to condensation of water vapor that tortillas release within the polyethylene bag, when moved from room temperature ( $\pm 24$  °C) to the refrigeration temperature during storage. Tortillas of H-431 were those of most loss of moisture during storage (Table 5).

bolsa de polietileno, al pasarlas de la temperatura ambiente ( $\pm 24$  °C) a la temperatura de refrigeración durante el almacenamiento. Las tortillas del H-431 tuvieron la pérdida mayor de humedad durante el almacenamiento (Cuadro 5).

### Relación entre el contenido de aceite y la textura de la tortilla

Uno de los factores más importantes para la aceptación de la tortilla por los consumidores es la textura, entre más blanda y suave sea una tortilla, el trabajo necesario para su masticación será menor, lo cual es variable de buena calidad (Gasca-Mancera y Casas-Alencáster, 2007); asimismo, se prefieren las tortillas que al recalentarse recuperan su flexibilidad. El efecto benéfico del contenido de aceite en la textura de las tortillas fue claro. Las tortillas elaboradas con los maíces ACA, con un mayor contenido de aceite, requirieron menos fuerza para romperse en los cuatro tiempos de evaluación es decir, éstas fueron más suaves que las del resto de los maíces (Figura 1A); de manera similar la elongación aumentó con el contenido de aceite (Figura 1B).

Las tortillas más suaves se obtuvieron de los maíces ACA. Vázquez *et al.* (2011) también encontraron que los genotipos con mayor contenido de aceite presentaron la menor fuerza de tensión en sus tortillas. En maíces mejorados de endospermo normal y en criollos con alto contenido de germen y aceite, esta relación no es clara ya que en los estudios reportados sólo hay un análisis del contenido de aceite en grano y parte de este aceite se pierde durante el proceso de nixtamalización.

El contenido de aceite de las tortillas se correlacionó negativamente con la fuerza requerida para romperlas a las 2, 24, 48 y 72 h después de almacenadas ( $p \leq 0.01$ ):  $r = -0.86$ ,  $r = -0.75$ ,  $r = -0.67$  y  $r = -0.61$ . La disminución en el valor de la correlación se atribuye a la pérdida de suavidad y flexibilidad de la tortilla al enfriarse durante el almacenamiento, debido a la formación de una estructura rígida causada por la retrogradación del almidón y asociación con proteínas, fibra y otros componentes químicos (Agama-Acevedo *et al.*, 2011). La pérdida de suavidad durante el almacenamiento se manifestó con un incremento de la fuerza requerida para romper las tortillas (tensión); sin embargo, el comportamiento respecto a su contenido de aceite

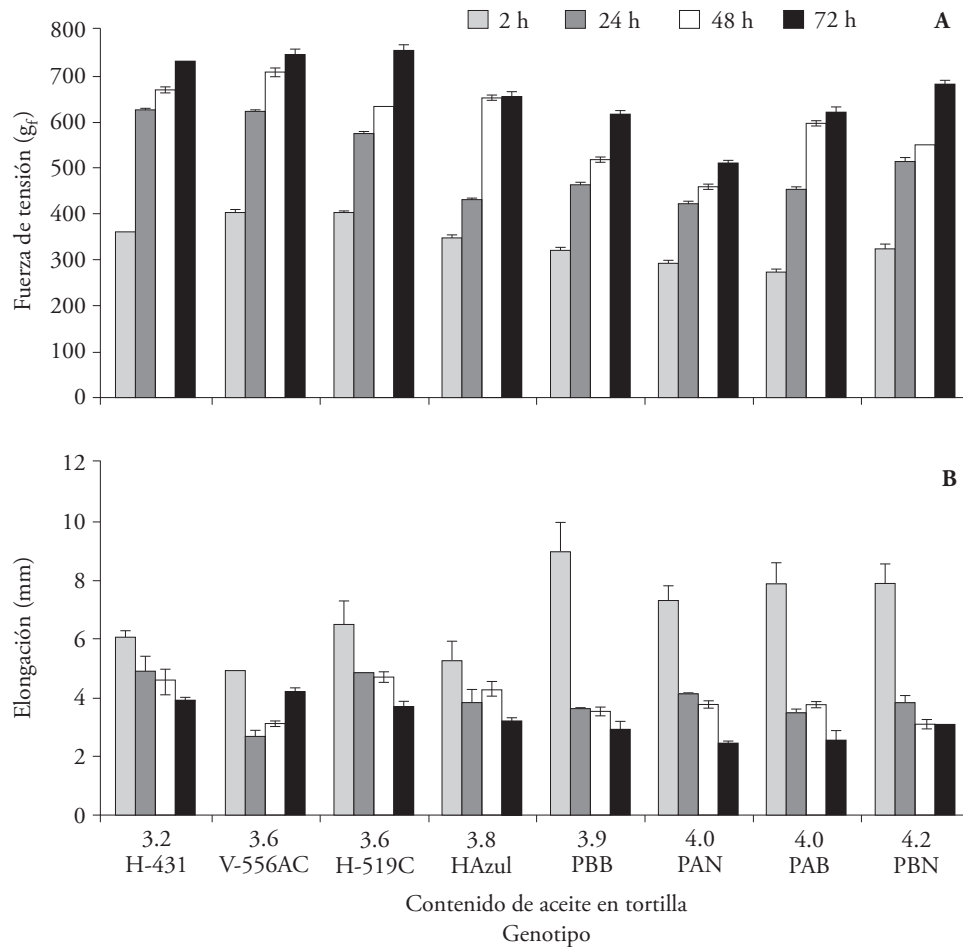
### Relationship between oil content and texture of the tortilla

One of the most important factors for the acceptance of tortillas by consumers is the texture, the softer and smoother a tortilla is, less work required for chewing, which is a good quality parameter (Gasca-Mancera and Casas-Alencáster, 2007); besides, the reheated tortillas when regain their flexibility are preferred. The beneficial effect of oil content on the texture of the tortillas was clear. Tortillas prepared with ACA corns, with a higher oil content, required less force to break, in the four evaluation times, that is, these were softer than those of the rest of the corns (Figure 1A); similarly the elongation increased with the oil content (Figure 1B).

The softest tortillas were obtained from ACA corns. Vázquez *et al.* (2011) also found that genotypes with higher oil content showed the lowest compression force in their tortillas. In improved corns of normal endosperm and in landraces with high germ and oil content, this relationship is unclear because in the reported studies there is only an analysis of the oil content in grain and part of this oil is lost during the process of nixtamalization.

The oil content of tortillas was negatively correlated with the force required to break them at 2, 24, 48 and 72 h after storage, ( $p \leq 0.01$ ):  $r = -0.86$ ,  $r = -0.75$ ,  $r = -0.67$  and  $r = -0.61$ . The decrease in the correlation value is attributed to the loss of softness and flexibility of tortillas on cooling during storage due to the formation of a rigid structure caused by retrogradation of starch and association with proteins, fiber and other chemical compounds (Agama-Acevedo *et al.*, 2011). The loss of softness during storage was manifested by an increase in the force required to break the tortillas (tension); however, the behavior with respect to their oil content was maintained. In regard to this, Arámbula-Villa *et al.* (2001) stated that during the alkaline thermal process lipids interact with the amylose molecules affecting the physicochemical properties of starch (Putseys *et al.*, 2010), but do not prevent the loss of water from tortillas, aspect observed in these materials (Table 5).

In tortillas the process of rancidity does not represent a problem due to their alkaline pH ( $> 7.0$ ) and the lipids are found in complexes with amylose and other compounds that prevent rapid access of enzymes. Besides, the high activity of water and



**Figura 1. Contenido de aceite en tortilla de diferentes maíces y la fuerza máxima de rompimiento bajo tensión (A) y su elongación (B).**

**Figure 1. Oil content in tortilla of different corns and the maximum breaking force under tension (A) and its elongation (B).**

se mantuvo. Al respecto, Arámbula-Villa *et al.* (2001) afirmaron que durante el proceso térmico alcalino los lípidos interactúan con las moléculas de amilosa afectando las propiedades fisicoquímicas del almidón (Putseys *et al.*, 2010), pero no evitan la pérdida de agua de las tortillas, aspecto observado en estos materiales (Cuadro 5).

En tortillas el proceso de rancidez no representa un problema debido al pH alcalino (>7.0) que éstas presentan y los lípidos se encuentran en un complejo con la amilosa y otros compuestos que impiden el acceso rápido de las enzimas. Además, la alta actividad de agua y almacenamiento en refrigeración son una barrera para el deterioro de los lípidos (Lehtinen, 2003).

refrigerated storage are a barrier to degradation of lipids (Lehtinen, 2003).

## CONCLUSIONS

Corns of high oil content were used to produce softer tortillas freshly prepared and even 72 h after stored in refrigeration. Nixtamalization caused losses of lipids in all corns, despite this, with ACA corns tortillas with higher oil and protein content were obtained and they were the softest and with larger elongation. Tortillas from high quality protein corns had the highest tryptophan and lysine content and the genotype V-556AC was outstanding. The amount of lysine in tortillas of corns with high oil content

## CONCLUSIONES

Con los maíces de mayor contenido de aceite se produjeron tortillas más suaves recién elaboradas y 72 h después de almacenadas en refrigeración. La nixtamalización provocó pérdidas de lípidos en todos los maíces, pese a esto con los maíces ACA se obtuvieron tortillas con mayor contenido de aceite y proteína y fueron las más suaves y con elongación mayor. Las tortillas de maíces de alta calidad proteínica tuvieron el contenido mayor de triptófano y lisina sobresaliendo el genotipo V-556AC. La cantidad de lisina en tortilla de maíces de alto contenido de aceite fue similar al genotipo H-519C. Además, con híbridos ACA es posible obtener tortillas de buena calidad y textura suave, y su valor nutricional es mejor comparado con los maíces de endospermo normal y bajo contenido de aceite.

## LITERATURA CITADA

AACC (American Association of Cereal Chemists). 2000. Approved Methods of Analysis. 10th ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN. 1200 p.

Agama-Acevedo, E., Y. Salinas-Moreno, G. Pacheco-Vargas, y L. A. Bello-Pérez. 2011. Características físicas y químicas de dos razas de maíz azul: morfología del almidón. *Rev. Mex. Ciencias Agríc.* 2: 317-329.

Almeida-Domínguez, H. D., G. G. Ordoñez-Durán, and N. G. Almeida. 1998. Influence of kernel damage on corn nutrient composition, dry matter losses, and processability during alkaline cooking. *Cereal Chem.* 75: 124-128.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis of the AOAC. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington DC, USA. pp: 132-133.

Arámbula-Villa, G., J. González-Hernández, and C. A. Ordorica-Falomir. 2001. Physicochemical, structural and textural properties of tortillas from extruded instant corn flour supplemented with various types of corn lipids. *J. Cereal Sci.* 33: 245-252.

Arámbula-Villa, G., J. A. Méndez-Albores, J. González-Hernández, E. Gutiérrez-Árias, y E. Moreno-Martínez. 2004. Evaluación de una metodología para determinar características de textura de tortilla de maíz (*Zea mays* L.). *Arch. Latinoam. Nutr.* 54: 216-222.

Biliaderis, C. G. 1991. The structure and interaction of starch with food constitutions. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 69: 60-78.

Billeb S., A. C., y R. Bressani. 2001. Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz. *Arch. Latinoam. Nutr.* 51: 86-94.

Dado, R. G. 1999. Nutritional benefits of specialty corn grain hybrids in dairy diets. *J. Anim. Sci.* 77: 197-207.

Dudley, J. W., and R. J. Lambert. 1992. Ninety generations of selection for oil and protein in maize. *Maydica* 37: 81-87.

was similar to the genotype H-519C. In addition, with hybrids ACA may be obtained tortillas of good quality, smooth texture, and their nutritional value is better compared with normal endosperm and low oil content corns.

—End of the English version—



Eggum, B. O., J. Dumanovic, D. Misevic, and M. Denic. 1985. Nutritive quality and energy yield of high oil, opaque-2 and waxy maize hybrids compared to normal maize hybrids. *Plant Foods for Human Nutr.* 35: 165-174.

Eliasson, A. C., and M. Wahlgren. 2004. Starch-lipid interactions and their relevance in food products. *In: Eliasson, A. C. (ed). Starch in Food: Structure, Function and Applications.* Woodhead Publishing Limited. Cambridge, England, pp: 441-460.

Galicia, L., A. Miranda, M. G. Gutiérrez, O. Custodio, A. Rosales, N. Ruiz, R. Surles, y N. Palacios. 2012. Laboratorio de Calidad Nutricional de Maíz y Análisis de Tejido Vegetal: Protocolos de Laboratorio. CIMMYT, México. D.F. 50 p.

Gasca-Mancera, J. C., y N. B. Casas-Alencáster. 2007. Adición de harina de maíz nixtamalizado a masa fresca de maíz nixtamalizado. Efecto en las propiedades texturales de masa y tortilla. *Rev. Mex. Ing. Quím.* 6: 317-328.

Kljak K., D. Grbeša, and D. Aleuš. 2011. Relationships between kernel physical properties and zein content in corn hybrids. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca Agriculture* 68: 188-194.

Lambert, R. J., D. E. Alexander, and Z. J. Han. 1998. A high oil pollinator enhancement of kernel oil and effects on grain yields of maize hybrids. *Agron. J.* 90: 211-215.

Lehtinen, P. 2003. Reactivity of lipids during cereal processing. Doctoral Dissertation. Helsinki University of Technology. Espoo, Finland. 47 p.

Martínez-Bustos, F., H. E. Martínez-Flores, E. Sanmartín-Martínez, F. Sánchez-Sinencio, Y. K. Chang, D. Barrera-Arellano, and E. Rios. 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.

Martínez-Flores, H. E., M. G. Garnica-Romo, J. U. Romero V., and J. B. Yahuaca. 2006. Evaluating the quality of lipids during alkaline cooking of corn. *J. Food Lipids* 13: 177-185.

Martínez-Flores, H. E., M. Gaytán-Martínez, J. D. Figueroa-Cárdenas, F. Martínez-Bustos, M. L. Reyes-Vega, y A. Rodríguez-Vidal. 2004. Effect of some preservatives on shelf-life of corn tortillas obtained from extruded masa. *Agrociencia* 38: 285-292.

Martínez-Flores, H. E., F. Martínez-Bustos, J. D. Figueroa C., and J. González-Hernández. 2002. Studies and biological assays in corn tortillas made from fresh masa prepared by extrusion and nixtamalization processes. *J. Food Sci.* 67: 1196-1199.

- Ortega, E. I., E. Villegas, and S. K. Vasal. 1986. A comparative study of protein in normal and quality protein maize during tortilla making. *Cereal Chem.* 63: 446-451.
- Osorio-Díaz, P., E. Agama-Acevedo, L. A. Bello-Pérez, J. J. Islas-Hernández, N. O. Gómez-Montiel, and O. Paredes-López. 2011. Effect of endosperm type on texture and *in vitro* starch digestibility of maize tortillas. *LWT- Food Sci. Technol.* 44: 611-615.
- Platt-Lucero, L. C., B. Ramirez-Wong, P. I. Torres-Chávez, and I. Morales-Rosas. 2012. Viscoelastic and textural characteristics of masa and tortilla from extruded corn flours with xanthan gum. *In: De Vicente, J. (ed). Viscoelasticity-From Theory to Biological Applications.* InTech. Rijeka, Croatia. pp: 237-258.
- Preciado-Ortíz, R. E., S. García-Lara, S. Ortíz-Islas, A. Ortega-Corona, S. O. Serna-Saldívar. 2013. Response of recurrent selection on yield, kernel oil content and fatty acid composition of subtropical maize populations. *Field Crops Res.* 142:27-35.
- Putseys, J. A., L. J. Derde, L. Lamberts, E. Östman, I. M. Björck, and J. A. Delcour. 2010. Functionality of short chain amylose-lipid complexes in starch-water systems and their impact on *in vitro* starch degradation. *J. Agric. Food Chem.* 58: 1939-1945.
- Rolow, A. M. 2002. Preservatives and their applications in flour and corn tortillas. *Technical Bulletin.* Vol. 24. No. 8. AIB International, Manhattan, KS. 80 p.
- Salinas M., Y., N. O. Gómez M., J. E. Cervantes M., M. Sierra M., A. Palafox C., E. Betanzos M., y B. Coutiño E. 2010. Calidad nixtamalera y tortillera en maíces del trópico húmedo y sub-húmedo de México. *Rev. Mex. Ciencias Agríc.* 1: 509-523.
- Salinas M., Y., P. Pérez H., J. Castillo M., y L. A. Álvarez R. 2003. Relación de amilosa: amilopectina en el almidón de harina nixtamalizada de maíz y su efecto en la calidad de la tortilla. *Rev. Fitotec. Mex.* 26: 115-121.
- Salinas, M. Y., y G. Vázquez C. 2006. Metodologías de análisis de la calidad nixtamalera-tortillera en Maíz. Folleto técnico. Núm. 24. INIFAP. Chapingo, Edo. de México. 98 p.
- Sánchez F., C., Y. Salinas M., M. G. Vázquez C., G. A. Velázquez C., y N. Aguilar G. 2007. Efecto de las prolaminas del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre la textura de la tortilla. *Arch. Latin. Nutr.* 57: 295-301.
- SE-DGIB (Secretaría de Economía-Dirección General de Industrias Básicas). 2012. Análisis de la cadena de valor maíz-tortilla: situación actual y factores de competencia local. Secretaría de Economía-Dirección General de Industrias Básicas. [http://www.economia.gob.mx/files/comunidad\\_negocios/industria\\_comercio/informacionSectorial/20120411\\_analisis\\_cadena\\_valor\\_maiz-tortilla.pdf](http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/20120411_analisis_cadena_valor_maiz-tortilla.pdf). (Consulta: marzo, 2013).
- SE-DGN (Secretaría de Economía-Dirección General de Normas). 2002. NMX-FF-034/1- SCFI-2002. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-Cereales-Parte I: Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado-Especificaciones y métodos de prueba. Secretaría de Economía, Dirección General de Normas. México, D.F. 18 p.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2013. Cierre de la producción agrícola por estado. Maíz. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx>. (Consulta: noviembre, 2013).
- Shobha, D., M. K. Prasanna K., Puttaramanaik, and T. A. Sreemasetty. 2011. Effect of antioxidant on the shelf life of quality protein maize flour. *Indian J. Fundamental Appl. Life Sci.* 1: 129-140.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2013. Grain: World Markets and Trade. Foreign Agricultural Service. United States Department of Agriculture. Circular Series FG 11-13. <http://www.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf> (Consulta: noviembre, 2013).
- Utrilla-Coello, R. G., E. Agama-Acevedo, A. P. Barba R., J. L. Martínez-Salgado, S. L. Rodríguez-Ambriz, and L. A. Bello-Pérez. 2009. Blue maize: Morphology and starch synthase characterization of starch granule. *Plant Foods for Human Nutr.* 64: 18-24.
- Vázquez-Carrillo, G., S. García-Lara., Y. Salinas-Moreno, D. J. Bergvinson, and N. Palacios-Rojas. 2011. Grain and tortilla quality in landraces and improved maize grown in the highlands of Mexico. *Plant Foods for Human Nutr.* 66: 203-208.
- Vázquez C., M. G., H. Mejía A., Y. Salinas M., y D. Santiago R. 2013. Efecto de la densidad de población en la calidad del grano, nixtamal y tortilla de híbridos de maíz de alta calidad proteínica. *Rev. Fitotec. Mex.* 36: 225 – 232.
- Vázquez C., M. G., H. Mejía A., C. Tut C., y N. Gómez M. 2012. Características de granos y tortillas de maíces de alta calidad proteínica desarrollados para los Valles Altos Centrales de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 35: 23-31.
- Vidal-Quintanar, R. L., J. Love, and L. A. Johnson. 2001. Role of oil on physical properties of corn masa flours and sensory characteristics of corn tortilla. *J. Food Proc. Preserv.* 25: 1-14.
- White, P. J., and E. J. Weber. 2003. Lipids of the Grain. *In: White, P. J., and L. A. Johnson (eds). Corn: Chemistry and Technology.* American Association of Cereal Chemists. St. Paul, Minnesota, USA, pp: 355-405.