

## CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE DOS RAZAS DE MAÍZ AZUL: MORFOLOGÍA DEL ALMIDÓN\*

### PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF BLUE CORN FROM TWO RACES: STARCH MORPHOLOGY

Edith Agama-Acevedo<sup>1§</sup>, Yolanda Salinas-Moreno<sup>2</sup>, Glenda Pacheco-Vargas<sup>1</sup> y Luis Arturo Bello-Pérez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Desarrollo de Productos Bióticos. IPN. Carretera Yautepec-Jojutla, km 8.5. Colonia San Isidro, Yautepec, Morelos, México. A. P. 24. C. P. 62731. Tel. 01 735 3942020. (ceprobi@ipn.mx), (labellop@ipn.mx). <sup>2</sup>Campo Experimental Valle de México. INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco, km 13.5. Coatlínchán, Texcoco, Estado de México. A. P. 10. C. P. 56230 (yolysamx@yahoo.com). <sup>§</sup>Autora para correspondencia: eagagama@ipn.mx.

#### RESUMEN

En México existen regiones donde se cultivan variedades criollas de maíz azul (*Zea mays* L.), que poseen variabilidad de tamaño, densidad y dureza del grano, así como composición química. Estas variables si bien están definidas por el factor genético, también dependen de las prácticas de cultivo, condiciones climáticas y tipo de suelo. Las características físicas del grano de maíz tienen relación con aspectos de producción y rendimiento, mientras que su composición química y la morfología de los gránulos de almidón, ayudan a definir la calidad nutritiva y su uso en la elaboración de alimentos. El objetivo del trabajo fue determinar las propiedades físicas y químicas del grano maíz azul proveniente de dos razas, y caracterizar morfológicamente los gránulos del almidón de su endospermo. El trabajo se realizó en el Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del Instituto Politécnico Nacional y en el Campo Experimental Valle de México del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Las muestras fueron colectadas en campo con los productores, seis materiales de la raza Tabloncillo en localidades de Sinaloa y nueve de la raza Chalqueño en localidades de Tlaxcala y Estado de México. Los maíces de la raza Tabloncillo presentaron granos pequeños, mayor dureza y cantidad de almidón

#### ABSTRACT

There are areas in Mexico, where local varieties of blue corn are grown (*Zea mays* L.), which have variability in size, density and grain hardness as well as chemical composition. Although these variables are defined by genetic factors, they also depend on farming practices, climatic conditions and soil type. The physical characteristics of corn grain are related to production and yield aspects, while its chemical composition and starch granules morphology, help to define the nutritional quality and its use in food processing. The objective of this study was to determine the physical and chemical properties of blue corn grain from two races and morphologically characterize the starch granules of the endosperm. The study was conducted at the Centre for Development of Biotic Products of the National Polytechnic Institute and the Valley of Mexico Experimental Station of the National Forestry, Agriculture and Livestock Research Institute. The samples were collected in the field with the producers, six Tabloncillo race materials at locations in Sinaloa and nine from Chalqueño race at Tlaxcala and Mexico State locations. Tabloncillo corn has small grains, higher hardness and damaged starch, and lowest levels of anthocyanins than Chalqueño corn has. The

\* Recibido: noviembre de 2010  
Aceptado: abril de 2011

dañado, y menores contenidos de antocianinas, que la raza Chalqueño. La cantidad de almidón de ambas razas fue de 0.78-0.89 g g<sup>-1</sup> de muestra seca, y por su contenido de amilosa se clasifican como almidones normales. Las formas de los gránulos de almidón fueron esféricas con superficie lisa y una distribución bimodal (gránulos pequeños 2-8 µm y grandes 16-18 µm). Las diferencias principales entre las dos razas fueron su tamaño de grano, índice de flotación y contenido de antocianinas.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., amilosa, dureza del grano, gránulos.

## INTRODUCCIÓN

El maíz azul (*Zea mays* L.) debe su color a las antocianinas las cuales están localizadas en una capa delgada que recubre al endospermo. Éste a su vez está formado por proteínas y gránulos de almidón (responsable de las propiedades de textura en los productos elaborados con este cereal) cuya forma y tamaño tendrán influencia en sus propiedades funcionales (Lindeboom *et al.*, 2004; Mishra y Raid, 2006). En México existe una gran diversidad de variedades de maíz azul, las cuales corresponden a varias razas. También existe variabilidad en tamaño, densidad y dureza del grano, así como en su composición química. Estas variables, están definidas por el factor genético (*amylose extender, ae; waxy, wx; floury fl; dull, du*), pero también dependen de las prácticas de cultivo, condiciones climáticas y tipo de suelo, así como la interacción entre estos factores. Al presentarse diferencias en todo lo anterior, éstas también podrían existir en la morfología de los gránulos de almidón.

En diferentes regiones del país se cultivan variedades criollas de maíz azul, en Valles Altos de la Mesa Central, predomina el maíz azul de la raza Chalqueño, para riego y Cónico para temporal, mientras que en el noroeste la raza Tabloncillo. Agama-Acevedo *et al.* (2004, 2005 y 2008), Hernández-Uribe *et al.* (2007); Utrilla-Coello *et al.* (2009, 2010), han hecho estudios en almidón de maíz pigmentado, donde utilizan solo una variedad de maíz azul o negro y una blanca con fines de comparación. El objetivo fue determinar las características físicas y químicas en el grano de maíz azul provenientes de sus dos razas principales (Tabloncillo y Chalqueño), así como la morfología de los gránulos de su almidón.

starch amount in both races was from 0.78 to 0.89 g g<sup>-1</sup> of dry sample, and they are classified as normal because of their amylose content. The starch granules were spherical with smooth surface and a bimodal distribution (small granules were 2-8 µm and large granules were 16-18 µm). The main differences between the two races were their grain size, floating rate and anthocyanin content.

**Key words:** *Zea mays* L., amylose, grain hardness, granules.

## INTRODUCTION

Blue corn (*Zea mays* L.) owes its color to anthocyanins, which are located in a thin layer covering the endosperm. The endosperm is composed of protein and starch granules (responsible for the textural properties in products made from this grain) whose shape and size will influence their functional properties (Lindeboom *et al.*, 2004; Mishra and Raid, 2006). Mexico has a wide variety of blue corn varieties, which correspond to various breeds. There is also variability in size, density and hardness of the grain, as well as its chemical composition. These variables are defined by the genetic factor (*amylose extender, ae; waxy, wx; floury fl; dull, du*) but also depend on farming practices, climatic conditions, soil type and the interaction between these factors. Differences are not only there, they could also exist in the morphology of starch granules.

Creole varieties of blue corn are cultivated in different regions of Mexico; Chalqueño race predominates in the High Valleys of the Central Mesa for irrigation and Cónico for temporal, while in the northwest, Tabloncillo race is predominant. Agama-Acevedo *et al.* (2004, 2005 and 2008), Hernández-Uribe *et al.* (2007); Utrilla-Coello *et al.* (2009, 2010), have studied the pigmented corn starch, only using one variety of blue or black corn and a white one for comparison. The objective was to establish the physical and chemical characteristics of the blue corn grain, from its two main races (Tabloncillo and Chalqueño) as well as the morphology of the starch granules.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Maíces usados en el estudio

Se trabajó con 15 materiales que fueron colectados en campo, en diferentes localidades de los estados de Sinaloa, Tlaxcala y Estado de México. En el Cuadro 1 se presenta información sobre la raza y lugar de colecta. Los granos fueron almacenados en bolsas negras a 4 °C.

**Cuadro 1. Sitios de colecta de granos de raza de maíz azul.**  
**Table 1. Blue corn race collecting sites.**

Identificación del maíz	Raza	Zona	Estado	Sitio de colecta	Municipio
T1	Tabloncillo	Noroeste	Sinaloa	El Iodazal	San Ignacio
T2	Tabloncillo	Noroeste	Sinaloa	Higuera de Padilla	Cosalá
T3	Tabloncillo	Noroeste	Sinaloa	Colompo	San Ignacio
T4	Tabloncillo	Noroeste	Sinaloa	San Pedro Ixcatlán	Ruiz
T5	Tabloncillo	Noroeste	Sinaloa	Mojocautla	Morada
T6	Tabloncillo	Noroeste	Sinaloa	El Chaco	San Ignacio
C1	Chalqueño	Centro	Edo. México	Amecameca	
C2	Chalqueño	Centro	Edo. México	San Jacinto	Jocotitlan
C3	Chalqueño	Centro	Edo. México	St. Ma. Culiacán	Coyotepec
C4	Chalqueño	Centro	Edo. México	Ahuatenco	Tlanguistenco
C5	Chalqueño	Centro	Tlaxcala	*	*
C6	Chalqueño	Centro	Tlaxcala	*	*
C7	Chalqueño	Centro	Tlaxcala	*	*
C8	Chalqueño	Centro	Tlaxcala	*	*
C9	Chalqueño	Centro	Tlaxcala	*	*

T1-T6= muestras de maíz de la raza Tabloncillo; C1-C9= muestras de maíz de la raza Chalqueño; \*= desconocido.

### Características físicas del grano

Las características físicas evaluadas fueron: peso de mil granos, peso hectolítrico (Método 44-11, AACC, 1976) e índice de flotación (Billeb y Breassani, 2001).

### Composición química

Se molieron 100 g de maíz en un molino comercial (Mapisa Internacional S. A. de C. V., México), tamizados en malla 50 U. S. (0.028 mm), y almacenados en bolsas de plástico a 4 °C. Se determinó el contenido de humedad, cenizas, proteínas y lípidos por métodos oficiales 08-01, 46.13 y 30.25 de la AACC, respectivamente (AACC, 2000); el contenido de antocianina por el método de Salinas-Moreno *et al.* (2003).

## MATERIALS AND METHODS

### Corn used in the study

We worked with 15 materials that were collected in the field, in different locations in the states of Sinaloa, Tlaxcala and Mexico. Table 1 presents information about the race and collection place. Grains were stored in black bags at 4 °C.

### Grain physical characteristics

The physical characteristics evaluated are: thousand grain weight, hectoliter weight (Method 44-11, AACC, 1976) and flotation index (Billeb and Breassani, 2001).

### Chemical composition

100 g of maize were grinded in a commercial mill (Mapisa Internacional S. A. de C. V., Mexico), sieved at 50 mesh U. S. (0.028 mm) and stored in plastic bags at 4 °C. We determined the moisture content, ashes, proteins and lipids by the official methods 08-01, 46.13 and 30.25 of the AACC, respectively (AACC, 2000) and anthocyanin content by the method of Salinas-Moreno *et al.* (2003).

### **Contenido de almidón total, amilosa y almidón dañado**

Al maíz se le retiró manualmente el pericarpio, pedicelo y germen, para obtener el endospermo, el cual se molió en un molino comercial (Mapisa Internacional S. A. de C. V., México) y se tamizó en malla 50 U. S. Posteriormente se determinó el contenido de almidón total (Goñi *et al.*, 1997), el contenido de amilosa (Hoover y Ratnayake, 2001) y almidón dañado método AACC 76-31 (AACC, 2000).

### **Análisis morfológicos del gránulo del almidón**

Para aislar los gránulos del almidón, se utilizó la metodología propuesta por Utrilla-Coello *et al.* (2009). Para el estudio microscópico se colocó una pequeña cantidad de almidón en un portaobjeto, se mezcló con una gota de agua destilada y se le puso un cubreobjeto. Los gránulos de almidón se observaron a través del microscopio de luz, luz polarizada (Leitz, Wetzlar, Alemania), electrónico de barrido (modelo JSEM 35CX), y finalmente se realizó el análisis de difracción de rayo láser (Malvern Instruments, 2000) para determinar la distribución de tamaño de los gránulos de almidón.

### **Análisis estadístico**

El diseño estadístico fue completamente al azar, utilizando tres repeticiones. Para determinar las diferencias estadísticas en las características físicas de los granos, composición química, contenido de almidón total, amilosa y almidón dañado, se aplicó un análisis de varianza de una vía, con un nivel de significancia del 5% ( $p= 0.05$ ). Se utilizó la prueba de Tukey, para la comparación de medias, al mismo nivel de significancia.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Características físicas de los granos**

La determinación de las características físicas de los granos de cereales representa el primer paso para seleccionarlos y sugerir sus usos industriales. En el Cuadro 2 se muestran los resultados de las características físicas de los granos de maíz azul.

### **Total starch, amylose and damaged starch content**

We manually removed the pericarp of the corn, pedicel and seed, to obtain the endosperm, which was grinded in a commercial mill (Mapisa Internacional S. A. de C. V., Mexico) and it was sieved at 50 mesh U. S. It was later determined the total starch content (Goñi *et al.*, 1997), amylose content (Hoover and Ratnayake, 2001) and damaged starch by the AACC 76-31 method (AACC, 2000).

### **Morphological analysis of the starch granule**

To isolate the starch granules, we used the methodology proposed by Utrilla-Coello *et al.* (2009). For microscopic study we put a small amount of starch in a slide, mixed with a drop of distilled water and put on a coverslip. The starch granules were observed by light and polarized light microscopy (Leitz, Wetzlar, Germany), scanning electronic (35CX JSEM model) and finally performed the analysis of laser diffraction (Malvern Instruments, 2000) to determine the size distribution of starch granules.

### **Statistical analysis**

The statistical design was completely randomized, using three replications. To determine the statistical differences of grains physical characteristics, chemical composition, total starch, amylose and damaged starch content, we applied a variance analysis, with a significance level of 5% ( $p= 0.05$ ). When statistically significant differences were found, we used the Tukey test to compare means at the same level of significance.

## **RESULTS AND DISCUSSION**

### **Grains physical characteristics**

The determination of the physical characteristics of cereal grains, is the first step to select and suggest its industrial uses. Table 2 shows the results of the physical characteristics of blue corn.

**Cuadro 2. Características físicas de los granos de maíz azul.****Table 2. Blue corn grains physical characteristics.**

Muestra	Peso de mil granos (g)	Peso hectolitrico (kg hL <sup>-1</sup> )	Índice de flotación (%)
T1	310.7 ± 0.6 <sup>a</sup>	77 ± 0.2 <sup>a</sup>	39 ± 2.02 <sup>a,c</sup>
T2	343.7 ± 2.5 <sup>b</sup>	80.2 ± 0.2 <sup>b</sup>	32 ± 2.02 <sup>b,e</sup>
T3	358.3 ± 1.3 <sup>c</sup>	70.2 ± 0.2 <sup>c</sup>	85 ± 0 <sup>c</sup>
T4	335.3 ± 2.5 <sup>d</sup>	73.4 ± 0.4 <sup>d</sup>	46.5 ± 2.53 <sup>d,e</sup>
T5	364.1 ± 4.1 <sup>e</sup>	75.2 ± 0.2 <sup>e</sup>	42 ± 2.02 <sup>a,c</sup>
T6	331.6 ± 1.6 <sup>f</sup>	77.6 ± 0.6 <sup>a</sup>	40 ± 1.01 <sup>a,d,e</sup>
C1	472.1 ± 0.2 <sup>g</sup>	70.8 ± 0.2 <sup>f</sup>	88.5 ± 1.52 <sup>f</sup>
C2	367.6 ± 2 <sup>e</sup>	71.45 ± 0.15 <sup>g</sup>	85 ± 1.01 <sup>c</sup>
C3	425.7 ± 2 <sup>h</sup>	77.05 ± 0.05 <sup>h</sup>	53.5 ± 1.52 <sup>g</sup>
C4	401.3 ± 1.1 <sup>i</sup>	61.4 ± 0.4 <sup>i</sup>	100 ± 0 <sup>h</sup>
C5	432.3 ± 0.8 <sup>j</sup>	63.8 ± 0.2 <sup>j</sup>	100 ± 0 <sup>h</sup>
C6	443.8 ± 3.2 <sup>k</sup>	60.8 ± 0 <sup>k</sup>	100 ± 0 <sup>h</sup>
C7	427.9 ± 1 <sup>h</sup>	64.2 ± 0.2 <sup>i,l</sup>	99 ± 1.01 <sup>h</sup>
C8	443 ± 3.6 <sup>i</sup>	64.6 ± 0.6 <sup>l</sup>	100 ± 0 <sup>h</sup>
C9	509.8 ± 2.8 <sup>l</sup>	61.8 ± 0.2 <sup>i</sup>	100 ± 0 <sup>a,b,j</sup>

T1-T6= muestras de maíz de la raza Tabloncillo; C1-C9= muestras de maíz de la raza Chalqueño; media de tres muestras ± error estándar; valores con diferente letra(s) en una columna son estadísticamente diferentes ( $p=0.05$ ).

Los valores del peso de mil granos obtenidos para los maíces estuvieron entre 310.7-509.9 g. Las muestras de la raza Tabloncillo fueron estadísticamente diferentes ( $p=0.05$ ) en el peso de mil granos, sus pesos fueron menores (310.7-364.1 g) a los maíces de la raza Chalqueño (367-509 g), debido a esto los granos de la raza Tabloncillo son de menor tamaño que la raza Chalqueño. El tamaño del grano si bien es una variable definida por el genotipo y medio ambiente, con ciertos niveles de tamaño máximo y mínimo dentro de cada raza (Paredes-López *et al.*, 2000). El tamaño, también está en función de la disponibilidad de fotosintatos y la demanda que cada grano genera sobre la planta durante la etapa de llenado (células del endospermo y almidón) (Schussler y Westgate, 1991).

En el tamaño de grano influyen diferentes factores de nutrición en la planta, pero las altas temperaturas acortan el periodo de llenado del grano, disminuyendo el peso final; por otro lado, las condiciones de estrés hídrico disminuye el número de células destinadas para la acumulación de almidón (Balbi *et al.*, 2006). Billeb y Bressani (2001) analizaron once variedades de maíz para evaluar su calidad de procesamiento en la elaboración de harinas de maíz, y reportaron valores entre 272.4 g y 364.1 g con un promedio de 312.5 g. Concluyeron que las variedades de mayor peso son preferidas para el procesamiento de tortillas.

The values of a thousand grains weight obtained for maize, were between 310.7-509.9 g. The Tabloncillo race samples were statistically different ( $p=0.05$ ). In the weight of a thousand grain, their weights were lower (310.7-364.1 g) than those from Chalqueño race (367-509 g), meaning that Tabloncillo race grains are smaller than those from Chalqueño. The grain size is a variable defined by genotype and environment, with certain levels of maximum and minimum size within each race (Paredes-Lopez *et al.*, 2000). The size also depends on the photosynthate availability and the demand that each grain has on the plant during the filling stage (endosperm cells and starch) (Schussler and Westgate, 1991).

Different factors influence the grain size, like plant nutrition and the high temperatures abridge the grain filling period, decreasing the final weight, on the other hand, water stress decreased the number of cells destined for the accumulation of starch (Balbi *et al.*, 2006). Billeb and Bressani (2001) analyzed eleven corn varieties in order to evaluate the quality of processing in the production of corn meal and reported values between 272.4 g and 364.1 g with an average of 312.5 g., concluded that the heavier varieties are preferred for tortillas processing.

El peso hectolítrico es un indicador de la dureza del grano de maíz y de la composición del endospermo. Los maíces de la raza Tabloncillo mostraron valores de peso hectolítrico promedio  $75.6 \pm 1.43 \text{ kg hL}^{-1}$  y los de la raza Chalqueño  $66.2 \pm 1.86 \text{ kg hL}^{-1}$ . Los valores indican que los maíces de la raza Tabloncillo son más duros que la raza Chalqueño. El maíz destinado a elaborar cereales para desayuno no debe tener un peso hectolítrico menor a  $76 \text{ kg hL}^{-1}$  porque son inadecuados para formar la hojuela; por lo tanto, el grano de la raza Tabloncillo analizados en este trabajo, podrían ser una opción para la elaboración de cereales para desayuno (Rooney y Serna-Saldivar, 1987).

Los valores obtenidos del índice de flotación (Cuadro 2), confirman que los maíces de la raza Chalqueño (excepto la muestra C3 que es de grano semiduro), y los de la raza Tabloncillo (excepto la muestra T3 que es de grano suave), son considerados como granos duros de acuerdo con la clasificación de Billeb y Bressani (2001). La muestra C3, de la raza Chalqueño, es un indicador de existencia de variabilidad dentro de la raza y es necesario definir las características de diferentes muestras en cada raza; lo anterior es valioso, ya que existe una amplia gama de formas en las variedades nativas de maíz azul y su aprovechamiento con base en un determinado propósito. En un estudio realizado con 19 maíces criollos, sólo dos muestras se catalogaron como granos muy duros, nueve como duros, siete como semiduros y solamente uno como suave (Rangel-Meza *et al.*, 2004).

### Composición química del maíz azul

Los valores de humedad de los maíces de la raza Chalqueño presentaron un intervalo entre  $0.0722\text{-}0.1067 \text{ g g}^{-1}$  de muestra seca (Cuadro 3) y los de la raza Tabloncillo entre  $0.0724\text{-}0.0871 \text{ g g}^{-1}$  de muestra seca. El contenido de humedad no mostró diferencias estadísticas significativas ( $p= 0.05$ ) entre las razas analizadas. Agama-Acevedo *et al.* (2005) reportó en dos variedades de maíces pigmentados (azul y negro) un contenido de humedad de  $0.098 \text{ g g}^{-1}$  de muestra seca y  $0.084 \text{ g g}^{-1}$  de muestra seca, respectivamente. Todas las muestras presentaron humedades menores del  $0.145 \text{ g g}^{-1}$  de muestra seca, lo que es normal en este tipo de materiales.

Sin embargo, una humedad por abajo de  $0.1 \text{ g g}^{-1}$  de muestra seca los hace frágiles, pero favorece los procesos para la producción de harina y reduce el tiempo del

The hectoliter weight is a grain corn hardness and endosperm composition indicator. Tabloncillo's race grains showed the next values of hectoliter average weight:  $75.6 \pm 1.43 \text{ kg hL}^{-1}$  and the Chalqueño race showed:  $66.2 \pm 1.86 \text{ kg hL}^{-1}$ . The values indicate that the Tabloncillo race corns are harder than those from Chalqueño race. The maize that is used to produce breakfast cereals should not have a hectoliter weight less than  $76 \text{ kg hL}^{-1}$  because it becomes inadequate to form flakes; Tabloncillo race grains, which were analyzed in this study, could be an option for breakfast cereal elaboration (Rooney and Serna-Saldivar, 1987).

Obtained values of floating rate (Table 2) confirm that Chalqueño maize (except for sample C3 which is semi-hard grain), and Tabloncillo race (except for sample T3 which is soft grain) are considered hard grains according to Billeb and Bressani's classification (2001). Chalqueño's C3 sample, indicates that there is variability within the race and it is necessary to define the characteristics of different samples in each race, this is valuable, since there is a wide range of ways in native varieties of blue corn and its use based on a particular purpose. In a study with 19 varieties of landrace corn, only two samples were classified as very hard grains, nine as hard, and only seven as a semi-hard and only one as soft (Rangel-Meza *et al.*, 2004).

### Chemical composition of blue corn

The moisture values of Chalqueño corns showed a range between  $0.0722\text{-}0.1067 \text{ g g}^{-1}$  of dry sample (Table 3) and Tabloncillo race were between  $0.0724\text{-}0.0871 \text{ g g}^{-1}$  of dry sample. The moisture content showed no statistically significant differences ( $p= 0.05$ ) between the analyzed races. Agama-Acevedo *et al.* (2005) reported on two varieties of pigmented maize (blue and black) a moisture content of  $0.098 \text{ g g}^{-1}$  of dry sample and  $0.084 \text{ g g}^{-1}$  of dry sample respectively. All samples had lower moisture content than  $0.145 \text{ g g}^{-1}$  of dry sample, which is normal in this kind of materials.

However, humidity less than  $0.1 \text{ g g}^{-1}$  of dry sample makes them fragile, but it favors the processes for flour production and reduces the alkaline cooking time for the tortillas processing (Betrán *et al.*, 2001). Samples showed no statistically significant differences ( $p= 0.05$ ) in ash content, except C7 and C3 samples

cocimiento alcalino durante el procesamiento de tortillas (Betrán *et al.*, 2001). Las muestras no presentaron diferencias estadísticas significativas ( $p= 0.05$ ) en el contenido de ceniza, a excepción de las muestras C7 y C3 a las cuales corresponden el valor más bajo y más alto en esta determinación ( $0.014 \text{ g g}^{-1}$  de muestra seca y  $1.82 \text{ g g}^{-1}$  de muestra seca) (Cuadro 3). Las diferencias en el contenido de cenizas pudiera deberse a la composición del suelo en el que fueron cultivadas, los fertilizantes utilizados y factores ambientales (López *et al.*, 2007). El maíz de alta calidad no debe contener arriba de  $0.05 \text{ g g}^{-1}$  de muestra seca de cenizas, valores por arriba indican contaminaciones por calcio, sal y tierra por la poca limpieza durante la cosecha y recolección.

which correspond to the lowest and highest in this determination ( $0.014 \text{ g g}^{-1}$  of dry sample and  $1.82 \text{ g g}^{-1}$  of dry sample) (Table 3). Differences in ash content may be due to soil composition in which they were grown, fertilizers used and environmental factors (López *et al.*, 2007). The high quality corn should not contain over  $0.05 \text{ g g}^{-1}$  of dry sample of ashes, values above, indicates contamination by calcium salt and soil dust because of the poor cleaning during the harvesting and picking.

Lipid values found for the analyzed samples ranged from  $0.0444\text{-}0.0598 \text{ g g}^{-1}$  of dry sample (Table 3), Chalqueño samples C2, C4, C6 and C7 were those that

### Cuadro 3. Composición química de muestras de maíz de grano azul.

Table 3. Chemical composition of blue corn samples.

Muestra	Humedad <sup>1,3</sup>	Cenizas <sup>2,3</sup>	Lípidos <sup>2,3</sup>	Proteínas <sup>2,3,4</sup>	Antocianina <sup>5</sup>
T1	$8.58 \pm 0.31$ <sup>a</sup>	$1.63 \pm 0.01$ <sup>a</sup>	$5.36 \pm 0.04$ <sup>a</sup>	$9.04 \pm 0.23$ <sup>a</sup>	$20.47 \pm 0.02$ <sup>a</sup>
T2	$8.71 \pm 0.02$ <sup>b,a</sup>	$1.59 \pm 0.02$ <sup>b</sup>	$5.08 \pm 0.08$ <sup>b</sup>	$8.25 \pm 0.25$ <sup>b</sup>	$22.09 \pm 0.04$ <sup>b</sup>
T3	$8.05 \pm 0.17$ <sup>c</sup>	$1.48 \pm 0.03$ <sup>c</sup>	$5.79 \pm 0.06$ <sup>c</sup>	$9.37 \pm 0.02$ <sup>c,a</sup>	$34.36 \pm 0.03$ <sup>c</sup>
T4	$7.24 \pm 0.73$ <sup>d,c,e</sup>	$1.49 \pm 0.02$ <sup>c</sup>	$4.91 \pm 0.04$ <sup>d</sup>	$9.03 \pm 0.14$ <sup>d,a</sup>	$20.6 \pm 0.03$ <sup>d</sup>
T5	$7.47 \pm 0.01$ <sup>e,d</sup>	$1.58 \pm 0.03$ <sup>b</sup>	$4.66 \pm 0.05$ <sup>e</sup>	$6.73 \pm 0.07$ <sup>e</sup>	$24.74 \pm 0.03$ <sup>e</sup>
T6	$8.29 \pm 0.08$ <sup>f,a,c</sup>	$1.68 \pm 0.03$ <sup>d</sup>	$5.93 \pm 0.1$ <sup>f,c</sup>	$8.95 \pm 0.13$ <sup>f,d,a</sup>	$19.91 \pm 0.01$ <sup>f</sup>
C1	$8.29 \pm 0.17$ <sup>g,a,c,f</sup>	$1.52 \pm 0.03$ <sup>e,b,c,d</sup>	$4.91 \pm 0.02$ <sup>d</sup>	$9.04 \pm 0.12$ <sup>a,d,f</sup>	$66.51 \pm 0$ <sup>g</sup>
C2	$7.22 \pm 0.04$ <sup>d</sup>	$1.54 \pm 0.01$ <sup>e,d</sup>	$4.85 \pm 0$ <sup>g</sup>	$7.56 \pm 0.19$ <sup>g</sup>	$65.3 \pm 0.08$ <sup>h</sup>
C3	$9.44 \pm 0.12$ <sup>h</sup>	$1.82 \pm 0.04$ <sup>f</sup>	$5.96 \pm 0.06$ <sup>f</sup>	$9.28 \pm 0.07$ <sup>a,c</sup>	$69.27 \pm 0.04$ <sup>i</sup>
C4	$8.16 \pm 0.1$ <sup>c,f,g</sup>	$1.5 \pm 0.01$ <sup>c,d</sup>	$4.46 \pm 0.07$ <sup>h</sup>	$9.36 \pm 0.04$ <sup>c</sup>	$64.25 \pm 0.01$ <sup>j</sup>
C5	$10.67 \pm 0.04$ <sup>i</sup>	$1.57 \pm 0.01$ <sup>b</sup>	$5.98 \pm 0.11$ <sup>f</sup>	$8.92 \pm 0.06$ <sup>a,d,f</sup>	$54.07 \pm 0$ <sup>k</sup>
C6	$9.01 \pm 0.32$ <sup>j, a,b,h</sup>	$1.7 \pm 0.02$ <sup>d</sup>	$5.53 \pm 0.06$ <sup>i</sup>	$8.57 \pm 0.04$ <sup>h</sup>	$51.46 \pm 0.02$ <sup>l</sup>
C7	$8.44 \pm 0.1$ <sup>a,f,g</sup>	$1.4 \pm 0.03$ <sup>g</sup>	$5.24 \pm 0.07$ <sup>j</sup>	$8.85 \pm 0.23$ <sup>a,d,f</sup>	$50.14 \pm 0.02$ <sup>m</sup>
C8	$9.11 \pm 0.36$ <sup>a,h,j</sup>	$1.49 \pm 0.02$ <sup>c,d</sup>	$5.21 \pm 0.2$ <sup>a,b,j</sup>	$8.73 \pm 0.11$ <sup>a,c,d</sup>	$58.54 \pm 0.01$ <sup>n</sup>
C9	$8.78 \pm 0.28$ <sup>a,b,j</sup>	$1.47 \pm 0.02$ <sup>c,d</sup>	$5.32 \pm 0.08$ <sup>a,b,j</sup>	$9.27 \pm 0.14$ <sup>h</sup>	$61.49 \pm 0$ <sup>o</sup>

T1-T6= muestras de maíz de la raza Tabloncillo; C1-C9= muestras de maíz de la raza Chalqueño; <sup>1</sup>= media de tres muestras  $\pm$  error estándar; <sup>2</sup>= media de tres muestras  $\pm$  error estándar, en base seca; <sup>3</sup>=  $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ ; <sup>4</sup>=  $\text{N} \times 5.85$ ; <sup>5</sup>=  $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ ; valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ( $p=0.05$ ).

Los valores de lípidos encontrados para las muestra analizadas estuvieron entre  $0.0444\text{-}0.0598 \text{ g g}^{-1}$  de muestra seca (Cuadro 3), las muestras de la raza Chalqueño C2, C4, C6 y C7 presentaron diferencias estadísticas significativas con la raza Tabloncillo. Estudios realizados en maíces pigmentados reportaron (Agama-Acevedo *et al.*, 2005) un contenido de lípidos  $0.04 \text{ g g}^{-1}$  de muestra seca en maíz negro y de  $0.0374 \text{ g g}^{-1}$  de muestra seca en maíz azul. En el caso de 20 variedades e híbridos de maíz amarillo se encontraron valores de lípidos de  $0.04\text{-}0.07 \text{ g g}^{-1}$  de muestra seca (Mendez-Montealvo *et al.*, 2005).

showed significant statistical differences with those from Tabloncillo race. Studies in pigmented maize reported a lipid content of  $0.04 \text{ g g}^{-1}$  of dry sample in black corn and  $0.0374 \text{ g g}^{-1}$  of dry sample in blue corn (Agama-Acevedo *et al.*, 2005). In the case of 20 varieties and hybrids of yellow corn, lipid values of  $0.04\text{-}0.07 \text{ g g}^{-1}$  of dry sample were found (Mendez-Montealvo *et al.*, 2005). The lipids amount depends on the variety, soil type, planting region, climatic factors such as drought, which reduces the lipid content in maize (White and Weber, 2003).

La cantidad de lípidos depende de la variedad, del tipo de suelo, región de siembra, factores climáticos como la sequía, que reduce el contenido de lípidos en el maíz (White y Weber, 2003).

No se encontraron diferencias estadísticas significativas ( $p=0.05$ ) en el contenido de proteínas entre razas, ya que los maíces de la raza Tabloncillo tuvieron un contenido de proteína promedio de  $0.0856 \pm 0.004 \text{ g g}^{-1}$  de muestra seca y los de la raza Chalqueño  $0.0884 \pm 0.0018 \text{ g g}^{-1}$  de muestra seca. El grano de maíz presenta un contenido de proteína que varía de 7% a 12% (Inglett, 1970) dependiendo del tipo de endospermo, herencia, clima, tipo de suelo y prácticas de cultivo. Cuando la planta es fertilizada con nitrógeno o el suelo tiene altas cantidades de este compuesto, se incrementa el contenido total de proteínas en la planta (López *et al.*, 2007).

Todas las muestras presentaron diferencias estadísticas significativas en sus contenidos de antocianinas ( $p=0.05$ ) (Cuadro 3). Los granos de la raza Tabloncillo obtuvieron valores menores de antocianinas ( $0.1992\text{-}0.3436 \text{ mg g}^{-1}$  de muestra seca) que los encontrados en la raza Chalqueño ( $0.5014\text{-}0.6927 \text{ mg g}^{-1}$  de muestra seca). El-Sayed *et al.* (2006) analizaron el contenido de antocianinas en diversos cereales y encontraron en granos de maíz rosa  $0.16 \text{ mg g}^{-1}$  de muestra seca, maíz azul  $0.19\text{-}0.32 \text{ mg g}^{-1}$  de muestra seca, rojo  $0.05\text{-}0.06 \text{ mg g}^{-1}$  de muestra seca y morado  $1.277 \text{ mg g}^{-1}$  de muestra seca

#### Almidón total en el endospermo de maíz azul

La pureza del almidón del endospermo de maíz, determinado como almidón total, se presenta en el Cuadro 4. Los maíces T1, T2 y C5 mostraron los valores menores de almidón total ( $0.785 \text{ g g}^{-1}$  de muestra seca,  $0.804 \text{ g g}^{-1}$  de muestra seca y  $0.8 \text{ g g}^{-1}$  de muestra seca, respectivamente) los cuales no fueron estadísticamente diferentes ( $p>0.05$ ). La muestra C2 presentó el valor mayor de almidón total ( $0.899 \text{ g g}^{-1}$  de muestra seca). Las muestras restantes se encuentran en un intervalo de  $0.827\text{-}0.844 \text{ g g}^{-1}$  de muestra seca. Los maíces pigmentados se caracterizan por contener en su endospermo mayor cantidad de almidón que la encontrada en maíz blanco ( $0.7\text{-}0.78 \text{ g g}^{-1}$  de muestra seca) (Kriger *et al.*, 1998). Utrilla-Coello *et al.* (2009) encontró en maíz azul y blanco contenidos de almidón total de  $0.84$  y  $0.78 \text{ g g}^{-1}$  de muestra seca, respectivamente.

There were no statistically significant differences ( $p=0.05$ ) in protein content between races, Tabloncillo race had an average protein content of  $0.0856 \pm 0.004 \text{ g g}^{-1}$  of dry sample and Chalqueño  $0.0884 \pm 0.0018 \text{ g g}^{-1}$  of dry sample. Maize grain has a protein content ranging from 7% to 12% (Inglett, 1970), depending on the type of endosperm, heredity, climate, soil type and farming practices. When the plant is fertilized with nitrogen or the soil has high amounts of it, it increases the total protein content in the plant (López *et al.*, 2007).

All samples showed statistically significant differences in their content of anthocyanins ( $p=0.05$ ) (Table 3). Tabloncillo race grains obtained lower anthocyanins values ( $0.1992\text{-}0.3436 \text{ mg g}^{-1}$  of dry sample) than those found in Chalqueño race ( $0.5014\text{-}0.6927 \text{ mg g}^{-1}$  of dry sample). El-Sayed *et al.* (2006) analyzed the anthocyanins content in various cereals and found in pink corn grains  $0.16 \text{ mg g}^{-1}$ ,  $0.19\text{-}0.32 \text{ mg g}^{-1}$  dry sample in blue corn, in red corn  $0.05\text{-}0.06 \text{ mg g}^{-1}$  dry sample and in purple corn  $1.277 \text{ mg g}^{-1}$  dry sample.

#### Total starch in blue corn endosperm

The purity of maize endosperm starch, determined as total starch, is presented in Table 4. T1, T2 and C5 maize, showed the lowest values of total starch ( $0.785 \text{ g g}^{-1}$  of dry sample,  $0.804 \text{ g g}^{-1}$  of dry sample and  $0.8 \text{ g g}^{-1}$  of dry sample respectively) which were not statistically different ( $p>0.05$ ). The C2 sample had the highest value of total starch ( $0.899 \text{ g g}^{-1}$  of dry sample). The remaining samples are in the range of  $0.827\text{-}0.844 \text{ g g}^{-1}$  of dry sample. Pigmented maize are characterized for its higher in endosperm starch content than what is found in white corn ( $0.7\text{-}0.78 \text{ g g}^{-1}$  of dry sample) (Kriger *et al.*, 1998). Utrilla-Coello *et al.* (2009) found in blue and white corn, total starch content of  $0.84$  y  $0.78 \text{ g g}^{-1}$  of dry sample, respectively.

#### Amylose

Amylose percentages were variable in both races, the Tabloncillo race content was 29.4-31.4% and Chalqueño was 20.7-33.3% (Table 4). In general, samples fit into the normal starch classification based on its amylose content, ranging from 20-35% as reported by Tester *et al.* (2004). The amylose concentration in maize starch



**Cuadro 4. Contenido de almidón total, amilosa y almidón dañado en el endospermo de maíz azul.**  
**Table 4. Total starch content, amylose and damaged starch in the blue corn endosperm.**

Muestra	Almidón total <sup>1</sup>	Amilosa <sup>2</sup>	Almidón dañado <sup>3</sup>
T1	78.5 ± 0.98 <sup>a</sup>	23.4 ± 0.24 <sup>a</sup>	10.2 ± 0.09 <sup>a</sup>
T2	80.4 ± 0.96 <sup>a</sup>	20.4 ± 0.43 <sup>b</sup>	13.38 ± 0.39 <sup>b</sup>
T3	83.4 ± 0.85 <sup>b</sup>	22.7 ± 0.51 <sup>a</sup>	10.55 ± 0.11 <sup>c</sup>
T4	84.1 ± 0.45 <sup>c,b</sup>	27.2 ± 0.5 <sup>e</sup>	9.28 ± 0.64 <sup>d,f,i,j,l</sup>
T5	83.9 ± 0.7 <sup>b,c</sup>	31.4 ± 0.22 <sup>d,h,i</sup>	8.83 ± 0.2 <sup>d</sup>
T6	82.9 ± 0.55 <sup>d,b</sup>	31.2 ± 0.71 <sup>d,h,i</sup>	12.1 ± 0.15 <sup>e</sup>
C1	82.9 ± 0.86 <sup>b,c,d</sup>	28 ± 0.4 <sup>c,e,f</sup>	9.46 ± 0.17 <sup>d,f,j,l</sup>
C2	89.9 ± 0.33 <sup>e</sup>	27.7 ± 0.22 <sup>c,e,f</sup>	8.84 ± 0.09 <sup>d</sup>
C3	83.2 ± 0.32 <sup>b,d</sup>	28.5 ± 0.76 <sup>e,f</sup>	11.56 ± 0.15 <sup>g</sup>
C4	83.4 ± 0.77 <sup>b,c,d</sup>	27.6 ± 0.62 <sup>c,e,f</sup>	7.11 ± 0.17 <sup>h</sup>
C5	0.8 ± 0.64 <sup>a</sup>	33.3 ± 0.99 <sup>g,h</sup>	9.87 ± 0.12 <sup>d,i,j</sup>
C6	82.7 ± 0.62 <sup>b,d</sup>	22.8 ± 0.49 <sup>a</sup>	9.58 ± 0.57 <sup>d,f,i,j,l</sup>
C7	83.1 ± 0.52 <sup>b,d</sup>	31.4 ± 0.97 <sup>d,g,h,i</sup>	8.21 ± 0.24 <sup>k</sup>
C8	84.4 ± 0.89 <sup>b,c</sup>	30.8 ± 0.61 <sup>d,h,i</sup>	9.56 ± 0.13 <sup>d,f,j,l</sup>
C9	83.7 ± 0.62 <sup>b,c,d</sup>	20.7 ± 0.36 <sup>b</sup>	8.01 ± 0.07 <sup>k</sup>

T1-T6= muestras de maíz de la raza Tabloncillo; C1-C9= muestras de maíz de la raza Chalqueño; <sup>1</sup>= media de tres muestras ± error estándar, en base seca, (g 100 g<sup>-1</sup> de muestra seca); <sup>2</sup>= porcentaje de amilosa en 100 g de almidón; <sup>3</sup>= porcentaje de almidón dañado en 100 g de almidón; valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ( $p=0.05$ ).

### Amilosa

Los porcentajes de amilosa, fueron variables en ambas razas, Tabloncillo 29.4-31.4% y Chalqueño 20.7-33.3% (Cuadro 4). En general, las muestras caen en la clasificación de almidón normal en base a su contenido de amilosa que va de 20-35% de acuerdo a Tester *et al.* (2004). La concentración de amilosa en los gránulos del almidón de maíz se incrementa con la edad fisiológica del tejido en el cual son sintetizados (Boyer *et al.*, 1976). Lu *et al.* (1996) reportaron que cuando el maíz es cultivado a temperaturas elevadas (35 °C) disminuye el contenido de amilosa comparado con el cultivado a 25 °C.

Estudios en almidón de maíz azul han reportado contenidos de amilosa entre 20% y 23% (Agama-Acevedo *et al.*, 2004; Utrilla-Coello *et al.*, 2009); en este estudio 11 de las 15 muestras presentan valores arriba de 27%. El contenido de amilosa es importante ya que este componente del almidón de maíz es el encargado de los procesos de gelificación y retrogradación del almidón cuando éste es cocinado y almacenado, por lo que los maíces con bajo contenido de amilosa como las muestras T1, T2, T3, C6 y C9 pudieran formar productos con textura más suave y mayor digestibilidad (Biliaderis, 1991).

granules increases with physiological tissue age in which they are synthesized (Boyer *et al.*, 1976). Lu *et al.* (1996) reported that when corn is grown at high temperatures (35 °C) it decreases the amylose content compared to with those cultivated at 25 °C.

Studies in blue corn starch have reported amylose contents between 20% and 23% (Agama-Acevedo *et al.* 2004; Utrilla-Coello *et al.*, 2009), in this study 11 out of the 15 samples have values above 27%. The amylose content is important because this corn starch component is responsible for the processes of gelation and retrogradation of starch when it is cooked and stored, so those samples with low amylose content like T1, T2, T3, C6 and C9 could result in products with smoother texture and higher digestibility (Biliaderis, 1991).

### Damaged starch

Most Tabloncillo race samples, showed a higher amount of damaged starch (0.0883-0.1338 g g<sup>-1</sup> of starch) than Chalqueño (0.0711-0.1156 g g<sup>-1</sup> of starch) (Table 4). Utrilla-Coello *et al.* (2009) found in a variety of blue corn 0.126 g of damaged starch per starch gram. About 5-12% of the starch granules are damaged as a result of the process of isolation, due to mechanical damage during milling (Viot, 1992).

## Almidón dañado

La mayoría de las muestras de la raza Tabloncillo presentaron mayor cantidad de almidón dañado (0.0883-0.1338 g g<sup>-1</sup> de almidón) que la raza Chalqueño (0.0711-0.1156 g g<sup>-1</sup> de almidón) (Cuadro 4). Utrilla-Coello *et al.* (2009) encontraron en una variedad de maíz azul un 0.126 gramos de almidón dañado por gramo de almidón. Entre 5-12% de los gránulos de almidón son dañados como consecuencia del proceso del aislamiento, debido al daño mecánico producido durante la molienda (Viot, 1992).

El tipo de endospermo también influye en este parámetro, ya que el almidón del endospermo cristalino (endospermo duro) es más susceptible a sufrir mayor daño durante la molienda que el endospermo harinoso. La cantidad de almidón dañado afecta directamente la absorción de agua, formación de pasta y la reología de los productos elaborados con almidón, y esto a su vez ayuda a predecir la calidad del producto final.

## Caracterización morfológica del almidón del endospermo de maíz azul

### Microscopía de luz

En la Figura 1A se pueden observar las imágenes obtenidas a través del estudio de microscopía de luz. Los gránulos de todos los almidones presentan predominantemente formas poliédricas y unas pocas esféricas. En general, se encontraron diversos tamaños de gránulos en las muestras analizadas (4-20 µm), por lo que predominaron los gránulos de mayor tamaño. Muchas de las propiedades de los almidones tienen que ver principalmente con su tamaño de gránulo, por ejemplo la composición química, susceptibilidad enzimática, cristalinidad, gelatinización, propiedades de formación de pasta, hinchamiento y solubilidad (Lindeboom *et al.*, 2004).

### Microscopía de luz polarizada

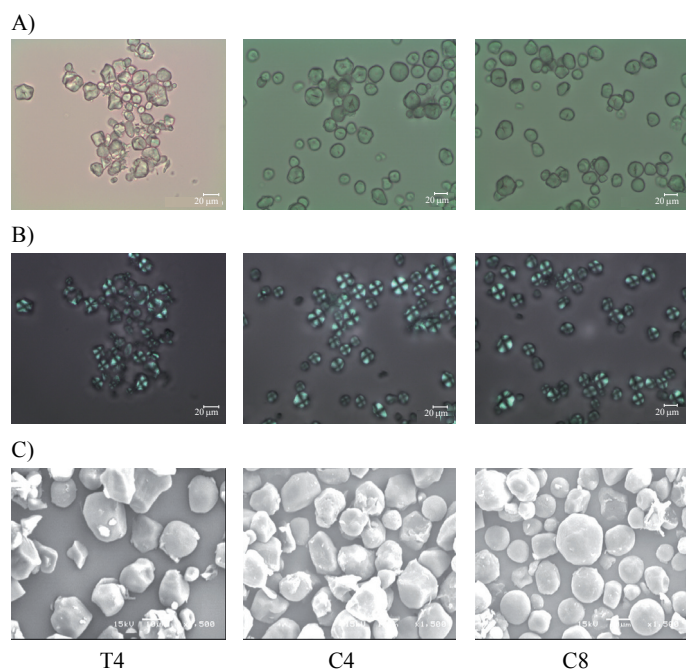
Las micrografías que fueron tomadas bajo luz normal también fueron tomadas bajo luz polarizada para analizar los mismos gránulos (Figura 1B). Los gránulos de almidones que presentaron la cruz de malta, se tratan de gránulos intactos, que mantuvieron la estructura granular. Mientras que las estructuras que no presentan esta característica, se tratan de gránulos rotos o dañados, debido al daño mecánico durante la molienda.

The endosperm type also influences this parameter, since the crystalline starch endosperm (hard endosperm) is more susceptible to further damage during milling than those with floury endosperm. Damaged starch amount directly affects the water absorption, dough formation and the rheology of the products made from starch, and this is helpful to predict final product quality.

## Morphological characterization of blue maize endosperm starch

### Light microscopy

Figure 1A, shows the images obtained through the study of light microscopy. The granules of all starches, predominantly have polyhedral shapes and a few spherical. In general, there were various sizes of granules in the samples (4-20 µm) and larger granules predominated. Many properties of starches are mainly concerned with the size of their granules, like chemical composition, enzyme susceptibility, crystallinity, gelatinization, paste-forming properties, swelling and solubility (Lindeboom *et al.*, 2004).



**Figura 1. Características morfológicas de los gránulos de almidón. Microscopía de: A) luz; B) luz polarizada; y C) electrónica de barrido.** T= maíz de la raza Tabloncillo; C= maíz de la raza Chalqueño.

**Figure 1. Morphological characteristics of starch granules. Microscopy: A) light; B) polarized light; and C) scanning electron.** T= Tabloncillo race maize; C= Chalqueño race.

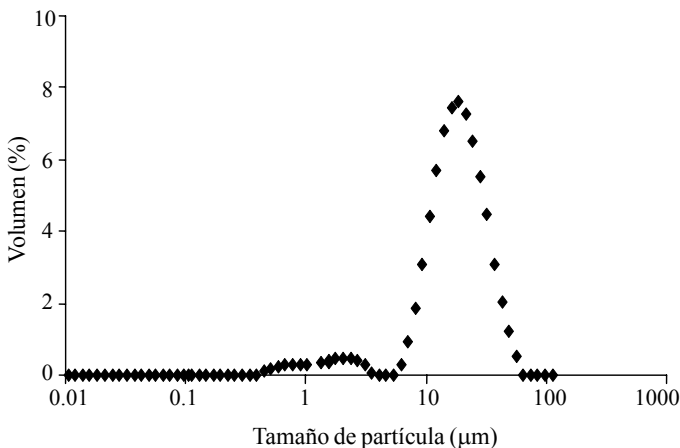
### Microscopia electrónica de barrido.

Las imágenes de microscopia electrónica de barrido se muestran en la Figura 1C. En general, los almidones presentan gránulos entre 4 a 20  $\mu\text{m}$ . Las formas de los gránulos que predominan en los almidones son esféricas e irregulares (poligonales o poliédricas, cónicas, angulares). En los almidones analizados en este estudio no se observaron poros, que los haría más resistentes a la digestión enzimática, lo que repercute en las propiedades de digestibilidad del almidón de los productos elaborados con estos maíces.

### Distribución del tamaño de partícula

En la Figura 2 se muestran los resultados de la distribución del tamaño de los gránulos de almidón correspondiente a la muestra T1 (como ejemplo), ya que todos los almidones presentaron la misma tendencia. En todos los almidones analizados se observó una distribución bimodal. Una distribución de gránulos pequeños de 2.2  $\mu\text{m}$ . La fracción predominante mostró un tamaño de partícula entre 16.22-18.62  $\mu\text{m}$ . Agama-Acevedo (2006) reportó distribución bimodal en almidón de maíz azul; sin embargo, el tamaño promedio del gránulo de almidón de la fracción dominante fue 40  $\mu\text{m}$ .

En general, los almidones que se aislaron de la raza Chalqueño procedentes de Tlaxcala mostraron menor tamaño de gránulo (16.22  $\mu\text{m}$ ) que la raza Tabloncillo procedentes de los estados de Sinaloa y Chalqueño del estado de México (18.62  $\mu\text{m}$ ). Tester *et al.* (1991) reportaron que las altas temperaturas durante el cultivo de trigo y cebada fueron asociadas con una reducción de los gránulos pequeños, cambiando la relación del radio de los gránulos grandes.



**Figura 2. Distribución de tamaño del gránulo del almidón.**  
**Figure 2. Size distribution of starch granules.**

### Polarized light microscopy

The micrographs taken under normal light, were also taken under polarized light to analyze the same granules (Figure 1B). Starch granules that had the Malta cross, are intact granules, which retained the granular structure. While the structures that did not show that characteristic, are either broken or damaged granules due to mechanical damage during milling.

### Scanning electron microscopy

The images of scanning electron microscopy are shown in Figure 1C. Usually, starches have granules between 4 to 20  $\mu\text{m}$ . The predominating starches granules are spherical and irregular (polygonal or polyhedral, conical, angular). The starches analyzed in this study showed no pores, which would make them more resistant to enzymatic digestion and would affect the properties of starch digestibility of products made from these corns.

### Particle size distribution

Figure 2 shows the results of size distribution of starch granules for the sample T1 (taken as an example), because all starches showed the same trend. All studied starches showed a bimodal distribution and a distribution of small granules of 2.2  $\mu\text{m}$ . The predominant fraction showed a particle size between 16.22-18.62  $\mu\text{m}$ . Agama-Acevedo (2006) reported a bimodal distribution of blue corn starch, but the average size of starch granules of the predominant fraction was 40  $\mu\text{m}$ .

In general, isolated starches of Chalqueño race from Tlaxcala showed lower granule size (16.22  $\mu\text{m}$ ) than those from Tabloncillo race from Sinaloa and Chalqueño race from Mexico State (18.62  $\mu\text{m}$ ). Tester *et al.* (1991) reported that high temperatures during the cultivation of wheat and barley were associated with a reduction of small granules, changing the radius ratio of the large granules.

## CONCLUSIONS

Tabloncillo race maize, were characterized by being smaller and harder than Chalqueño grains. In general, the chemical composition of maize from the two races

## CONCLUSIONES

Los maíces de la raza Tabloncillo se caracterizaron por ser de menor tamaño y de granos más duros que la raza Chalqueño. En general, la composición química del maíz de las dos razas no fue diferente, excepto en el contenido de antocianinas. El contenido de almidón en el endospermo fue similar en ambas razas y con base a su contenido de amilosa, los almidones se clasificaron como normales. La mayoría de maíces de la raza Tabloncillo mostraron mayor cantidad de almidón dañado que la raza Chalqueño. Las características morfológicas de los gránulos de almidón de los 15 materiales fueron similares en cuanto a forma, tamaño y distribución de partícula.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo económico del CONACYT, COFAA, EDI y SIP, también el apoyo técnico a César A. Trujillo Hernández y Fernando Bernal Vázquez.

## LITERATURA CITADA

- Agama-Acevedo, E.; Ottenhof, M. A.; Farat, I.; Paredes-López, O.; Ortíz-Cereceres, J. y Bello-Pérez, L. A. 2004. Efecto de la nixtamalización sobre las características moleculares del almidón de variedades pigmentadas de maíz. *Interciencia*. 29:643-649.
- Agama-Acevedo, E.; Ottenhof, M. A.; Farat, I.; Paredes-López, O.; Ortíz-Cereceres, J. y Bello-Pérez L. A. 2005. Aislamiento y caracterización de maíces pigmentados. *Agrociencia*. 39:419-429.
- Agama-Acevedo, E. 2006. Caracterización morfológica, fisicoquímica y molecular de almidones de maíces pigmentados y estudios bioquímicos de las enzimas involucradas en su biosíntesis. Tesis Doctorado. Universidad Autónoma de Querétaro. México. 124 p.
- American Association of Cereal Chemists. 1976. Approved methods of the AACC. 7<sup>th</sup> Edition. The Association: St. Paul, MN. 365 p.
- American Association of Cereal Chemists. 2000. Approved Methods of the AACC. 10<sup>th</sup> Edition. The Association: St. Paul, MN. 287 p.
- Balbi, C. N.; García, P. A.; Ferrero, A. R. y Bonilla, J. 2006. Calidad de diferentes híbridos de maíz colorado o flint para industria en la provincia de Corrientes. Universidad Nacional del Norte, Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Resumen A-034.
- Betrán, J. F.; Bockhilt, A. J. and Rooney, L. W. 2001. Blue corn. *In: speciality corns*. 2<sup>nd</sup> Edition. CRC Press LLC Eds. New York Washington, D. C. USA. 293-337 pp.
- Biliaderis, C. G. 1991. The structure and interactions of starch with food constituents. *Can. J. Physiol. Pharmacology*. 69:60-78.
- Billeb de Sinibaldi, A. C. y Bressani, R. 2001. Características de cocción de once variedades de maíz. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 51:86-94.
- Boyer, C. D.; Shannon, J. C.; Garwood, D. L. and Creech, R. G. 1976. Changes in starch granule size and amylose percentage during kernel development in several *Zea mays* L. genotypes. *Cereal Chemistry*. 53:327-337.
- El-Sayed, M.; Abdel-Aal, J.; Young, C. and Rabalki, I. 2006. Anthocyanin composition in black, blue, pink, purple and red cereal grains. *J. Agric. Food Chem.* 54:4696-4704.
- Goñi, I.; García-Alonso, A. and Saura-Calixto, F. 1997. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition Research*. 17:427-437.
- Hernández-Urbe, J. P.; Agama-Acevedo, E.; Islas-Hernández, J. J.; Tovar, J. and Bello-Pérez, L. A. 2007. Chemical composition and *in vitro* starch digestibility of pigmented corn tortilla. *J. Sci. Food and Agric.* 87:2482-2487.
- Hoover, R. and Ratnayake, R. M. W. S. 2001. Determination of total amylose content of starch. *In: current protocols in food analytical chemistry*. John Wiley Ed. Section E, Unit 2-3.

*End of the English version*



- Inglett, G. E. 1970. Kernel structure, composition, and quality. *In: corn: culture, processing products*. 1a Ed. The AVI publishing, Co. Inc. West Port Conecticut. USA. 123-137 p.
- Lindeboom, N.; Chang, P. R. and Tyler, R. T. 2004. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. *Starch/Starke*. 56:89-99.
- López P. P.; Prieto, F.; Gaytan, M. and Roman, A. D. 2007. Caracterización fisicoquímica de diferentes variedades de cebada cultivadas en la región del centro de México. *Revista Chilena de Nutrition* 37:1-13.
- Lu, T. J.; Jane, J. L.; Keeling, P. L. and Syngletary G. W. 1996. Maize starch fine structure affected by ear developmental temperature. *Carbohydrate Research*. 282:157-170.
- Mendez-Montealvo, G.; Solorza-Feria, J.; Vázquez del Valle, M.; Gómez-Montiel, N.; Paredes-López, O. y Bello-Pérez L. A. 2005. Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivadas en México. *Agrociencia*. 39:267-274.
- Mishra, S. and Raid, T. 2006. Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. *Food Hydrocolloids*. 20:557-566.
- Paredes-López, O.; Serna-Saldívar, S. O. y Guzmán-Maldonado, H. S. 2000. Los alimentos mágicos de las culturas indígenas de México- El caso de la tortilla. 1<sup>ra</sup>. Edition. Colegio de Sinaloa. Culiacán, Sinaloa. 7-21 p.
- Rangel-Meza, E.; Muñoz-Orozco, A.; Vázquez-Carrillo, G.; Cuevas-Sánchez, J.; Merino-Castillo, J. y Miranda-Colin S. 2004. Nixtamalización, elaboración y calidad de tortilla de maíces de Ecatlán, Puebla, México. *Agrociencia*. 38:53-61.
- Rooney, L. L. W and Serna-Saldívar, S. 1987. Food uses of whole corn and dry-milled fractions. *In: corn and chemistry and technology*. 4<sup>th</sup>. Edition. American Society of Agronomy. Madison, WI, USA. 399-429 p.
- Salinas-Moreno, Y.; Martínez-Bustos, V.; Soto-Hernández, M.; Ortega-Paczka, R. y Arellano-Vázquez J. 2003. Efecto de la nixtamalización sobre las antocianinas del grano de maíces pigmentados. *Agrociencia*. 37:617-628.
- Schussler, J. R. and Westgate. 1991. Maize kernel set at low water potential. II Sensitivity to reduce assimilates at pollination. *Crop Science*. 31:1196-1203.
- Tester, R. F.; South, J. B.; Morrison, W. R. and Ellis, R. P. 1991. The effects of ambient temperature during the grain-filling period on the composition and properties of starch from barley genotypes. *J. Cereal Science*. 13:113-127.
- Tester, R.; Karkalas, J. and Qi, X. 2004. Starch-composition, fine structure and architecture. *J. Cereal Science*. 39:151-165.
- Utrilla-Coello, R. G.; Agama-Acevedo, E.; Barba de la Rosa, A. P.; Martínez-Salgado, J. I.; Rodríguez-Ambriz, S. L. and Bello-Pérez, L. A. 2009. Blue corn: morphology and starch synthase characterization of starch granule. *Plant Foods and Human Nutrition*. 64:18-24.
- Utrilla-Coello, R. G.; Agama-Acevedo, E.; Barba de la Rosa, A. P.; Rodríguez-Ambriz, S. L. and Bello-Pérez, L. A. 2010. Physicochemical and enzyme characterization of small and large starch granules isolated from two maize cultivars. *Cereal Chemistry*. 87:50-56.
- White, P. and Weber, E. J. 2003. Lipids of the kernel. *In: corn: chemistry and technology*. 2<sup>nd</sup>. Edition. CPL Press. St Paul Minesota, USA. 355-406 pp.