

# VARIACIÓN EN LA COMPOSICIÓN DEL GRANO ENTRE POBLACIONES DE MAÍZ (*Zea mays* L.) NATIVAS DE YUCATÁN, MÉXICO

## GRAIN COMPOSITION VARIATION AMONG NATIVE MAIZE (*Zea mays* L.) OF YUCATAN, MEXICO

Esmeralda Cázarez-Sánchez<sup>1\*</sup>, José L. Chávez-Servia<sup>2</sup>, Yolanda Salinas-Moreno<sup>3</sup>,  
Fernando Castillo-González<sup>1</sup>, Porfirio Ramírez-Vallejo<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>Posgrado de Recursos Genéticos y Productividad-Genética. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Texcoco, México. <sup>2</sup>Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Oaxaca. 71230. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. <sup>3</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de México. 56250. Carretera Los Reyes- Texcoco, km 13.5. Coatlinchán, Texcoco, Estado México. (esmeralda@colpos.mx).

### RESUMEN

La diversidad de razas y poblaciones nativas de maíz (*Zea mays* L.) tiene gran importancia alimentaria, social y económica para las comunidades rurales de México, y debe ser estudiada con fines de documentación, conservación y aprovechamiento. El objetivo de este estudio fue evaluar la variación en proteína, lisina, triptófano, fibra cruda, cenizas, aceite y almidón del grano, en una colección de 41 poblaciones nativas de maíz de la región centro-norte de Yucatán, México, de las poblaciones conocidas localmente como *Nal t'eel*, *Xmejen nal*, *T'siit bakal* y *Xnuuk nal*. Los materiales se incrementaron en Iguala, Guerrero, en el ciclo otoño-invierno 2002-2003. El diseño experimental fue de bloques al azar con dos repeticiones por tratamiento; se realizó un ANDEVA y las medias de los tratamientos se compararon con la prueba de Tukey. Hubo diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en contenido de proteína (9.35 a 12.50 %), lisina (0.27 a 0.39 %), triptófano (0.08 a 0.13 %), cenizas (1.12 a 1.83 %), aceite (3.37 a 4.52 %), fibra cruda (0.72 a 1.65 %) y almidón (57.54 a 69.92 %). Además, los patrones de variación están asociados con las poblaciones: los precoces *Nal t'eel* y *Xmejen nal* tuvieron los contenidos mayores de proteína y triptófano y los tardíos *T'siit bakal* y *Xnuuk nal* cantidad menor de proteína y mayor de lisina. Destacaron seis poblaciones de *Xmejen nal*, una de *Xnuuk nal* y una de *Nal t'eel*. También hubo correlación significativa ( $p \leq 0.05$ ) y positiva entre el contenido de cenizas y lisina (0.99) y triptófano (0.97) en el grupo *Nal t'eel*. Los resultados mostraron la variabilidad

### ABSTRACT

The diversity of races and native populations of maize (*Zea mays* L.) has great food, social and economic importance for rural communities in Mexico, and should to be studied for documentation, conservation and utilization. The aim of this study was to evaluate the variation in protein, lysine, tryptophan, crude fiber, ash, oil and starch of grain in a collection of 41 native populations of maize from the north-central region of Yucatan, Mexico, of the populations known locally as *Nal t'eel*, *Xmejen nal*, *T'siit bakal* and *Xnuuk nal*. The materials were increased in Iguala, Guerrero, in the autumn-winter 2002-2003 cycles. The experimental design was randomized block with two replications per treatment; an ANOVA was carried out and treatments means were compared with Tukey's test. There were significant differences ( $p \leq 0.05$ ) in protein content (9.35 to 12.50 %), lysine (0.27 to 0.39 %), tryptophan (0.08 to 0.13 %), ash (1.12 to 1.83 %), oil (3.37 to 4.52 %), crude fiber (0.72 to 1.65 %) and starch (57.54 to 69.92 %). Besides, the variation patterns are associated with populations: early *Nal t'eel* and *Xmejen nal* had the highest contents of protein and tryptophan and late *T'siit bakal* and *Xnuuk nal* had lower contents of protein and higher contents of lysine. Six populations of *Xmejen nal*, one of *Xnuuk nal* and one of *Nal t'eel* were outstanding. Also, positive and significant correlation ( $p \leq 0.05$ ) was observed between ash and lysine (0.99) and tryptophan (0.97) content in the *Nal t'eel* group. The results showed high variability in grain composition, useful for breeding programs of native maize materials and to formulate strategies of *in situ* conservation of local collections in the study region.

\*Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: junio, 2014. Aprobado: noviembre, 2014.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 49: 15-30. 2015.

**Key words:** Essential amino acids, nutritional quality, lysine, tryptophan, *Zea mays*.

**alta en la composición del grano, útil para programas de mejoramiento genético de materiales nativos de maíz y para formular estrategias de conservación *in situ* de los acervos locales en la región de estudio.**

**Palabras clave:** Aminoácidos esenciales, calidad nutritiva, lisina, triptófano, *Zea mays*.

## INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los componentes más importantes de la alimentación de los mexicanos y su variabilidad está asociada con una gama de ambientes y grupos socio-culturales, que en conjunto contribuyen al proceso evolutivo de la especie y a la integración de razas o poblaciones con características específicas de adaptación agroecológica, usos y composición de grano (López-Romero *et al.*, 2005). Las poblaciones nativas de maíz, al ser conservadas y seleccionadas continuamente por los agricultores, generan ventajas adaptativas a micronichos ecológicos particulares, formas de cultivo y consumo (Antonio *et al.*, 2004). Desde la perspectiva de fitomejoradores y curadores de banco de germoplasma, estas poblaciones nativas son importantes reservorios de genes de resistencia a plagas y enfermedades, tolerancia a estrés hídrico, salinidad y altas temperaturas. Estos materiales también se pueden usar para aumentar la diversidad en las zonas donde su variabilidad ha disminuido drásticamente al reemplazar las poblaciones nativas por variedades comerciales (Jaric *et al.*, 2010; Castro-Nava *et al.*, 2012).

Las poblaciones nativas de maíz son fuente importante de carbohidratos, proteína, minerales, fibra y compuestos antioxidantes (carotenoides, antocianinas, flavonoides y polifenoles), de gran importancia para la nutrición y salud humana (Antonio *et al.*, 2004; Durán-Hernández *et al.*, 2011). La cantidad de proteína no es alta, en comparación con otros cereales, y hay gran variación entre y dentro de razas o poblaciones nativas, lo cual también se ha observado en el contenido de almidón y aceite. No obstante la variabilidad y distribución de las poblaciones nativas de maíz en México, incluidas las de la Península de Yucatán, la mayoría de los estudios se han enfocado en las razas del centro-norte del país (Cervantes y Hernández, 1988; Vázquez *et al.*, 2003). Para aportar al conocimiento de

## INTRODUCTION

Maize (*Zea mays* L.) is one of the most important components of the diet of Mexicans and its variability is associated with a range of environments and socio-cultural groups, which together contribute to the evolutionary process of the species and the integration of races or populations with specific characteristics of agro-ecological adaptation, uses and composition of grain (López-Romero *et al.*, 2005). Native maize populations when preserved and continuously selected by farmers generate adaptive advantages to ecological individual micro-niches, forms of cultivation and consumption (Antonio *et al.*, 2004). From the perspective of breeders and genebank curators, these native populations are important reservoirs of resistance genes to pests and diseases, tolerance to water stress, salinity and high temperatures. These materials can also be used to increase diversity in areas where their variability has decreased dramatically by replacing the native populations by commercial varieties (Jaric *et al.*, 2010; Castro-Nava *et al.*, 2012).

Native maize populations are important sources of carbohydrates, protein, minerals, fiber and antioxidants (carotenoids, anthocyanins, flavonoids and polyphenols), of great importance to nutrition and human health (Antonio *et al.*, 2004; Durán-Hernández *et al.*, 2011). The amount of protein is not high, compared with other cereals, and there is great variation between and within breeds or native populations, which has also been observed in the starch and oil content. Despite of the variability and distribution of native populations of maize in Mexico, including those in the Yucatan Peninsula, most studies have focused on the races from the north-central region of the country (Cervantes and Hernández, 1988; Vázquez *et al.*, 2003). To contribute to the knowledge of diversity of maize in Mexico, the objective of this research was to evaluate the variation in the contents of protein, lysine, tryptophan, crude fiber, ash, oil and starch in maize grain between 41 native populations of groups known locally as *Nal t'eel*, *Xmejen nal*, *T'siit bakal* and *Xnuuk nal*, in the north central region of Yucatan. The hypothesis was that genetic variability of maize by differences in morphological attributes has been found and described, but there is also

la diversidad del maíz en México, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la variación en los contenidos de proteína, lisina, triptófano, fibra cruda, cenizas, aceite y almidón en el grano de maíz entre 41 poblaciones nativas de los grupos conocidos localmente como *Nal t'eel*, *Xmejen nal*, *T'siit bakal* y *Xnuuk nal*, de la región centro-norte de Yucatán. La hipótesis fue que se ha encontrado y descrito la variabilidad genética del maíz por diferencias en atributos morfológicos, pero también hay variación en la composición bioquímica del grano, lo cual ha sido poco estudiado entre poblaciones y grupos de poblaciones de esta región.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material biológico

En este estudio se usaron muestras de 41 poblaciones nativas de maíz agrupadas en cuatro grupos poblacionales reconocidos en lengua maya, como: *Nal t'eel* (2), *Xmejen nal* (11), *T'siit bakal* (16) y *Xnuuk nal* (12) (Figura 1), originarias de Yaxcabá, Yucatán. Las poblaciones fueron descritas y clasificadas morfológica y fisiológicamente por Camacho-Villa y Chávez-Servia (2004; Figura 1):

1) *Nal t'eel*: considerado como muy precoz (raza Nal-Tel), con 62 d promedio para la exposición de estigmas, altura de planta de 1.5 m, mazorca con longitud de 8.5 cm, 12 hileras con 22 granos cada una.

2) *Xmejen nal*: considerado precoz a intermedio, con 64 d para la exposición de estigmas, altura de planta de 2.16 m, mazorca de 11 cm con 14 hileras y 28 granos por hilera.

3) *T'siit bakal*: clasificado como tardío (raza Dzit-Bacal), 83 d para la exposición de estigmas, altura de planta de 3.1 m, mazorca flexible con longitud de 16.1 cm, 9.1 hileras con 50 granos cada una.

4) *Xnuuk nal*: de ciclo tardío (raza Tuxpeño), 84 d para la exposición de estigmas, altura de planta de 3.08 m, longitud de mazorca de 14.5 cm, 11.5 hileras con 40 granos cada una.

Para obtener suficiente muestra de grano de cada población, se sembraron parcelas de cuatro surcos (88 plantas) y para asegurar la polinización entre plantas de la misma población se polinizaron manualmente, mediante cruzamientos fraternales (#) entre plantas dentro de cada parcela, pues se asume que la calidad proteínica está gobernada por genes recesivos y es afectada por la polinización (Melesio *et al.*, 2008).

variation for biochemical composition of grain which has been little studied among populations and groups of this region.

## MATERIALS AND METHODS

### Biological material

In this study 41 samples of native maize populations were used grouped in four populations recognized in Maya language, as: *Nal t'eel* (2), *Xmejen nal* (11), *T'siit bakal* (16) and *Xnuuk nal* (12) (Figure 1), native from Yaxcabá, Yucatan. The populations were described and classified morphologically and physiologically by Camacho-Villa and Chávez-Servia (2004; Figure 1):

1) *Nal t'eel*: considered as very early maturing maize (race Nal-Tel), with average 62 d for the exhibition of stigmas, plant height 1.5 m, cob with length of 8.5 cm, 12 rows with 22 grains each.

2) *Xmejen Nal*: considered early to intermediate maturing maize, with 64 d for exhibition of stigmas, plant height of 2.16 m, cob 11 cm with 14 rows and 28 grains per row.

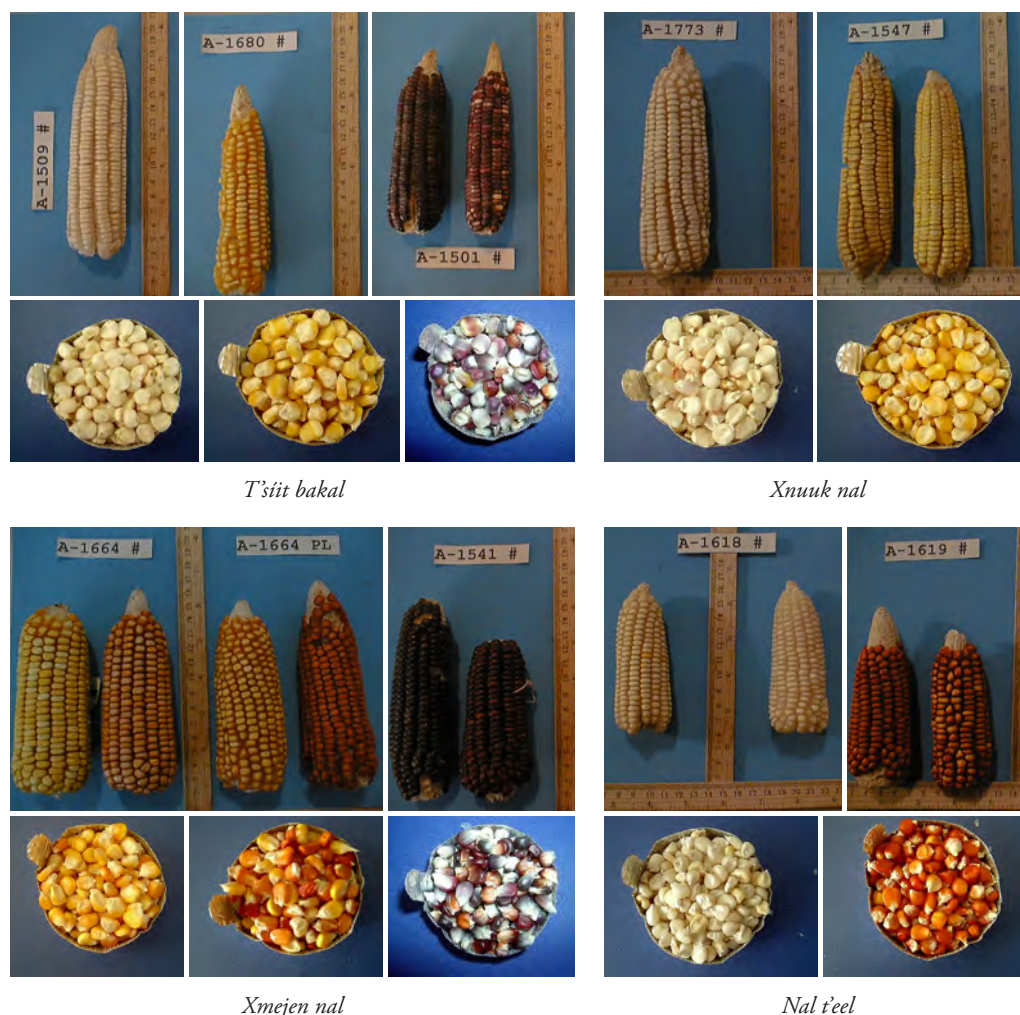
3) *T'siit bakal*: classified as late maturing maize (race Dzit-Bacal), 83 d for the exhibition of stigmas, plant height of 3.1 m, flexible ear with length of 16.1 cm, 9.1 rows with 50 grains each.

4) *Xnuuk Nal*: late maturing maize (race Tuxpeño), 84 d for the exhibition of stigmas, plant height 3.08 m, length of cob 14.5 cm, 11.5 rows with 40 grains each.

To obtain enough grain sample of each population, plots of four rows (88 plants) were sown and to ensure pollination between plants of the same population were pollinated manually, using sib crosses (#) between plants within each plot, since it is assumed that the protein quality is governed by recessive genes and is affected by pollination (Melesio *et al.*, 2008).

Seeds were multiplied in the same cycle and cultivation site to obtain representative samples into homogeneous environmental conditions of production and harvest time. This was done in the autumn-winter 2002-2003 cycle at the Experimental Field of Iguala, Guerrero, of the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), with humid tropical climate.

Of each of the ears harvested by population, 100 grains of the central part were taken, mixed and a sample of 1 kg was obtained for analysis. Seven populations had difficulty adapting to the cultivation conditions and there were deficiencies in seed set from controlled pollinations, so it was necessary to use seeds of plants that were left for open-pollinated (OP). The latter was



**Figura 1. Características de mazorca y grano de cuatro poblaciones de maíces nativos de Yucatán, México.**  
**Figure 1. Cob and grain characteristics of four populations of native maize, Yucatan, Mexico.**

Las semillas se multiplicaron en el mismo ciclo y sitio de cultivo para obtener muestras representativas en condiciones homogéneas del ambiente de producción y época de cosecha. Esto se hizo en el ciclo otoño-invierno 2002-2003, en el Campo Experimental de Iguala, Guerrero, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), con clima tropical húmedo.

De cada una de las mazorcas cosechadas por población, se tomaron 100 granos de la parte central, se mezclaron y se obtuvo una muestra de 1 kg para los análisis. Siete poblaciones tuvieron dificultades para adaptarse a las condiciones de cultivo y hubo deficiencias en el prendimiento de polinizaciones, por lo que fue necesario utilizar semilla de las plantas que se dejaron para polinización libre (PL). Esto último se consideró para la comparación con otras investigaciones donde no se hizo control de la polinización en la muestra analizada (Mendoza-Elos *et al.*, 2006; Vidal *et al.*, 2008; Vázquez *et al.*, 2010).

considered for comparison to other trials where there was no control of pollination in the analyzed sample (Mendoza-Elos *et al.*, 2006; Vidal *et al.*, 2008; Vázquez *et al.*, 2010).

#### Analysis of maize grain composition

From the homogeneous grain sample of each population a subsample of 30 g of grain with  $12 \pm 2$  % of moisture was ground in a cyclone mill with a 0.5 mm mesh and corn flours were led to constant weight in an oven at 60 °C under vacuum for 8 h, and maintained in a desiccator. The analyzes (and methods) were: protein (Kjeldahl: 46-11.02, AACC, 1999), lysine (Galicia *et al.*, 2009), tryptophan (Galicia *et al.*, 2009), starch (Megazyme method: 76-13.01, AACC, 1999), crude fiber (32.10.01, AACC, 1999), oil (30-25.01, AACC, 1999) and ash (08-01.01, AACC, 1999). Analyzes were carried out at the Laboratory of Maize Quality of INIFAP, Valley of Mexico

### Análisis de la composición del grano de maíz

De la muestra homogénea de grano de cada población, una submuestra de 30 g de grano con  $12 \pm 2$  % de humedad fue triturada en un molino ciclónico con malla de 0.5 mm y se llevaron a peso constante en estufa a 60 °C, con vacío, por 8 h, y se mantuvieron en un desecador. Los análisis (y los métodos) fueron: proteína (Kjeldahl: 46-11.02, AACC, 1999), lisina (Galicia *et al.*, 2009), triptófano (Galicia *et al.*, 2009), almidón (método de la megazyme: 76-13.01, AACC, 1999), fibra cruda (32.10.01, AACC, 1999), aceite (30-25.01, AACC, 1999) y cenizas (08-01.01, AACC, 1999). Los análisis se realizaron en el laboratorio de Calidad del Maíz del INIFAP, Campo Experimental Valle de México. Los resultados se expresaron como porcentajes en materia seca.

### Análisis estadístico

El diseño experimental fue bloques al azar con dos repeticiones, se realizó análisis de varianza y comparaciones de medias con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) entre grupos y entre poblaciones dentro de grupos. Las fuentes de variación principales fueron los grupos y las poblaciones anidadas en grupos. Los valores expresados en porcentaje se transformaron con la fórmula arco seno  $(x/100)^{1/2}$  (Steel y Torrie, 1980). Con los porcentajes promedio de proteína, lisina y triptófano por grupo morfológico de maíz, se calcularon los gramos de aminoácido en 100 g de proteína con la fórmula  $(\% \text{ de aminoácido} \times 100) / \% \text{ de proteína}$ . Los coeficientes de correlación simple ( $r$ ) y determinación ( $r^2$ ) fueron calculados entre las características evaluadas y los componentes principales (CP), con base en la matriz de correlaciones, para determinar los caracteres con valor descriptivo mayor de la variabilidad evaluada. Con las variables seleccionadas en el análisis de CP se hizo un análisis de conglomerados de agrupamiento jerárquico y los grupos resultantes se comprobaron mediante un análisis discriminante. Todos los análisis estadísticos se hicieron con SAS versión 8.1 (Cody y Smith, 1991).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Composición química del grano de maíz

Diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) se encontraron entre grupos en las características evaluadas, con excepción del contenido de aceite; además hubo diferencias ( $p \leq 0.01$ ) entre poblaciones en todas las variables analizadas (Cuadro 1). Esto confirmó la variabilidad fenotípica alta entre poblaciones y que los grupos seleccionados

Experimental Field. Results were expressed as dry matter percentages.

### Statistical analysis

A randomized block experimental design was used with two replications, an analysis of variance and mean comparisons with the Tukey test ( $p \leq 0.05$ ) between groups and among populations within groups was performed. The main sources of variation were the groups and nested populations groups. The values expressed in percentage were transformed with the formula  $\arcsin (x/100)^{1/2}$  (Steel and Torrie, 1980). With the average percentages of protein, lysine and tryptophan per morphological group of maize, grams of amino acid in 100 g of protein were calculated with the formula  $(\% \text{ of amino acid} \times 100) / \% \text{ of protein}$ . The coefficients of simple correlation ( $r$ ) and determination ( $r^2$ ) were calculated between the evaluated traits and principal components (PC), based on the correlation matrix, to determine the characters with more descriptive value of variability evaluated. With the selected variables in the analysis of PC an analysis was made of conglomerates of hierarchical clustering and the resulting groups were tested using a discriminant analysis. All statistical analyses were performed using the SAS version 8.1 (Cody and Smith, 1991).

## RESULTS AND DISCUSSION

### Chemical composition of maize grain

Highly significant differences ( $p \leq 0.01$ ) were found among groups in the evaluated traits, except oil content; besides, there were differences ( $p \leq 0.01$ ) among populations in all variables analyzed (Table 1). This confirmed the high phenotypic variability among populations and also that groups selected by farmers maintain important differences; for example, populations with higher protein content (12.5 %), tryptophan (0.13 %) ash (1.84 %) and crude fiber (1.65 %) were of the *Xmejen nal* group, like those of lower starch (57.54 %) and lysine (0.27 %) content. Populations with higher content of starch (69.92 %), lysine (0.39 %) and oil (4.52 %), were of the *T'siit bakal* group as well as those of lower protein (9.35 %), tryptophan (0.08 %), ash (1.13 %) and crude fiber (0.72 %) content. The population with lower oil content (3.37 %) was of the *Xnuuk nal* group (Table 2). It should be noted that grain composition changes with fertilization (Zepeda-Bautista *et al.*, 2009) and

**Cuadro 1. Cuadrados medios de los análisis de varianza de la composición química y lisina y triptófano del grano de maíces nativos de Yucatán, México.****Table 1. Mean squares of the analyses of variance for the chemical composition and lysine and tryptophan of native maize grain from Yucatan, Mexico.**

| Fuente de variación | gl | Proteína           | Lisina              | Triptófano          | Almidón            | Aceite              | Cenizas             | Fibra cruda        |
|---------------------|----|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| Repetición          | 1  | 0.02 <sup>ns</sup> | <0.01 <sup>ns</sup> | <0.01 <sup>ns</sup> | 0.33 <sup>ns</sup> | <0.01 <sup>ns</sup> | <0.01 <sup>ns</sup> | 0.07 <sup>ns</sup> |
| Grupo               | 3  | 12.66**            | 0.19**              | 0.40**              | 82.40**            | 0.26 <sup>ns</sup>  | 4.35**              | 8.92**             |
| Poblaciones (grupo) | 37 | 23.26**            | 1.44**              | 0.55**              | 184.40**           | 12.86**             | 8.50**              | 14.42**            |
| Error               | 40 | 0.84               | 0.05                | <0.01               | 51.67              | 1.87                | 0.73                | 2.52               |

Poblaciones (grupo): Poblaciones anidadas en grupos; \*\*:  $p \leq 0.01$ ; ns: no significativo; gl: grados de libertad ♦ Populations (group): Population nested in groups; \*\*:  $p \leq 0.01$ ; ns: not significant; gl: degrees of freedom.

por los agricultores mantienen divergencias importantes; por ejemplo, las poblaciones con contenido mayor de proteína (12.5 %), triptófano (0.13 %) cenizas (1.84 %) y fibra cruda (1.65 %) fueron del grupo de *Xmejen nal*, igual que las de menor contenido de almidón (57.54 %) y lisina (0.27 %). Las poblaciones con contenido mayor de almidón (69.92 %), lisina (0.39 %) y aceite (4.52 %), fueron del grupo de *T'siit bakal*, así como las de contenido menor de proteína (9.35 %), triptófano (0.08 %), cenizas (1.13 %) y fibra cruda (0.72 %). La población con contenido menor de aceite (3.37 %) fue del grupo de *Xnuuk nal* (Cuadro 2). Es conveniente señalar que la composición del grano cambia con la fertilización (Zepeda-Bautista *et al.*, 2009) y depende del genotipo (Méndez-Montealvo *et al.*, 2005; Vázquez-Carrillo *et al.*, 2014)

## Almidón

El almidón es una reserva de carbohidratos que proveen energía y carbono al embrión. El tipo de endospermo harinoso o cristalino del grano de maíz se define por la proporción entre la cantidad de amilosa y amilopectina, característica controlada genéticamente (Lopes y Larkins, 1993). Para la industria alimentaria es un ingrediente valioso para espesar, gelatinizar, retener humedad y mejorar la textura de varios alimentos (Jia *et al.*, 2003).

El contenido de almidón entre poblaciones varió de 57.54 a 69.92 % y hubo diferencias significativas entre razas y variación amplia dentro de ellos. En promedio, el contenido mayor correspondió a los grupos *T'siit bakal* y *Xnuuk nal*, y los contenidos menores los presentaron *Xmejen nal* y *Nal t'eel*

depends on the genotype (Méndez-Montealvo *et al.*, 2005; Vázquez-Carrillo *et al.*, 2014).

## Starch

Starch is a reserve of carbohydrates that provide energy and carbon to the embryo. The type of floury or crystalline endosperm of maize grain is defined by the ratio between the amount of amylose and amylopectin, a genetically controlled trait (Lopes and Larkins, 1993). For the food industry, it is a valuable ingredient for thickening, gelatinize, retain moisture and improve the texture of many foods (Jia *et al.*, 2003).

The starch content between populations ranged from 57.54 to 69.92 %, and there were significant differences between races and wide variation within them. On average, the highest content corresponded to the *T'siit bakal* and *Xnuuk nal* groups, and lower contents were presented by *Xmejen nal* and *Nal t'eel* (Tables 2 and 3). These contents are similar to those found in races *Nal t'eel*, *T'siit bakal* and Tuxpeño (race to where *Xnuuk nal* belongs), according to Cervantes and Hernandez (1988); but on average were 13 % lower than the QPM (78 %) (Pimentel-González *et al.*, 2011), or the improved variety V530 (80 %) for the tropics (Salinas and Pérez, 1997).

Farmers in the community Yaxcabá (Yucatán) have observed that their maize is more resistant to insects (*Sitophilus* sp. and *Prostephanus* sp.) than the improved varieties during drying at the field and storehouse, because "grain is not rotted" trait that optimizes household consumption of this cereal throughout the year (Cazares and Dutch, 2004). In this regard, Palafox Caballero *et al.* (2008) point out

**Cuadro 2. Características químicas de 41 poblaciones de maíz de Yucatán, México.****Table 2. Chemical characteristics of 41 maize populations of Yucatan, Mexico**

| Grupo/ Población            | Proteína (%) | Lisina (%) | Triptófano (%) | Almidón (%) | Aceite (%) | Cenizas (%) | Fibra (%) | ID  |
|-----------------------------|--------------|------------|----------------|-------------|------------|-------------|-----------|-----|
| <i>Nal t'eel</i> DHS        | 0.15         | 0.008      | 0.0008         | 7.93        | 0.33       | 0.13        | 0.44      |     |
| A-1618 # (blanco)           | 10.80        | 0.295      | 0.090          | 64.63       | 3.99       | 1.37        | 1.61      | 01N |
| A-1619 # (naranja)          | 11.90        | 0.335      | 0.122          | 62.60       | 3.88       | 1.56        | 1.52      | 02N |
| <i>Xmejen nal</i> DHS       | 0.25         | 0.014      | 0.0013         | 13.37       | 0.56       | 0.22        | 0.75      |     |
| A-1705 # (blanco)           | 11.85        | 0.295      | 0.094          | 61.16       | 4.04       | 1.52        | 1.48      | 03X |
| A-1566 # (amarillo)         | 11.30        | 0.265      | 0.106          | 62.22       | 4.27       | 1.69        | 1.65      | 04X |
| A-1724 # (amarillo)         | 12.50        | 0.341      | 0.090          | 63.43       | 4.05       | 1.78        | 1.44      | 05X |
| A-1529 # (naranja)          | 10.20        | 0.337      | 0.109          | 61.54       | 3.89       | 1.37        | 1.53      | 06J |
| A-1664 # (naranja)          | 11.90        | 0.339      | 0.104          | 57.54       | 4.08       | 1.60        | 1.47      | 07J |
| A-1706 # (naranja)          | 11.85        | 0.374      | 0.105          | 60.41       | 3.45       | 1.73        | 1.36      | 08J |
| A-1706 PL (naranja)         | 10.85        | 0.371      | 0.129          | 61.09       | 3.65       | 1.71        | 1.47      | 09J |
| A-1778 # (naranja)          | 11.60        | 0.350      | 0.117          | 65.84       | 3.93       | 1.61        | 1.37      | 10J |
| A-1796 # (naranja)          | 11.60        | 0.370      | 0.126          | 67.20       | 4.19       | 1.72        | 1.28      | 11J |
| A-1610 # (naranja)          | 11.90        | 0.339      | 0.123          | 64.33       | 4.02       | 1.84        | 1.41      | 12J |
| A-1541 # (morado)           | 11.10        | 0.313      | 0.098          | 57.76       | 4.26       | 1.33        | 0.96      | 13J |
| <i>T'siit bakal</i> DHS     | 0.27         | 0.015      | 0.0014         | 14.31       | 0.60       | 0.23        | 0.80      |     |
| A-1509 # (blanco)           | 11.90        | 0.311      | 0.105          | 64.56       | 3.65       | 1.53        | 0.72      | 14T |
| A-1519 # (blanco)           | 10.65        | 0.314      | 0.090          | 65.46       | 3.86       | 1.48        | 0.74      | 15T |
| A-1519 PL (blanco)          | 10.70        | 0.286      | 0.078          | 69.92       | 3.58       | 1.33        | 1.11      | 16T |
| A-1522 # (blanco)           | 11.15        | 0.289      | 0.092          | 66.14       | 4.51       | 1.53        | 1.16      | 17T |
| A-1544 # (blanco)           | 10.35        | 0.298      | 0.091          | 65.01       | 4.52       | 1.39        | 1.08      | 18T |
| A-1549 # (blanco)           | 9.35         | 0.335      | 0.085          | 70.22       | 3.97       | 1.22        | 1.07      | 19T |
| A-1555 PL (blanco)          | 11.05        | 0.307      | 0.088          | 67.05       | 4.01       | 1.42        | 1.27      | 20T |
| A-1589 # (blanco)           | 9.60         | 0.306      | 0.091          | 70.00       | 3.91       | 1.41        | 1.25      | 21T |
| A-1591 # (blanco)           | 10.35        | 0.279      | 0.084          | 65.31       | 3.90       | 1.17        | 1.25      | 22T |
| A-1598 # (blanco)           | 10.10        | 0.310      | 0.091          | 64.63       | 4.02       | 1.13        | 1.21      | 23T |
| A-1600 # (blanco)           | 9.90         | 0.304      | 0.093          | 63.05       | 3.40       | 1.36        | 1.13      | 24T |
| A-1760 # (blanco)           | 9.75         | 0.305      | 0.080          | 65.46       | 3.67       | 1.36        | 1.23      | 25T |
| A-1764 # (blanco)           | 10.65        | 0.278      | 0.084          | 64.33       | 3.76       | 1.26        | 1.21      | 26T |
| A-1680 # (amarillo)         | 10.80        | 0.387      | 0.088          | 68.03       | 4.32       | 1.53        | 1.11      | 27T |
| A-1723 PL (amarillo)        | 10.70        | 0.359      | 0.096          | 64.18       | 4.15       | 1.56        | 1.59      | 28T |
| A-1501 # (morado)           | 11.60        | 0.342      | 0.104          | 60.86       | 3.91       | 1.49        | 1.04      | 29D |
| <i>Xnuuk nal</i> DHS        | 0.25         | 0.014      | 0.0013         | 13.62       | 0.57       | 0.22        | 0.76      |     |
| A-1569 # (blanco)           | 10.05        | 0.295      | 0.094          | 67.88       | 3.72       | 1.49        | 1.25      | 30C |
| A-1569 PL (blanco)          | 10.40        | 0.311      | 0.094          | 65.77       | 3.80       | 1.70        | 1.36      | 31C |
| A- 1627 # (blanco)          | 10.75        | 0.310      | 0.086          | 67.05       | 4.19       | 1.47        | 1.24      | 32C |
| A- 1712 # (blanco)          | 10.95        | 0.291      | 0.102          | 65.62       | 3.90       | 1.36        | 1.25      | 33C |
| A- 1712 PL (blanco)         | 10.40        | 0.313      | 0.097          | 66.75       | 3.85       | 1.44        | 1.30      | 34C |
| A-1754 # (blanco)           | 11.10        | 0.304      | 0.092          | 60.56       | 3.61       | 1.47        | 1.33      | 35C |
| A-1773 # (blanco)           | 11.05        | 0.351      | 0.103          | 63.27       | 4.43       | 1.47        | 1.26      | 36C |
| A- 1547 # (amarillo)        | 11.10        | 0.311      | 0.106          | 64.48       | 3.84       | 1.67        | 1.18      | 37C |
| A-1649 PL (amarillo)        | 10.70        | 0.310      | 0.096          | 69.62       | 3.81       | 1.35        | 1.37      | 38C |
| A-1654 # (amarillo)         | 10.65        | 0.335      | 0.109          | 67.50       | 3.97       | 1.72        | 1.45      | 39C |
| A-1693 # (amarillo)         | 9.90         | 0.330      | 0.096          | 64.78       | 3.37       | 1.66        | 1.26      | 40C |
| A-1772 # (amarillo)         | 10.35        | 0.324      | 0.098          | 65.61       | 4.13       | 1.43        | 1.30      | 41C |
| CV de todas las poblaciones | 1.44         | 2.08       | 1.35           | 2.92        | 3.77       | 2.41        | 7.92      |     |

DHS: Diferencia honesta significativa ( $p \leq 0.05$ ). CV: Coeficiente de variación. % en base seca. ID: Etiqueta ♦ DHS: Honest significant difference ( $p \leq 0.05$ ). CV: Coefficient of variation. % on dry basis ID: Label.

(Cuadros 2 y 3). Estos contenidos son similares a los hallados en las razas *Nal t'eel*, *T'siit bakal* y Tuxpeño (raza a la que pertenece el *Xnuuk nal*), de acuerdo con Cervantes y Hernández (1988); pero, en promedio fueron 13 % menores que el QPM (78 %) (Pimentel-González *et al.*, 2011) o la variedad V530 (80 %) mejorada para el trópico (Salinas y Pérez, 1997).

Los agricultores de la comunidad de Yaxcabá (Yucatán) han observado que sus maíces presentan resistencia mayor a insectos (*Sitophilus* sp. y *Prostephanus* sp.) que las variedades mejoradas durante el secado en el campo y el almacén, ya que “*el grano no se pica*”, característica que optimiza el consumo familiar de este cereal a lo largo del año (Cázares y Dutch, 2004). Al respecto, Palafox Caballero *et al.* (2008) mencionan que el daño causado por estos insectos está asociado a las características físicas y químicas del grano y tiene impacto mayor en climas tropicales secos y húmedos, pues la infestación comienza en la etapa de grano lechoso y causa pérdidas considerables, cuando la cosecha permanece en el campo por tiempos prolongados. En este caso se dificulta la disminución de la humedad a 12 y 14 %, y al almacenar el grano, la proliferación aumenta. Por esto es importante identificar y conservar materiales resistentes a esos insectos y esta tarea ya la realizan los agricultores de Yaxcabá.

### Proteína

El contenido de proteína varió de 9.35 a 12.50 % (Cuadro 2). Los grupos precoces *Nal t'eel* y *Xmejen nal* tuvieron contenido proteico promedio mayor ( $p \leq 0.05$ ) que los tardíos *T'siit bakal* y *Xnuuk nal* (Cuadro 3). Sólo cuatro de las 16 poblaciones (25 %) de *T'siit bakal* mostraron un porcentaje similar al de los tipos precoces (superior a 11 %). En *Xmejen nal*, 9 de las 11 poblaciones mostraron valores mayores a 11 % y una de ellas (A-1724 #) mayor a 12 % (Cuadro 2). El contenido de proteína en otras variedades de maíz oscila entre 8 y 11 % de su peso (Méndez-Montealvo *et al.*, 2005). La fracción más importante es la zeína (52 % del total) y son deficientes en lisina y triptófano, aminoácidos esenciales para los humanos y animales (FAO, 1992; Galicia-Flores *et al.*, 2011).

El contenido de proteína estuvo en el intervalo (8.9 a 12.9 %) de las poblaciones de maíces nativos

that the damage caused by these insects is associated with the physical and chemical characteristics of grain, which has greater impact in dry and humid tropical climates because infestation starts at the milky stage and causes considerable losses when the crop remains in the field for long periods. In this case the moisture decrease to 12 and 14 % is difficult and therefore when the grain is stored, the proliferation increases. Therefore, it is important to identify and preserve these materials resistant to insects and this task is already performed by farmers of Yaxcabá.

### Protein

Protein content ranged from 9.35 to 12.50 % (Table 2). Early groups *Nal t'eel* and *Xmejen nal* had average protein content significantly ( $p \leq 0.05$ ) higher than late *T'siit bakal* and *Xnuuk nal* (Table 3). Only four of the 16 populations (25 %) of *T'siit bakal* showed a similar percentage to those of the early types (higher than 11 %). For *Xmejen nal*, 9 of the 11 populations presented percentages higher than 11 % and one of them (A-1724#) higher than 12 % (Table 2). Protein content in other maize varieties ranges from 8 to 11 % of their weight (Méndez-Montealvo *et al.*, 2005). The most important fraction is the zein (52 % of total) and it is deficient in lysine and tryptophan, essential amino acids for humans and animals (FAO, 1992; Galicia-Flores *et al.*, 2011).

The protein content was in the range (8.9 to 12.9 %) of native maize populations of Mexico (Cervantes and Hernandez, 1988; Vázquez *et al.*, 2003; Vera-Guzman *et al.*, 2012), it was similar to QPMV5 (11.5 %) (Mendoza-Elos *et al.*, 2006) and some outscored the imported maize (8.6 %) (Salinas *et al.*, 1995), the improved varieties for tropical environment Veracruz V-530 8.4 %) and V-531 of Chiapas (9.6 %) (Salinas and Perez, 1997), and the improved varieties Tigre (9.3 %) and Bengal (9.7 %) and QPM (8.3 %) (Pimentel-González *et al.*, 2011).

Vázquez *et al.* (2003) report 12.1% of protein in *Nal t'eel*, value close to that of *Nal t'eel* of orange color (11.9 %) in this study (Table 2). These authors show similar values in the types *Xnuuk nal* and *T'siit bakal* of Guatemala (10.1 %), Olotillo (11.3 %) and Tuxpeño-Tepecintle (10.7 %). The 9.5 % content of protein in maize Tuxpeño of Veracruz (Salinas and

**Cuadro 3. Comparación de medias de las características químicas de 41 poblaciones de maíz en promedio por tipo morfológico, de Yucatán, México.****Table 3. Mean comparison of chemical characteristics of 41 maize populations on average by morphological type, of Yucatan, Mexico.**

| Grupo               | Proteína (%) | Lisina  |      | Tryptófano |      | Almidón (%) | Aceite (%) | Cenizas (%) | Fibra (%) |
|---------------------|--------------|---------|------|------------|------|-------------|------------|-------------|-----------|
|                     |              | (%)     | (g)* | (%)        | (g)* |             |            |             |           |
| <i>Nal t'eel</i>    | 11.35 a      | 0.315 b | 2.78 | 0.106 b    | 0.93 | 63.60 bc    | 3.94 a     | 1.46 b      | 1.57 a    |
| <i>Xmejen nal</i>   | 11.51 a      | 0.336 a | 2.92 | 0.109 a    | 0.95 | 62.04 c     | 3.98 a     | 1.63 a      | 1.40 b    |
| <i>T'siit bakal</i> | 10.54 b      | 0.313 b | 2.97 | 0.090 d    | 0.85 | 65.89 a     | 3.95 a     | 1.38 c      | 1.13 c    |
| <i>Xnuuk nal</i>    | 10.62 b      | 0.315 b | 2.97 | 0.098 c    | 0.92 | 65.74 ab    | 3.89 a     | 1.52 b      | 1.29 b    |
|                     | 8.475        | 4.633   |      | 4.314      |      | 5.206       | 1.887      | 7.385       | 2.541     |
| DHS                 | E-04         | E-05    |      | E-06       |      | E-02        | E-03       | E-04        | E-03      |

DHS: Diferencia honesta significativa ( $p \leq 0.05$ ). Valores con letras diferentes son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). \*Gramos de aminoácido en 100 g de proteína ♦ DHS: Honest significant difference ( $p \leq 0.05$ ). Values with different letters are statistically different (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). \*Grams of amino acids in 100 g of protein.

de México (Cervantes y Hernández, 1988; Vázquez *et al.*, 2003; Vera-Guzmán *et al.*, 2012), fue parecido al de QPMV5 (11.5 %) (Mendoza-Elos *et al.*, 2006) y algunos superaron a los maíces importados (8.6 %) (Salinas *et al.*, 1995), a las variedades mejoradas para trópico V-530 de Veracruz (8.4 %) y V-531 de Chiapas (9.6 %) (Salinas y Pérez, 1997), y a las variedades mejoradas Tigre (9.3 %) y Bengala (9.7 %) y QPM (8.3 %) (Pimentel-González *et al.*, 2011).

Vázquez *et al.* (2003) reportan 12.1 % de proteína en *Nal t'eel*, valor cercano al de *Nal t'eel* de color anaranjado (11.9 %) en el presente estudio (Cuadro 2). Estos autores muestran valores parecidos en los tipos *Xnuuk nal* y *T'siit bakal* de Guatemala (10.1 %), Olotillo (11.3 %) y Tuxpeño-Tepecintle (10.7 %). El contenido de 9.5 % de proteína en maíz Tuxpeño de Veracruz (Salinas y Pérez, 1997) fue menor al promedio del *Xnuuk nal* (10.62 %) obtenido en este estudio (Cuadro 3) y clasificado previamente como tipo Tuxpeño (Camacho-Villa y Chávez-Servia, 2004).

### Lisina

El contenido de lisina varió de 0.27 a 0.39 % (Cuadro 2). El promedio fue similar en *Nal t'eel*, *T'siit bakal* y *Xnuuk nal* y significativamente mayor al de *Xmejen nal* (Cuadro 3). Estos valores son similares a los obtenidos en Nal-Tel (0.34 %), Tuxpeño (0.30 %) e híbridos con diferente tipo de endospermo (0.31-0.32 %) y superiores a los de Dzit-Bacal

Pérez, 1997) was lower than the average of *Xnuuk nal* (10.62 %) obtained in this study (Table 3) and previously classified as Tuxpeño type (Camacho-Villa and Chavez-Servia, 2004).

### Lysine

The lysine content ranged from 0.27 to 0.39 % (Table 2). The average was similar in *Nal t'eel*, *T'siit bakal* and *Xnuuk nal* and significantly higher than that of *Xmejen nal* (Table 3). These values are similar to those obtained in Nal-Tel (0.34 %), Tuxpeño (0.30 %) and hybrids with different type of endosperm (0.31 to 0.32 %) and higher than those of Dzit-Bacal (0.30 %) (Cervantes and Hernández, 1988; Salinas *et al.*, 1992). Compared to improved maize the four types analyzed (Table 3) had on average lower contents (from 2.78 to 2.97 g of amino acid in 100 g of protein) than the varieties Tigre (3.3 g) Bengal (3.6 g) and the QPM (5.6 g) evaluated by Pimentel-González *et al.* (2011).

### Tryptophan

Tryptophan content varied between populations of maize. Populations derived from fraternal pollination with more than 0.1 % corresponded to *Xmejen nal* and *Nal t'eel*, and that of lower content (0.08%) to *T'siit bakal* (Table 2). The four groups analyzed (Table 3) had 0.85 to 0.95 g tryptophan 100 g<sup>-1</sup> protein; these values are than those of the

(0.30 %) (Cervantes y Hernández, 1988; Salinas *et al.*, 1992). En comparación con maíces mejorados los cuatro tipos analizados (Cuadro 3) tuvieron en promedio contenidos menores (2.78 a 2.97 g aminoácido 100 g<sup>-1</sup> de proteína) a las variedades Tigre (3.3 g), Bengala (3.6 g) y al QPM (5.6 g) evaluadas por Pimentel-González *et al.* (2011).

### Triptófano

El contenido de triptófano varió entre las poblaciones de maíz. Las poblaciones derivadas de polinización fraternal con más de 0.1 % correspondieron a *Xmejen nal* y *Nal t'eel*, y la de contenido menor (0.08 %) a *T'siit bakal* (Cuadro 2). Los cuatro grupos analizados (Cuadro 3) tuvieron de 0.85 a 0.95 g triptófano 100 g<sup>-1</sup> de proteína, estos valores son superiores a los de las variedades Tigre (0.77 g) y Bengala (0.80 g) y menores al del QPM (1.15) evaluadas por Pimentel-González *et al.* (2011). Salinas *et al.* (1992) señalan que los maíces de endospermo cristalino o córneo tienen contenido alto de glutelina, que contiene triptófano, y actúa como cementante natural; esta característica puede existir en los maíces del grupo *Nal t'eel* y *Xmejen nal*.

Algunas poblaciones nativas de maíz de Oaxaca (Vera-Guzmán *et al.*, 2012), Hidalgo (Vázquez *et al.*, 2010) y Nayarit (Vidal *et al.*, 2008) son sobresalientes en la cantidad y calidad de proteína relacionadas al contenido de lisina y triptófano; algunas tienen contenidos mayores que en maíces QPM (Vera-Guzmán *et al.*, 2012). Lo anterior confirma la importancia de evaluar y conocer la variabilidad de la composición química del grano de maíces locales, como una herramienta para el mejoramiento genético de su calidad nutritiva.

### Cenizas

Los contenidos de ceniza fluctuaron entre 1.13 y 1.84 % (Cuadro 2) y *Xmejen nal* presentó el promedio mayor, lo siguió *Nal t'eel* y *Xnuuk nal* y *T'siit bakal* tuvo el más bajo (Cuadro 3). Los minerales en el grano de maíz son fósforo, potasio, magnesio, sodio, calcio y en cantidad menor hierro, cobre, manganeso y zinc, principalmente en el germen (FAO, 1992), en cuya muestra calcinada se presenta 10.1 % de las cenizas (Paredes-López y Saharópulos, 1982). En maíces Tuxpeño de Veracruz (1.58 %) y

variedades Tigre (0.77 g) and Bengala (0.80 g) and lower than QPM (1.15) evaluated by Pimentel-González *et al.* (2011). Salinas *et al.* (1992) report that maize of crystalline or corneous endosperm has high content of glutelin containing tryptophan, and acts as a natural cement; this trait can exist in maize of the *Nal t'eel* and *Xmejen nal* group.

Some native maize populations of Oaxaca (Vera-Guzmán *et al.*, 2012), Hidalgo (Vázquez *et al.*, 2010) and Nayarit (Vidal *et al.*, 2008) are outstanding in the quantity and quality of protein related to lysine and tryptophan content; some of them with higher contents than QPM (Vera Guzmán *et al.*, 2012). This confirms the importance of evaluating and determining the variability of the chemical composition of local maize grains as a tool for the genetic improvement of their nutritional quality.

### Ash

The ash contents varied between 1.13 and 1.84 % (Table 2) and *Xmejen nal* had the highest average, followed by *Nal t'eel* and *Xnuuk nal* and *T'siit bakal* had the lowest one (Table 3). Minerals in maize grain are phosphorus, potassium, magnesium, sodium, calcium and in less amount iron, copper, manganese and zinc mainly in the germ (FAO, 1992) in which, after the sample is calcined, 10.1 % of ash is presented (Paredes-López and Saharópulos, 1982). In maize Tuxpeño of Veracruz (1.58 %) and tropical varieties V-530 of Veracruz (1.32 %) and V-531 of Chiapas (1.54 %) ash values are similar to those of the present study (Salinas and Vázquez, 1995; Salinas and Perez, 1997). In the case of maize *Nal t'eel* there was a positive and highly significant correlation ( $p \leq 0.01$ ) between the ash content and the content of essential amino acids lysine ( $r=0.99$ ) and tryptophan ( $r=0.97$ ), indicating that both characteristics can be in higher or lower amount in the evaluated populations.

### Oil

The oil content varied from 3.37 % in A-1544 # of the race *T'siit bakal*, to 4.52 % in A-1693 # of the race *Xnuuk nal*, but between races the average amount was statistically similar (3.88 to 3.98 %) (Tables 2 and 3). The oil content ranges from 3 to

las variedades tropicales V-530 de Veracruz (1.32 %) y V-531 de Chiapas (1.54 %) los valores de cenizas son similares a los del presente estudio (Salinas y Vázquez, 1995; Salinas y Pérez, 1997). En el maíz *Nal t'eel* hubo correlación positiva y altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ) entre el contenido de cenizas y el de los aminoácidos esenciales lisina ( $r=0.99$ ) y triptófano ( $r=0.97$ ), lo que indica que ambas características puede estar en cantidad mayor o menor en las poblaciones evaluadas.

### Aceite

El contenido de aceite varió desde 3.37 % en A-1544 #, de la raza *T'siit bakal*, hasta 4.52 % en A-1693 #, de la raza *Xnuuk nal*, pero, entre las razas la cantidad promedio fue estadísticamente similar (3.88 a 3.98 %) (Cuadros 2 y 3). El contenido de aceite varía de 3 a 18 % y contiene lípidos con cadenas hidrocarbonadas de ácidos grasos poli-insaturados, como linoleico y araquidónico, los cuales son antioxidantes naturales que ayudan al aceite a mantenerse estable (FAO, 1992). En este estudio, los contenidos de aceite de las poblaciones analizadas fueron inferiores a los de otras poblaciones nativas de maíz de México (de 3.9 a 7.6 %) y particularmente menores a los de las razas Nal-Tel (5.2 %), Tuxpeño-Tepecintle (4.3 %) y Dzit-Bacal de Guatemala (5.5 %), pero parecidos al maíz Reventador (3.6 %) y Tuxpeño de Veracruz (3.5 %) (Salinas y Pérez, 1997; Vázquez *et al.*, 2003).

### Fibra cruda

El contenido de fibra cruda varió de 0.72 a 1.65 % (Cuadro 2). En promedio *Nal t'eel* tuvo contenido mayor y fue seguido por *Xmejen nal* y *Xnuuk nal*, estadísticamente similares, y por *T'siit bakal* con el contenido menor (Cuadro 3). En otros estudios *Xnuuk nal* presentó más fibra (1.29 %) que el Tuxpeño (1.10 %) (Salinas y Pérez, 1997).

### Análisis de componentes principales

El análisis de CP explicó 69.8 % de la variación total en los primeros tres componentes. Las variables con valor descriptivo mayor, con base en el valor de

18 % and contains lipids with hydrocarbon chains of polyunsaturated fatty acids such as linoleic and arachidonic acids which are natural antioxidants that help oil to remain stable (FAO, 1992). In this study, the oil contents of analyzed populations were lower than those of other native maize populations of Mexico (from 3.9 to 7.6 %) and particularly lower than those of the Nal-Tel races (5.2 %), Tuxpeño-Tepecintle (4.3 %) and Dzit-Bacal of Guatemala (5.5 %), but similar to maize Reventador (3.6 %) and Tuxpeño of Veracruz (3.5 %) (Salinas and Pérez, 1997; Vázquez *et al.*, 2003).

### Crude fiber

Crude fiber content ranged from 0.72 to 1.65 % (Table 2). On average *Nal t'eel* had the highest content and was followed by *Xmejen nal* and *Xnuuk Nal*, statistically similar, and by *T'siit bakal* with the lowest content (Table 3). In other studies, *Xnuuk nal* presented a higher amount of fiber (1.29 %) than Tuxpeño (1.10 %) (Salinas and Perez, 1997).

### Principal component analysis

CPs analysis explained 69.8 % of the total variation in the first three components. The variables with more descriptive value, based on the value of the  $r^2$  of the original variables and CPs, were the percentages of: protein ( $r^2=0.74$ ), lysine ( $r^2=0.98$ ), tryptophan ( $r^2=0.88$ ), oil ( $r^2=0.99$ ), ash ( $r^2=0.95$ ) and fiber ( $r^2=0.96$ ).

In the dendrogram of cluster analysis, with distance of 0.062 of the semi-partial  $r^2$ , four groups of populations with similar chemical characteristics were identified, confirmed with the highly significant values ( $p \leq 0.01$ ) of the Mahalanobis distance: 10.56 between groups I and II, 19.80 between I and III, 17.95 between I and IV, 54.62 between II and III, 31.31 between II and IV and 23.69 between III and IV (Figure 2).

The characteristics of the populations that formed the four groups are: 1) 15 populations mainly from *Xnuuk nal* (five white and four yellow), with high content of fiber, intermediate content of protein, starch, tryptophan, oil and ash, and low lysine content; 2) 10 populations mainly from *T'siit bakal* (eight white) with high starch and intermediate fiber

la  $r^2$  de las variables originales y los CP, fueron los porcentajes de: proteína ( $r^2=0.74$ ), lisina ( $r^2=0.98$ ), triptófano ( $r^2=0.88$ ), aceite ( $r^2=0.99$ ), cenizas ( $r^2=0.95$ ) y fibra ( $r^2=0.96$ ).

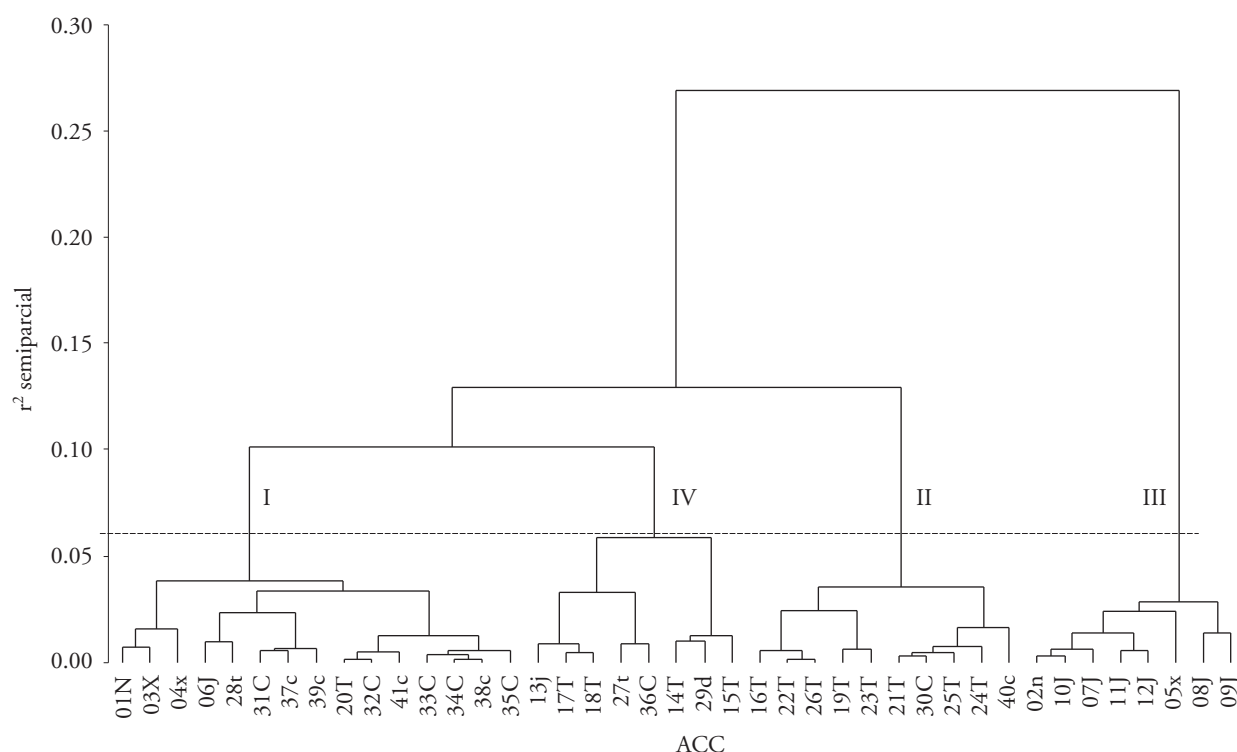
En el dendrograma del análisis de conglomerados, con distancia de 0.062 del  $r^2$  semiparcial, se identificaron cuatro grupos de poblaciones con características químicas afines, confirmados con los valores altamente significativos ( $p \leq 0.01$ ) de la distancia de Mahalanobis: 10.56 entre los grupos I y II, 19.80 entre I y III, 17.95 entre I y IV, 54.62 entre II y III, 31.31 entre II y IV y 23.69 entre III y IV (Figura 2).

Las características de las poblaciones que formaron los cuatro grupos son: 1) 15 poblaciones principalmente de *Xnuuk nal* (cinco de color blanco y cuatro amarillo), con alto contenido de fibra, intermedio de proteína, almidón, triptófano, aceite y cenizas, y bajo de lisina; 2) 10 poblaciones principalmente de *T'siit bakal* (ocho de color blanco), con contenido alto de almidón, intermedio de fibra y bajo de proteína, lisina, triptófano, aceite y cenizas; 3) ocho poblaciones principalmente de *Xmejen nal* (seis de color anaranjado), con contenido

content and low protein, lysine, tryptophan, oil and ash content; 3) eight populations mainly from *Xmejen nal* (six of orange color), with high content in protein, lysine, tryptophan, ash and fiber, and low content in oil and starch; 4) eight populations mainly from *T'siit bakal* (four white, one yellow and one purple), with high oil content, intermediate content of protein, lysine, tryptophan and low content of ash and starch.

As a whole, the first two discriminant functions explained 98 % of the total variability (72 and 26 %), with eigenvalues of 6.87 and 2.48, respectively. The variables with higher contribution to the first discriminant function were protein (0.85), tryptophan (0.74), ash (0.70) and lysine (0.64), and for the second were fiber (0.88) and oil ( $-0.40$ ). Values of the total canonical structure ranged between  $-0.40$  and 0.85 (Figure 3).

The trends of variability of the chemical components of grain observed with the analysis in this study also coincided with the tests performed on local varieties of China, that outstand for their content of protein, oil and starch (Xiang *et al.*, 2010).



**Figura 2. Dendrograma del análisis de conglomerados de agrupamiento jerárquico mediante la distancia  $r^2$  semiparcial.**  
**Figure 2. Dendrogram of cluster analysis of hierarchical clustering by semi-partial  $r^2$  distance.**

alto de proteína, lisina, triptófano, cenizas y fibra, y bajo de aceite y almidón; 4) ocho poblaciones principalmente de *T'siit bakal* (cuatro de color blanco, una amarilla y una morada), con contenido alto de aceite, intermedio de proteína, lisina, triptófano y bajo de cenizas y almidón.

En conjunto, las primeras dos funciones discriminantes explicaron 98 % de la variabilidad total (72 y 26 %), con valores propios de 6.87 y 2.48, respectivamente. Las variables con aportación mayor a la primera función discriminante fueron proteína (0.85), triptófano (0.74), cenizas (0.70) y lisina (0.64), y para la segunda fueron fibra (0.88) y aceite (−0.40). Los valores de la estructura canónica total oscilaron entre −0.40 y 0.85 (Figura 3).

Las tendencias de la variabilidad de los componentes químicos del grano observadas con el análisis en el presente estudio, también coincidieron con pruebas realizadas en variedades locales de China, que sobresalientes por su contenido de proteína, aceite y almidón (Xiang *et al.*, 2010). En maíces locales del este de Serbia, además de variabilidad morfológica se identificó variación en los pesos moleculares de las fracciones de zeínas (Jaric *et al.*, 2010). En una colección de variedades locales de maíz de Portugal se presentó variabilidad con respecto a sus características tecnológicas para la elaboración de pan (relacionada con su composición química), y también se identificaron materiales sobresalientes para el mejoramiento genético y la conservación *in situ* (Vaz *et al.*, 2007).

## CONCLUSIONES

La composición del grano fue significativamente diferente entre las poblaciones y entre los grupos de maíz originarios de Yaxcabá, Yucatán. La cantidad de proteína y aminoácidos fue sobresaliente en ocho poblaciones de los grupos de maíces precoces *Xmejen nal* y *Nal t'eel*, y en este último hubo una correlación significativa entre contenido de cenizas con el de lisina y triptófano.

Los cuatro grupos de poblaciones identificados con el análisis de conglomerados y con el análisis discriminante, se formaron principalmente con individuos *Xnuuk nal* (I), con contenidos altos de fibra y bajos de lisina, *T'siit bakal* (II) con contenido alto de almidón y menos proteína, lisina y triptófano, *Xmejen nal* (III) con contenido alto de

In maize landraces of eastern Serbia, in addition to morphological variability variation in the molecular weights of the zein fractions was identified (Jaric *et al.*, 2010). In a collection of local maize varieties of Portugal variability was found regarding their technological characteristics for making bread (related to its chemical composition), and also outstanding materials for the genetic improvement and *in situ* conservation were identified (Vaz *et al.*, 2007).

## CONCLUSIONS

The composition of grain was significantly different between populations and between groups of maize originating in Yaxcabá, Yucatán. The amount of protein and amino acids was outstanding in eight populations of early maize groups *Xmejen nal* and *Nal t'eel*, and in this latter there was a significant correlation between ash content and lysine and tryptophan content.

The four population groups identified by cluster analysis and discriminant analysis were mainly formed with individuals of *Xnuuk nal* (I), with high contents of fiber and low contents of lysine, *T'siit bakal* (II) with high starch content and less protein, lysine and tryptophan, *Xmejen nal* (III) high in protein, lysine and tryptophan and *T'siit bakal* (IV) with higher oil content and ash and starch low content.

Results confirm that among local maize of the community of Yaxcabá, Yucatán there is variability of the chemical composition, and the outstanding maize grains can be utilized for genetic improvement, with amplitude at adaptation to the environment, forms of cultivation and consumption or to formulate strategies for *in situ* conservation of local maize stocks.

—End of the English version—



proteína, lisina y triptófano y *T'siit bakal* (IV) con contenido mayor de aceite y bajo de cenizas y almidón.

Los resultados confirman que entre los maíces locales de la comunidad de Yaxcabá, Yucatán hay variabilidad de la composición química, y los sobresalientes pueden aprovecharse para el mejoramiento

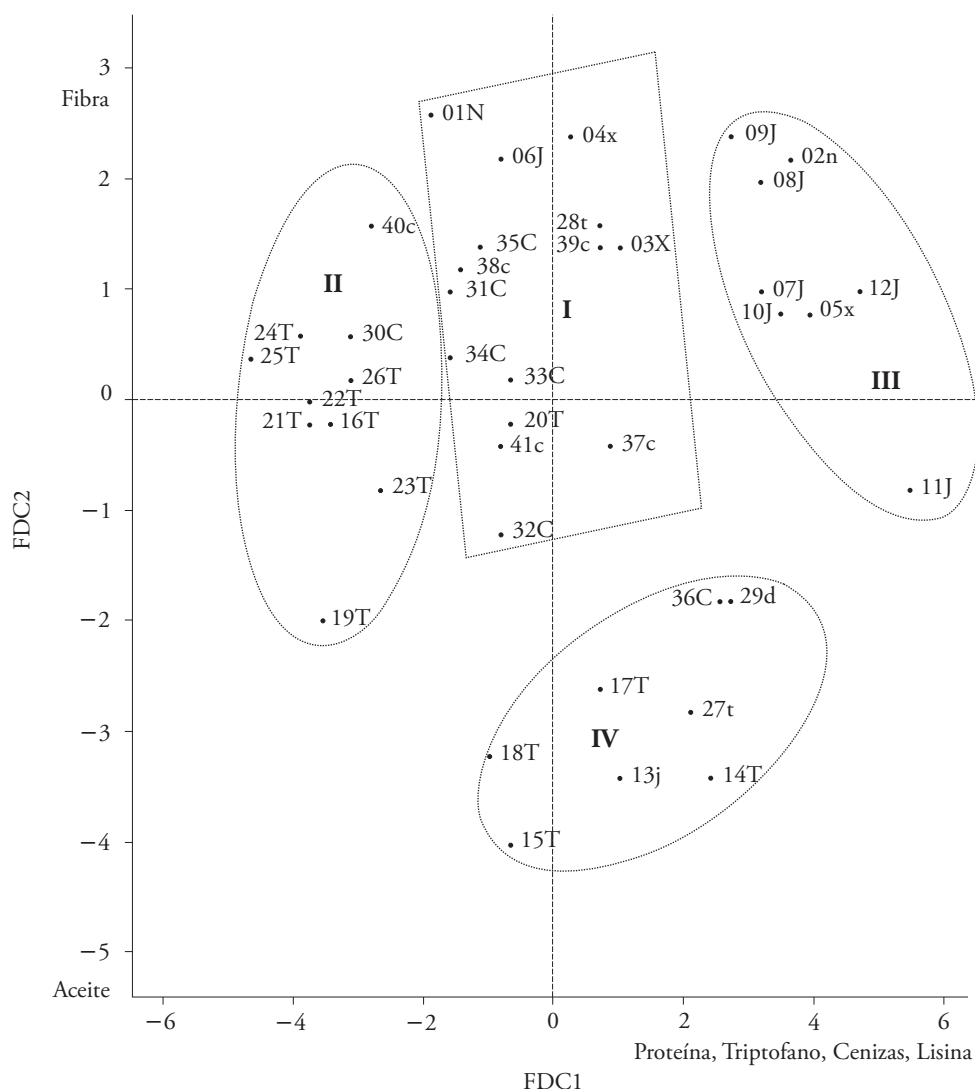


Figura 3. Representación gráfica de las dos primeras funciones discriminantes (FDC) y ubicación de los grupos del análisis de conglomerados. *Nal t'eel*-Blanco: N; *Nal t'eel*-Naranja: n; *Xmejen nal*-Blanco: X; *Xmejen nal*-Amarillo: x; *Xmejen nal*-Naranja: J; *Xmejen nal*-Morado: j; *T'siit bakal*-Blanco: T; *T'siit bakal*-Amarillo: t; *T'siit bakal*-Morado: d; *Xnuuk nal*-Blanco: C; *Xnuuk nal*-Amarillo: c.

Figure 3. Graphical representation of the first two discriminant functions (FDC) and location of cluster analysis groups. *Nal t'eel*-White: N; *Nal t'eel*-Orange: n; *Xmejen nal*-White: X; *Xmejen nal*-Yellow: x; *Xmejen nal*-Orange: J; *Xmejen nal*-Purple: j; *T'siit bakal*-White: T; *T'siit bakal*-Yellow: t; *T'siit bakal*-Purple: d; *Xnuuk nal*-White: C; *Xnuuk nal*-Yellow: c.

genético, con amplitud en adaptación al ambiente, formas de cultivo y de consumo o para formular estrategias de conservación *in situ* de los acervos locales de maíz.

## LITERATURA CITADA

AACC (American Association of Cereal Chemists). 1999. Official Methods of Analysis. Methods 08-01.01 and 46-

11.01. 11th. edition. St. Paul Minnesota, USA. doi: doi.org/10.1094/AACC.

Antonio M., M., J. L. Arellano V., G. García de los S., S. Miranda C., J. A. Mejía C., y F. V. González C. 2004. Variedades criollas de maíz azul raza Chalqueño. Características agronómicas y calidad de semilla. Rev. Fitotec. Mex. 27: 9-15.

Camacho-Villa, T. C., y J. L. Chávez-Servia. 2004. Diversidad morfológica del maíz criollo de la región centro de Yucatán, México. In: Chávez-Servia, J. L., J. Tuxill, y D.I. Jarvis

- (eds). Manejo de la Diversidad de los Cultivos en los Agroecosistemas Tradicionales. IPGRI. Cali, Colombia. pp. 47-57.
- Castro-Nava, S., V. H. Ramos-Ortíz, C. A. Reyes-Méndez, F. Briones-Encinia, and J. A. López-Santillán. 2012. Preliminary field screening of maize landrace germplasm from northeastern Mexico under high temperatures. *Maydica* 56: 1779.
- Cázares S., E., y G. Dutch J. 2004. La diversidad genética de las variedades locales de maíz, frijol, calabaza y chile, y su relación con características culinarias. In: Chávez-Servia, J. L., J. Tuxill, y D. I. Jarvis (eds). Manejo de la Diversidad de los Cultivos en los Agroecosistemas Tradicionales. IPGRI. Cali, Colombia. pp: 250-255.
- Cervantes S., T., y J. M. Hernández C. 1988. Clasificación de razas mexicanas de maíz por características químicas del grano. *Agrociencia* 74: 169-183.
- Cody, R. P., and J. K. Smith. 1991. Applied Statistics and the SAS Programming Language. Third Edition. Prentice Hall. New Jersey. 403 p.
- Durán-Hernández, D., G. F. Gutiérrez-Hernández, J. L. Arellano-Vázquez, E. García-Ramírez, y J. Virgen-Vargas. 2011. Caracterización molecular y germinación de semillas de maíces criollos azules con envejecimiento acelerado. *Agron. Mesoam.* 22: 11-20.
- FAO, 1992. Maize in human nutrition. Food and nutrition series No. 25. Rome Italy. 50 p.
- Galicia-Flores, L. A., C. Islas-Caballero, A. Rosales-Nolasco, y N. Palacios-Rojas. 2011. Método económico y eficiente para la cuantificación colorimétrica de lisina en grano de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 34: 285-289.
- Galicia, L., E. Nurit, A. Rosales, y N. Palacios-Rojas. 2009. Laboratory protocols. Maize nutrition quality and plant tissue analysis laboratory. CIMMYT, 42.
- Hernandez, H. H., and L. S. Bates. 1969. A modified method for rapid tryptophan analysis in maize. *CIMMYT. México, D.F. Research Bulletin* 13: 3-7.
- Jia, Y., K. Seetharamana, K. Wonga, L. M. Pollack, S. Duwick, J. Janea, and P. J. White. 2003. Thermal and structural properties of unusual starches from developmental corn lines. *Carbohydr. Polym.* 51: 439-450.
- Jaric J. K., S. Prodanovic, M. Iwarsson, and A. Minina. 2010. Diversity of maize (*Zea mays* L.) landraces in eastern Serbia: morphological and storage protein characterization. *Maydica* 55: 231-238.
- Lopes, M. A., and B. A. Larkins. 1993. Endosperm origin, development, and function. *Plant Cell* 5: 1383-1399.
- López-Romero, G., A. Santacruz-Varela, A. Muñoz-Orozco, F. Castillo-González, L. Córdova-Téllez, y H. Vaquera-Huerta. 2005. Caracterización morfológica de poblaciones nativas de maíz del Istmo de Tehuantepec, México. *Interciencia* 30: 284-290.
- Melesio C., J. L., R. E. Preciado O., A. D. Torreón I., M. G. Vázquez C., P. Herrera M., C. A. Amaya G., y S. O. Serna S. 2008. Potencial productivo, propiedades físicas y valor nutricional de híbridos de maíz de alta calidad proteínica. *Agric. Téc. Méx.* 34: 225-233.
- Méndez-Montelvo, G., J. Solorza-Feria, M. Velázquez del V., N. Gómez-Montiel, O. Paredes-López, y L. A. Bello-Pérez. 2005. Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivadas en México. *Agrociencia* 39: 267-274.
- Mendoza-Elos, M., E. Andrio-Enríquez, J. M. Juárez-Goiz, C. Mosqueda-Villagómez, L. Latournerie-Moreno, G. Castañón-Nájera, A. López-Benítez, y E. Moreno-Martínez. 2006. Contenido de lisina y triptófano en genotipos de maíz de alta calidad proteica y normal. *UyC* 22: 153-161.
- Palafox-Caballero, A., M. Sierra-Macías, A. Espinosa-Calderón, F. Rodríguez-Montalvo, y E. N. Becerra-Leor. 2008. Tolerancia a infestación por gorgojos (*Sitophilus* spp.) en genotipos de maíz comunes y de alta calidad proteínica. *Agron. Mesoam.* 19(1): 39-46.
- Paredes-López, O., and M. E. Saharópulos. 1982. Scanning electron microscopy studies of limed corn kernels for tortilla making. *J. Food Technol.* 17: 687-693.
- Pimentel-González, D. J., M. E. Rodríguez-Huezo, R. G. Campos-Montiel, A. Trapala-Islas, y A. D. Hernández-Fuentes. 2011. Influencia de la variedad de maíz en las características fisicoquímicas del huitlacoche (*Ustilago maydis*). *Rev. Mex. Ing. Quim.* 10: 171-178.
- Salinas M., Y., J. L. Arellano y B. F. Martínez. 1992. Propiedades físicas, químicas y correlaciones de maíces híbridos precoces para valles altos. *Arch. Latinoam. Nutr.* 42: 161-167.
- Salinas, Y., J. Castillo, y G. Vázquez. 1995. Aspectos reológicos y de textura en masa y tortilla de maíz (*Zea mays* L.). *Alimentos* 20: 4-11.
- Salinas M., Y., y H. P. Pérez. 1997. Calidad nixtamalera-tortillera en maíces comerciales de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 20: 121-136.
- Salinas M., Y., y G. Vázquez C. 2006. Metodologías de análisis de la calidad nixtamalera-tortillera en maíz. *INIFAP. Folleto Técnico* No. 24. 98 p.
- Steel, G. D. R., and J. H. Torrie. 1980. Principles and Procedures of Statistics a Biometrical Approach. Second Edition. Mc. Graw Hill. 185 p.
- Vaz P., M. C., P. M. Moreira, V. Carvalho, and S. Pego. 2007. Collecting maize (*Zea mays* L. convar. *mays*) with potential technological ability for bread making in Portugal. *Genet. Resour. Crop Ev.* 54: 1555-1563.
- Vázquez M., G., J. P. Pérez C., J. M. Hernández C., M. L. Marrufo D., y E. Martínez R. 2010. Calidad de grano y de tortillas de maíces criollos del altiplano y valle del Mezquital México. *Rev. Fitotec. Mex.* 33 (Especial 4): 49-56.
- Vázquez C., G., L. Guzmán, J. L. Andrés, F. Márquez, y J. Castillo. 2003. Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas. *Rev. Fitotec. Mex.* 26: 231-238.
- Vázquez-Carrillo, M. G., D. Santiago-Ramos, Y. Salinas-Moreno, J. López-Cruz, Ma. C. Ybarra-Moncada, y A. Ortega-Corona. 2014. Genotipos de maíz (*Zea mays* L.) con diferente contenido de aceite y su relación con la calidad y textura de la tortilla. *Agrociencia* 48: 159-172.
- Vera-Guzmán, A. M., J. L. Chávez-Servia, y J. C. Carrillo-Rodríguez. 2012. Proteína, lisina y triptófano en poblaciones nativas de maíz mixteco. *Rev. Fitotec. Mex.* 35 (Especial 5): 7-13.
- Vidal M., V. A., G. Vázquez C., B. Coutiño E., A. Ortega C., J. L. Ramírez D., R. Valdivia B., M. J. Guerrero H., F. J. Caro V., y O. Cota A. 2008. Calidad proteínica en colectas de

- maíces criollos de la Sierra de Nayarit, México. Rev. Fitotec. Mex. 31 (Especial 3): 15-21.
- Xiang, K., K. C. Yang, G. T. Pan, L. M. Reid, W. T. Li, X. Zhu, and Z. M. Zhang. 2010. Genetic diversity and classification of maize landraces from China's Sichuan basin based on agronomic traits, quality traits, combining ability and SSR markers. Maydica 55: 85-93.
- Zepeda-Bautista, R., A. Carballo-Carballo, A. Muñoz-Orozco, J. A. Mejía-Contreras, B. Figueroa-Sandoval, F. Valerio González-Cossio, y C. Hernández-Aguilar. 2009. Proteína, triptófano y componentes estructurales del grano en híbridos de maíz (*Zea mays* L.) producidos bajo fertirrigación. Agrociencia 43: 143-152.