

## Calidad pozolera en poblaciones de maíz Cacahuacintle de los Valles Altos de Puebla, México\*

### Quality for pozole in Cacahuacintle maize populations from High Valleys of Puebla, Mexico

César del Ángel Hernández Galeno<sup>1</sup>, Yolanda Salinas Moreno<sup>2§</sup>, Pedro Antonio López<sup>3</sup>, Amalio Santacruz Varela<sup>4</sup>, Fernando Castillo González<sup>4</sup> y Tarsicio Corona Torres<sup>4</sup>

Campo Experimental Iguala-INIFAP. Carretera Iguala-Tuxpan km. 2.5, Iguala de la Independencia, Guerrero, México. C. P. 4000. Tel: 01 733-332 1056. (hegaca@hotmail.com). <sup>2</sup>CEVAMEX-INIFAP. A. P. 10. C. P. 56230. Chapingo, Estado de México. Tel: 01 (595) 9521500. Ext. 5372. Fax: 01 (595) 954-6528. <sup>3</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. Carretera México- Puebla, km 125.5, Col. La Libertad, Cholula, Puebla. C. P. 72130. palopez@colpos.mx. <sup>4</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México- Texcoco km 36.5, Montecillo, Estado de México, C. P. 56230. (asvarela@colpos.mx y tcoronat@colpos.mx). <sup>§</sup>Autora para correspondencia: yolysamx@yahoo.com.

#### Resumen

La raza de maíz Cacahuacintle (MC) está confinada en nichos ecológicos específicos y ha sido mínimamente estudiada a nivel intra-racial en sus aspectos de calidad para pozole, no obstante que su uso culinario específico en la gastronomía mexicana lo ubica como una opción agrícola rentable para los agricultores de los Valles Altos de México. El objetivo del estudio fue identificar poblaciones sobresalientes en calidad para pozole (CPP) en colectas de maíz Cacahuacintle de Valles Altos de Puebla (MCVAP). Se utilizaron poblaciones de MCVAP, poblaciones de MC del Estado de México, y como testigos para calidad, una población de maíz Cónico y otra de maíz Ancho. La caracterización morfológica y física de grano se aplicó en todas las poblaciones; la evaluación de la calidad para pozole, contenido de amilosa y propiedades de formación de pasta (PFP) sólo en poblaciones seleccionadas por forma de grano y en los testigos. La forma de grano predominante fue redondeada globosa (86%), que es la típica del maíz Cacahuacintle. Los valores promedio de las variables físicas del grano en las poblaciones de MC fueron: peso de mil granos de 540.6 g, peso hectolítrico de 60.5 kg hL<sup>-1</sup>, y color de grano con 83.8% de reflectancia. El grupo formado

#### Abstract

The Cacahuacintle maize race (CM) is confined to specific ecological niches and has been minimally studied at intra-racial level in aspects of quality for pozole however its specific culinary use in Mexican cuisine ranks it as a profitable agricultural option for farmers in the highlands of Mexico. This study aimed to identify outstanding locations in quality for pozole (QFP) in Cacahuacintle maize collections of High Valleys of Puebla (CMHVP). CMHVP populations, CM populations from the State of Mexico and as quality control, a population of Cónico maize and another of Ancho maize were used. Morphological and physical characterization of grain was applied in all populations, the quality assessment for pozole, amylose content and pasting properties (PP) only in populations selected by grain shape and controls. Globose rounded (86%) was the predominant grain shape, typical of Cacahuacintle maize. Average values of the grain physical variables in CM populations were 540.6 g thousand grain weight, 60.5 kg hL<sup>-1</sup> test weight 83.8% reflectance in grain color. The group formed by the CPue-00473 00 474, 00477 and 00487 populations was considered of better quality for pozole, considering their balance in quality variables. The amylose content

\* Recibido: septiembre de 2013  
Aceptado: marzo de 2014

por las poblaciones CPue-00473,00 474,00477 y 00487 se consideró como de mejor calidad para pozole, por presentar equilibrio en las variables de calidad consideradas. El contenido de amilosa no mostró correlación significativa con ninguna de las variables tecnológicas analizadas. Sin embargo, el perfil viscoamilográfico mostró una clara diferencia entre los maíces Cacahuacintle y el maíz Ancho.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., amilosa, calidad culinaria, maíces nativos, usos.

## Introducción

Los estudios de diversidad de las razas mexicanas de maíz se han orientado principalmente a aspectos morfológicos y genéticos, pero se conoce poco sobre las características físico-químicas del grano y su calidad para elaborar los distintos productos alimenticios que de ellos se obtienen. Éste último aspecto es relevante en México porque más de 60% de los maíces nativos son usados para consumo humano directo (Paliwal, 2001).

En México el maíz Cacahuacintle y otros considerados como pozoleros (Ancho, Bofo, Gordo, Blandito de Sonora, entre otros (CONABIO, 2012). Se cultivan en 7 687 ha, distribuidas en los estados de Aguascalientes, Guerrero, Estado de México, Morelos y Puebla, éste último es el tercero en superficie sembrada, con 1 722 ha, y el primero en producción, con 18 940 t en 2008, la que representó 45% de la producción nacional de maíz pozolero (SIAP, 2009).

La raza de maíz Cacahuacintle se ubica en nichos ecológicos específicos en zonas del altiplano central de México, delimitados por la altitud mayor a 2 000 msnm. Su diversidad intra-racial ha sido estudiada predominantemente en aspectos agronómicos y características físicas de grano (González *et al.*, 2006; Arellano *et al.*, 2010). Sin embargo, los estudios que relacionan la composición física y química del grano con su calidad para pozole son aún escasos (Bonifacio *et al.*, 2005). No obstante que el uso arraigado del maíz Cacahuacintle en la cultura culinaria mexicana, para la elaboración del pozole como platillo típico, lo hace un cultivo más rentable que el maíz normal, ya que se comercializa con un sobre precio de 75 a 300% sobre el que se asigna al maíz destinado a la elaboración de tortillas (González *et al.*, 2006; Arellano *et al.*, 2010).

was not significantly correlated with any of the studied technological variables. However, the viscoamylographic profile showed a clear difference between Cacahuacintle and Ancho maize races.

**Keywords:** *Zea mays* L., amylose, cooking quality, landraces, uses.

## Introduction

Diversity studies of Mexican maize races have focused mainly on morphological and genetic aspects, but little is known about the physicochemical characteristics and grain quality for making different food products. The latter aspect is important in Mexico since over 60% of landraces are used for direct human consumption (Paliwal, 2001).

In Mexico the Cacahuacintle maize and other considered as pozole maize (“Ancho”, “Bofo”, “Gordo”, “Blandito de Sonora”, among other (CONABIO, 2012), are grown in 7 687 ha, distributed in the states of Aguascalientes, Guerrero, State of Mexico, Morelos and Puebla, the latter is the third in acreage, with 1 722 ha, and first in production with 18 940 t in 2008, which represented 45% of pozole maize domestic production (SIAP, 2009).

The Cacahuacintle maize race is at specific ecological niches in areas of the central highlands of Mexico, bordered by the altitudes higher than 2 000 masl. Its intra-racial diversity has been studied predominantly in agronomic and grain physical characteristics (González *et al.*, 2006; Arellano *et al.*, 2010). However, studies linking the chemical composition and physical grain quality for pozole are still scarce (Bonifacio *et al.*, 2005). Nevertheless, the common use of Cacahuacintle maize in Mexican food culture, for pozole preparation as typical dish, makes it a more cost-effective crop than regular maize being sold 75 to 300% over the price of maize for tortillas (González *et al.*, 2006; Arellano *et al.*, 2010).

Cacahuacintle maize grain is characterized by globose rounded (GR) shape, large, fully floury endosperm, low test weight and density (Wellhausen *et al.*, 1951; Bonifacio *et al.*, 2005). Several of these physical features (grain shape and size, density and test weight) are related to the cooking time for grain “popping” variable (CTGP), a Cacahuacintle maize quality parameter for pozole

El grano de Cacahuacintle se caracteriza por ser de forma redondeada globosa (RG), tamaño grande, endospermo completamente harinoso y con bajos valores de peso hectolítrico y densidad (Wellhausen *et al.*, 1951; Bonifacio *et al.*, 2005). Varias de éstas características físicas (forma y tamaño de grano, densidad y peso hectolítrico) están relacionadas con la variable tiempo de cocimiento para “reventado” del grano (TCpRG), que es un parámetro de la calidad pozolera del maíz Cacahuacintle (Bonifacio *et al.*, 2005). Para lograr el “reventado” del grano se requiere que los gránulos de almidón del endospermo se hinchen, el grano se abra y el germen, que por su naturaleza lipídica prácticamente no absorbe agua, se desprenda, favoreciendo que el grano “florece” o “reviente”.

La velocidad de hinchamiento de los gránulos se ve influenciada por la proporción de amilosa: amilopectina en el almidón. La amilopectina tiene mayor poder de hinchamiento que la amilosa debido a su estructura ramificada (Ansari *et al.*, 2010). En el almidón de maíces harinosos hay una mayor proporción de amilopectina (Dombrink-Durtzman y Knutson, 1997; Utrilla-Coello *et al.*, 2010) que en el de granos duros o vitreos. Las diferencias en la proporción de amilosa/amilopectina en el almidón del maíz también influyen en las propiedades de formación de pasta de las harinas (Jane y Chen, 1992).

El mejoramiento genético de maíces de especialidad como el Cacahuacintle requiere de la identificación de germoplasma sobresaliente tanto en aspectos agronómicos como en los parámetros de calidad que determinan su uso especial. Los objetivos del presente trabajo fueron: 1) evaluar la calidad pozolera de una colección de 25 poblaciones de maíz Cacahuacintle de los Valles Altos de Puebla, en función de caracteres morfológicos del grano y variables tecnológicas, físicas, y químicas; y 2) determinar la relación entre características químicas y funcionales del almidón del grano con su calidad pozolera. La hipótesis fue que existe al menos una población sobresaliente dentro de las poblaciones recolectadas en los Valles Altos de Puebla.

## Material y métodos

### Material genético

Se utilizaron 25 poblaciones de maíz Cacahuacintle recolectadas en 2007 en la región de los Valles Altos de Puebla, las cuales se obtuvieron de un muestreo estratificado

(Bonifacio *et al.*, 2005). Grain “popping” requires endosperm starch granules to swell, the grain opens, and germ (which is lipidic, and absorbs almost no water), peels off, favoring the grain to pop.

The granules swelling rate is influenced by the amylose/ amylopectin ratio in starch. Amylopectin swelling power is higher due to its branched structure (Ansari *et al.*, 2010). Mealy maize starch shows greater amylopectin proportion (Dombrink-Durtzman y Knutson, 1997; Utrilla-Coello *et al.*, 2010) than in hard or vitreous grains. Differences in amylose/ amylopectin ratio in maize starch also influence the pasting properties of flours (Jane and Chen, 1992).

Specialty maize breeding like Cacahuacintle requires identifying outstanding germplasm both agronomically and in quality parameters for its special use. This study aimed to 1) evaluate the quality for pozole of a collection of 25 Cacahuacintle maize populations of High Valleys of Puebla (CMHVP), based on morphological characters and grain technological, physical and chemical variables; and 2) determine the relationship between grain starch chemical and functional characteristics and his quality for pozole. The hypothesis was that there is at least one outstanding population within populations collected in the High Valleys of Puebla.

## Materials and methods

### Germplasm

Overall 25 Cacahuacintle maize populations were used, collected in 2007 in the region of the High Valleys of Puebla, which were obtained from a stratified random sampling in 48 locations belonging to 22 municipalities of the state of Puebla. The collections are sheltered in the National Reference Bank at the Autonomous University of Chapingo, with the initial key CPue - followed by the identification number in the document. Additionally, 10 Cacahuacintle populations from Mexico and Tlaxcala states were used. The populations were characterized morphologically in three localities in the state of Puebla. The material used in this study comes from the characterization made in San Francisco Independencia, Tlachichuca municipality at 19°04'51" north latitude and 97°25'51" west longitude (INEGI, 1999), which is one of those three localities. Additionally, a Cónico maize population from the region

aleatorio en 48 localidades pertenecientes a 22 municipios del estado de Puebla. Las colectas están resguardadas en el Banco de Referencia Nacional de la Universidad Autónoma Chapingo, con la clave inicial CPue- seguido del número con que se identifican dentro del documento. Adicionalmente se usaron 10 poblaciones de Cacahuacintle del Estado de México y del estado de Tlaxcala. Las poblaciones se caracterizaron morfológicamente en tres localidades del estado de Puebla. El material utilizado en el presente estudio proviene de la caracterización realizada en San Francisco Independencia, municipio de Tlachichuca 19° 04' 51" latitud norte y 97° 25' 51" longitud oeste (INEGI, 1999), que es una de esas tres localidades. Se incorporaron en el estudio una población de maíz Cónico de la región y una de maíz Ancho del estado de Guerrero como referencias de los aspectos de calidad. La caracterización morfológica y física del grano se realizó en todas las poblaciones. Las variables tecnológicas, químicas y de propiedades de formación de pasta se determinaron únicamente en 11 poblaciones de maíz Cacahuacintle de los Valles Altos de Puebla, una población de Cacahuacintle del Estado de México (P2) y en los dos testigos (Cónico y Ancho).

## Variables evaluadas

### Características morfológicas y físicas del grano

La forma de grano se determinó visualmente según los criterios de Bonifacio *et al.* (2005) en las categorías redondeada (R), redondeada globosa (RG), apastillada triangular (AT) y alargada apastillada (AA). También se determinó el peso hectolítrico (PH) y la humedad del grano (HGr) con los métodos 84-10 y 44-10, aprobados por la AACC (1976). La humedad se consideró por el efecto que tiene sobre las características físicas del grano. Se cuantificó el peso de 100 granos obtenidos al azar en cada población en una balanza semianalítica Sartorius modelo BL610, y después se multiplicó por 10 para obtener el peso de mil granos (PMG). El color de grano (CGr), expresado como la reflectancia (%), se midió con un colorímetro tipo Agtron 500-A y longitud de onda de 546 nm (color verde).

### Elaboración del pozole y determinación de variables tecnológicas

La selección de las 11 poblaciones se realizó considerando principalmente la forma de grano redondeada globosa que Bonifacio *et al.* (2005) reportan como una característica básica en la calidad pozolera de maíz Cacahuacintle; dentro de esta forma se seleccionaron muestras de tamaño de

and one of Ancho maize from the Guerrero state were included as quality references. Grain morphological and physical characterization was carried in all locations. Technological, chemical properties and pasting variables were determined only in 11 Cacahuacintle maize populations from the High Valleys of Puebla, one Cacahuacintle population from Mexico State (P2) and the two controls (Cónico and Ancho).

## Evaluated variables

### Grain morphological and physical characteristics

Grain shape was visually assessed according to Bonifacio *et al.* (2005) in the categories, rounded (R), globose rounded (GR), triangular flat (TF) and elongated flat (EF). Test weight (TW) and grain moisture (GM) were assessed with the 84-10 and 44-10 AACC approved methods (1976). Humidity was considered by its effect on grain physical characteristics. The weight of 100 grains obtained at random from each population was quantified in a Sartorius BL610 semi-analytical balance, and multiplied by 10 to get the thousand grain weight (TGW). Grain color (GC), expressed as reflectance (%) was measured in an Agtron 500-A type colorimeter and 546 nm wavelength (green).

### Pozole preparation and technological variables assessment

The 11 populations were selected by the globose rounded grain shape, reported by Bonifacio *et al.* (2005) as a basic feature for pozole quality in Cacahuacintle maize then grain samples were sorted by large, medium and small size. Pozole was prepared according to Bonifacio *et al.* (2005) procedure, starting with grain nixtamalization, 50 g boiling for 20 min with 0.7% calcium oxide as lime source and 2:1 water/grain ratio. Samples rested 14 to 16 h, nejayote was removed and nixtamal washed with tap water to fully remove the pericarp. In nixtamalized grains, pedicel was removed with a scalpel sample grains were weighed and measured its volume in a 250 mL test tube, considered as the initial volume.

Samples were placed in 600 mL beakers with 140 mL water and cooked at boiling temperature. The cooking time for grain popping (CTGP) was taken from full boiling start until three out of five (*i.e.* over 50%) randomly selected grains popped out. Samples were removed from heat and allowed

grano grande, mediano y chico. La elaboración del pozole se realizó de acuerdo con el procedimiento de Bonifacio *et al.* (2005) que se inició con la nixtamalización de 50 g de grano por 20 min en ebullición con 0.7% de óxido de calcio como fuente de cal y relación de agua: grano de 2:1. Las muestras reposaron 14 a 16 h, se eliminó el nejayote y el nixtamal se lavó con agua corriente hasta eliminar todo el pericarpio. En los granos nixtamalizados se retiró el pedicelo con un bisturí, se pesó el grano de cada muestra y se midió su volumen en una probeta de 250 mL que se consideró como el volumen inicial. Las muestras se colocaron en vasos de precipitados de 600 mL, se agregaron 140 mL de agua y se cocieron a temperatura de ebullición. El tiempo de cocción para reventado de grano (TCpRG) se consideró a partir del inicio de la ebullición plena, y hasta que al tomar al azar cinco granos de la muestra, tres de ellos ya estaban “floreados” o “reventados”; es decir, que más de 50% de los granos cumplieran con dicha característica. Las muestras se retiraron del fuego y se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Se separaron los granos del caldo de cocimiento. Se contabilizó el número total de granos reventados y se expresó en porcentaje (PGR). El volumen de expansión (VEx) se calculó como la diferencia entre el volumen inicial (grano nixtamalizado) y el volumen final (grano reventado).

Para cuantificar la pérdida de sólidos (PS) en el caldo de cocimiento, las muestras se aforaron con agua destilada a un volumen constante para todas y luego de agitar manualmente para homogeneizarla, se tomó una alícuota de 15 mL que se depositó en un vaso de precipitados de 25 mL (previamente puesto a peso constante) y se colocó en una estufa a 60 °C por 14-16 h, hasta peso constante. Fuera de la estufa la muestra se enfrió en un desecador, y se pesó en una balanza semianalítica. El porcentaje de pérdida de sólidos se calculó por diferencia de pesos e incluyó los sólidos solubles y los suspendidos.

Se midió la viscosidad del caldo de cocción (VCC) con un viscosímetro de Ostwald para líquidos de baja viscosidad, utilizando el caldo de cocción remanente del análisis anterior. El caldo se calentó de 1 a 2 min para facilitar su filtrado a través de papel Whatman No. 4. De la muestra filtrada se tomaron 5 mL se colocaron en el viscosímetro y se registró el tiempo requerido para el paso del líquido a través de la burbuja del viscosímetro. La referencia utilizada fue el tiempo que tarda el agua destilada a una temperatura de 25 °C en pasar por la burbuja. El resultado se expresó en términos de viscosidad relativa al dividir el tiempo de la muestra entre el tiempo de referencia del agua (Bonifacio *et al.* 2005).

to cool at room temperature. Grains were separated from the cooking broth. Overall popped grains were counted and expressed as a percentage (PPG). The expansion volume (VEx) was calculated as the difference between the initial volume (nixtamalized grain) and the final volume (popped grain).

Loss of solid (LS) in the cooking broth was quantified as follows: samples were gauged to constant volume with distilled water, homogenized by manual shaking, a 15 mL aliquot was taken to a 25 mL beaker (previously set to constant weight) and placed in oven at 60 °C for 14-16 h, until constant weight. Out of the oven the sample was cooled in a desiccator, and weighed on a semi-analytical balance. The solids loss percentage was calculated by weight difference including soluble and suspended solids.

Cooking broth viscosity (CBV) was measured by Ostwald viscometer for low viscosity liquids, using the remaining broth from the above analysis. The broth is heated for 1 to 2 min to facilitate filtration through Whatman No. 4 paper. From the filtered sample 5 mL were taken, then placed in the viscometer and the time required for liquid passage through the viscometer bubble was recorded. The time for distilled water at 25 °C to pass through the bubble was used as reference. The result was expressed in terms of relative viscosity dividing sample time by the reference time (Bonifacio *et al.* 2005).

### Amylose content

Endosperm flour was tested, for which pedicel, pericarp and germ were removed using a scalpel, before grinding the grain in an IKA mill (Werke MF 10 basic) with 0.5 mm mesh to obtain the flour, from which 20 mg of sample were dissolved in 8 mL of 90% dimethylsulfoxide (DMSO). The mixture was stirred for 20 min and heated for 15 min at 85 °C in a water bath. The solution was cooled to room temperature for 20 min, then gauged to 25 mL with distilled water, taking 1 mL of the sample to add 40 mL of distilled water and 5 mL of I<sub>2</sub>-KI (I<sub>2</sub> 2.5 mM y KI 6.5 mM) solution, then gauged to 50 mL with distilled water and allowed to rest 15 min at room temperature (Hoover and Ratnayake, 2002). Absorbance was read in a spectrophotometer at 600 nm. A standard curve for amylose and amylopectin mixtures (in the range 0-100% amylose) was prepared to do amylose calculations. Results were expressed as % amylose in sample, dry basis.

## Contenido de amilosa

La determinación se realizó en harina de endospermo, por lo cual al grano se le retiraron las estructuras de pedicelo, pericarpio y germen con un bisturí, antes de molerlo en un molino IKA (Werke MF 10 basic) con malla 0.5 mm para obtener la harina. Se disolvieron 20 mg de muestra en 8 mL de dimetilsulfóxido (DMSO) a 90%. La mezcla se agitó por 20 min y se calentó 15 min en un baño de agua a 85 °C. La disolución se enfrió a temperatura ambiente 20 min y se aforó a 25 mL con agua destilada. Se tomó 1 mL de la muestra y se adicionaron 40 mL de agua destilada y 5 mL de solución I<sub>2</sub>-KI (I<sub>2</sub> 2.5 mM y KI 6.5 mM); se ajustó el volumen a 50 mL con agua destilada y se dejó reposar 15 min a temperatura ambiente (Hoover y Ratnayake, 2002). La absorbancia se leyó en un espectrofotómetro a 600 nm. Se preparó una curva estándar de mezclas de amilosa y amilopectina (en un intervalo de 0-100% de amilosa) para realizar los cálculos de contenido de amilosa. Los resultados se expresaron en % de amilosa en muestra, base seca.

## Propiedades de formación de pasta

De la harina de endospermo utilizada para la determinación de amilosa se tomaron 3.5 g con base a 14% de humedad, se colocaron en un recipiente de aluminio y se adicionó agua destilada hasta lograr un peso de 28 g. Ésta mezcla se utilizó para realizar la prueba de propiedades de formación de masa en un analizador Rapid Visco Analyzer (RVA), (Newport Scientific Warriewood, Australia). De la curva resultante de la prueba se calcularon las variables: temperatura de inicio de formación de pasta (TIFP) en °C, viscosidad máxima al final del ciclo de calentamiento (VMc) y viscosidad final del ciclo de enfriamiento (VFe), ambas expresadas en centipoises (cP).

## Análisis estadístico de la información

Con la información se realizó un análisis de varianza utilizando el modelo lineal correspondiente a un diseño experimental completamente al azar con dos repeticiones, excepto para las variables TIFP, VMc y Vfe, que por tener solo una repetición, no se incorporaron en este análisis. Se utilizó la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) para la comparación de medias y se hizo un análisis de correlación entre variables. Se realizó un análisis de componentes principales con los resultados de la caracterización física del grano y las variables de calidad. Para todos los análisis se utilizó el paquete SAS (SAS Institute, 1999).

## Pasting properties

From endosperm flour used to determine amylose, 3.5 g based on 14% moisture were taken, placed on an aluminum pan and distilled water was added to achieve 28 g weight. This mix was tested for mass-forming properties in a Rapid Visco Analyzer (RVA) (Newport Scientific Warriewood, Australia). From the resulting curve variables calculated: Pasting Starting temperature (PST) in °C, maximum viscosity at the end of the heating cycle (VMh) and final viscosity of the cooling cycle (VFc), both expressed in centipoise (cP).

## Statistical analysis of the information

An analysis of variance was performed using a linear model for a completely randomized experimental design with two replications, except for PST, VMh and VFc variables, with one repetition, thus excluded from this analysis. Tukey test ( $p \leq 0.05$ ) was used to compare means and a correlation analysis between variables was made. Principal component analysis was based on grain physical characterization and quality variables. For all analyses the SAS (SAS Institute, 1999) package was used.

## Results and discussion

### Grain morphological and physical characteristics

This section describes and discusses results from the analysis of the 35 Cacahuacintle populations. However, for space limitations, only information on samples evaluated for technological and quality variables is presented in tables. The morphological and physical analysis of all collections showed that 86% of studied populations showed globose rounded grain shape, which according to Wellhausen *et al.* (1951) is typical of Cacahuacintle, mostly reported by Bonifacio *et al.* (2005). The remaining populations showed triangular flat and elongated flat shaped grains at a ratio of 8 and 6% respectively. These grain shapes observed in some Cacahuacintle populations may be due to mixture with Cónico maize since adjacent plots of these races are common in the field.

TGW, TW and GC variables differed significantly between genotypes ( $p \leq 0.05$ ). The values obtained for TGW ranged from 454 to 612 g in maize of the High Valleys of Puebla, for Cacahuacintle from the state of Mexico the observed variability was between 359 and 581 g (data not shown). In

## Resultados y discusión

### Características morfológicas y físicas del grano

Los resultados que se describen y discuten en esta sección corresponden al análisis de las 35 poblaciones de Cacahuacintle. Sin embargo, por razones de espacio únicamente se presenta en cuadros la información para las muestras que se sometieron a la evaluación de variables tecnológicas o de calidad. El análisis de todas las colectas por sus características morfológicas y físicas mostró que 86% de las poblaciones estudiadas presentaron la forma de grano redondeada globosa, la cual de acuerdo con Wellhausen *et al.* (1951) es la forma característica de los granos de maíz Cacahuacintle y la que en su mayoría reportan Bonifacio *et al.* (2005). Las poblaciones restantes presentaron granos con forma apastillada triangulada y apastillada alargada en una proporción de 8 y 6% respectivamente. Éstas formas de grano observadas en algunas poblaciones de maíz Cacahuacintle podrían deberse a que se han mezclado con el maíz Cónico, pues es común que en el campo se tengan parcelas adyacentes de ambos tipos de maíz.

Las variables PMG, PH y CG presentaron diferencias significativas entre genotipos ( $p \leq 0.05$ ). Los valores obtenidos para PMG variaron de 454 a 612 g en maíces de los Valles Altos de Puebla, para maíz Cacahuacintle del Estado de México la variabilidad observada se ubicó entre 359 y 581 g (datos no mostrados). En las poblaciones de Cacahuacintle seleccionadas por forma de grano para la evaluación de calidad para pozole, el PMG mostró diferencia significativa entre poblaciones (Tukey, 0.05). Los valores variaron entre 474.8 y 598.5 g. El maíz Cónico presentó el menor valor numérico y maíz Ancho el más alto (Cuadro 1). Todas las muestras de maíz Cacahuacintle presentaron valores de PMG inferiores al observado en la muestra de maíz Ancho, que es un maíz también destinado a la elaboración de pozole en algunos estados del país como Morelos y Guerrero.

Los resultados obtenidos para PMG son similares a los informados por Mauricio *et al.* (2004) en maíz Cacahuacintle quienes reportaron valores de 379 y 460 g para las accesiones Mex-7 y Ver-383; concuerdan también con los obtenidos por Bonifacio *et al.* (2005) que informaron un valor promedio de 552 g para 21 colectas de maíz Cacahuacintle y se ubican dentro de la variación señalada por Arellano *et al.* (2010) en 41 poblaciones de Cacahuacintle recolectadas en los estados de Puebla y Estado de México. La importancia de esta variable radica en que de acuerdo con Bonifacio *et al.* (2005)

Cacahuacintle populations selected by grain shape in quality assessment for pozole, TGW showed significant differences among populations (Tukey, 0.05). Values ranged between 474.8 and 598.5 g. The Cónico maize showed the lowest value and the “Ancho” maize showed the highest one (Table 1). All Cacahuacintle samples showed TGW values lower than those observed in the “Ancho” maize, which is also used for pozole preparation in some states such as Morelos and Guerrero.

TGW results are similar to those reported by Mauricio *et al.* (2004) in Cacahuacintle maize who reported values of 379 and 460 g for the Mex-7 y Ver-383 accessions, are also consistent with those obtained by Bonifacio *et al.* (2005) who reported an average value of 552 g for 21 Cacahuacintle maize collections and are within the variation noted by Arellano *et al.* (2010) in 41 Cacahuacintle populations collected in the states of Puebla and Mexico State. This variable is relevant according to Bonifacio *et al.* (2005) who noted that Cacahuacintle grains with globose rounded shape and high TGW have shorter cooking times for grain popping.

The TW showed a mean value of 58.8 kg hL<sup>-1</sup> in Cacahuacintles from High Valleys of Puebla and 61 kg hL<sup>-1</sup> in Cacahuacintles from the State of Mexico (data not shown). In Cacahuacintle populations selected for quality testing the TW varied between 56.4 and 62.4 kg hL<sup>-1</sup>, the Cónico maize showed the highest value and statistically different from the Cacahuacintle and Ancho populations (Table 1). The TW is an indirect measure of maize grain hardness high values (80 kg hL<sup>-1</sup>) are common in hard maize endosperm (Salinas *et al.*, 1992), while low values are associated with soft and very soft maize. TW values obtained are similar to those reported by Arellano *et al.* (2010) for Cacahuacintle populations of Puebla and Mexico State.

In the Blando de Sonora race a mealy type maize similar to Cacahuacintle, Vázquez *et al.* (2003) reported a TW of 65.9 kg hL<sup>-1</sup>, Bonifacio *et al.* (2005) report an average value of 60.4 kg hL<sup>-1</sup> for 21 Cacahuacintle maize collections, both TW values are similar to those found in Cacahuacintle maize populations from the state of Puebla.

The grain color variable averaged 83.2 and 81.1% reflectance for Cacahuacintle populations of the High Valleys of Puebla and Mexico State and Tlaxcala respectively. Cónico and Ancho varieties showed 87.5 and 72% reflectance respectively (Table 1). Bonifacio *et al.* (2005) report an average of 83.4% reflectance, which matches the value found in this study. The high reflectance values indicate higher grain whiteness, which is a favorable feature in maize for pozole preparation (Bonifacio *et al.*, 2005).

granos de Cacahuacintle con forma redondeada globosa y de mayor PMG, poseen menores tiempos de cocimiento para reventado.

El PH presentó un valor promedio de 58.8 kg hL<sup>-1</sup> para los Cacahuacintles de Valles Altos de Puebla y 61 kg hL<sup>-1</sup> para Cacahuacintles del Estado de México (datos no mostrados). En las poblaciones de Cacahuacintle seleccionadas para las pruebas de calidad el PH varió entre 56.4 y 62.4 kg hL<sup>-1</sup>, el maíz Cónico fue el de mayor valor y estadísticamente diferente a las poblaciones de Cacahuacintle y Ancho (Cuadro 1). El PH es una medida indirecta de la dureza del grano de maíz, valores elevados (80 kg hL<sup>-1</sup>) son comunes en maíces de endospermo duro (Salinas *et al.*, 1992), en tanto que valores bajos son característicos en maíces suaves y muy suaves. Los valores de PH obtenidos son parecidos a los informados por Arellano *et al.* (2010) para poblaciones de Cacahuacintle de Puebla y Estado de México.

En la raza Blando de Sonora que es un maíz de tipo harinoso muy similar al Cacahuacintle, Vázquez *et al.* (2003) reportaron un PH de 65.9 kg hL<sup>-1</sup>; Bonifacio *et al.* (2005) mencionan un valor promedio de 60.4 kg hL<sup>-1</sup> para 21 colectas de maíz Cacahuacintle, ambos valores de PH son similares a los encontrados en las poblaciones de maíz Cacahuacintle del estado de Puebla.

**Cuadro 1. Características físicas de grano de poblaciones de maíz Cacahuacintle seleccionadas por su forma de grano y dos testigos seleccionados para calidad pozolera.**

**Table 1. Grain physical characteristics in Cacahuacintle maize populations selected by grain shape and two controls selected for pozole quality.**

Genealogía	PMG <sup>†</sup> (g)	PH <sup>††</sup> (kg hL <sup>-1</sup> )	CG <sup>‡</sup> (%)	Forma de grano <sup>§§</sup>	Tamaño de grano
CPue-00471	485.0bc	62.4b	74.0bc	RG	Grande
CPue-00473	527.7bc	60.1b	86.5a	RG	Grande
CPue-00470	569.1bc	59.4b	83.5ab	RG	Mediano
CPue-00477	571.1bc	58.6b	84.5a	RG	Mediano
CPue-00482	570.4bc	57.0b	79.0abc	RG	Mediano
P2	527.1bc	58.8b	87.5a	RG	Mediano
CPue-00472	535.5bc	56.4b	86.5a	RG	Pequeño
CPue-00474	474.8c	59.9b	85.5a	RG	Pequeño
CPue-00475	598.5b	57.3b	81.0abc	RG	Pequeño
CPue-00476	554.8bc	56.5b	86.5a	RG	Pequeño
CPue-00487	532.0bc	59.5b	88.0a	RG	Pequeño
CPue-00488	541.4bc	59.0b	82.5ab	RG	Pequeño
T1-Cónico	303.1d	79.0a	87.5a	AT	Pequeño
T2-Maíz Ancho	792.2a	63.8b	72.0c	AT	Grande
DSH (0.05)	122.9	8.9	9.8		

Medias con letras iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). <sup>†</sup>Peso de mil granos; <sup>††</sup>Peso hectolítrico <sup>‡</sup>; color de grano; <sup>§§</sup> RG= redondeada globosa; AT= apastillada triangulada.

**Technological variables**

Technological or process variables, such as cooking time for grain popping (CTGP) and percentage of popped grains (PPG) showed highly significant differences ( $p \leq 0.01$ ). The CTGP had a variation of 146-221 min in Cacahuacintle maize materials, mean values for Ancho and Cónico were 192 and 196 min, respectively (Table 2). CTGP values for Cacahuacintles found here are within the variation reported by Bonifacio *et al.* (2005). The CPue-00472, CPue-00476 and CPue-00477 populations showed the lowest CTGP with 146-149 min. The grain of such collections is globose rounded, a feature associated with less CTGP according to Bonifacio *et al.* (2005). The starch granules average size is considered large in Cacahuacintle maize compared to dent or hard maize (Narváez-González *et al.*, 2007), a feature related to their ability to hydrate and develop viscosity which may be associated with CTGP.

The PPG fluctuated between 56.3 and 88.7% and showed no correspondence with the CTGP, in contrast with Bonifacio *et al.* (2005) who mentioned that a higher CTGP contributed to a greater PPG. The differences between the two studies can be attributed to subjectivity in PPG measurements as per what is considered a “popped” grain, can vary by operator.



La variable color de grano presentó un valor promedio de 83.2 y 81.1% de reflectancia para las poblaciones de maíz Cacahuacintle de los Valles Altos de Puebla y del Estado de México y Tlaxcala respectivamente. Para el maíz Cónico y Ancho los valores fueron de 87.5 y 72% de reflectancia respectivamente (Cuadro 1). Bonifacio *et al.* (2005) mencionan un valor promedio de 83.4% de reflectancia, valor que coincide con el encontrado en este estudio. Los valores altos de reflectancia indican mayor blancura del grano, lo cual es una característica favorable en el maíz destinado para la elaboración de pozole (Bonifacio *et al.*, 2005).

### Variables tecnológicas

Las variables tecnológicas o de proceso, como tiempo de cocción para reventado de grano (TCpRG) y porcentaje de granos reventados (PGR) presentaron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ). El TCpRG tuvo una variación de 146 a 221 min en los materiales de maíz Cacahuacintle, en el maíz Ancho y Cónico los valores promedio fueron de 192 y 196 min, respectivamente (Cuadro 2). Los valores de TCpRG para los maíces Cacahuacintles aquí encontrados están dentro de la variación reportada por Bonifacio *et al.* (2005). El menor TCpRG lo presentaron las poblaciones CPue-00472, CPue-00476 y CPue-00477 con valores de 146-149 min. El grano de estas colectas es de forma redondeada globosa, característica que de acuerdo con Bonifacio *et al.* (2005), se asocia con menor tiempo de cocimiento para el "reventado" del grano. El tamaño promedio de los gránulos de almidón en el maíz Cacahuacintle es considerado como grande al compararse con el de maíces dentados o duros (Narváez-González *et al.* 2007), característica que se relaciona con su capacidad de hidratarse y desarrollar viscosidad, las que podrían tener asociación con la TCpRG.

El PGR fluctuó entre 56.3 y 88.7% y no mostró correspondencia con el TCpRG, a diferencia de lo encontrado por Bonifacio *et al.* (2005), quienes mencionan que un elevado tiempo de cocción para reventado contribuyó a que un mayor número de granos reventaran. Las diferencias entre ambos estudios se pueden atribuir a que la variable PGR se determina con base a una apreciación subjetiva de lo que se considera un grano "floreado" y que puede variar según el operario.

El Vex y la PS de las muestras no observaron diferencias estadísticas, en tanto que la VCC más elevada y diferente al resto de las muestras, la presentó el maíz Ancho.

No statistical differences were found for VEx and LS of samples while the highest CBV and different from other samples, was presented by the Ancho maize.

There was a positive correlation between the loss of solids and cooking broth viscosity ( $R = 0.61$ ;  $p \leq 0.05$ ) and also between LS and CTGP ( $R = 0.77$ ,  $p \leq 0.01$ ). This indicates that the greatest loss of solids is directly associated with the viscosity of the cooking broth, likewise, increased LS would be associated with greater CTGP. The materials with highest LS were Ancho, Cónico and P2 maize such materials would provide a pozole with a more viscous broth (Table 2). Generally solid loss ranged between 2.3 and 3%. These values are similar to those reported by Bonifacio *et al.* (2005) for Cacahuacintle maize without tip cap.

The viscosity of cooking broth ranged from 1.005-1.077. The reference used for calculation was distilled water at 25 °C, thus viscosity of cooking broth at the same temperature was slightly higher. According to this variable, the pozole broth from Ancho maize was more viscous than broth from the CPue-00471 population. Consumers prefer a broth with certain "body" or viscosity, but the viscosity values associated with these two quality categories are not defined.

Figure 1 shows the results of principal component analysis of the grain physical, quality or technological variables. P2, Cónico and Ancho samples are clearly different from Cacahuacintle populations spread toward the center of the plane formed by the principal components 1 and 2. The group formed by the CPue-473, 474, 476 and 487 populations showed remarkable grain whiteness and high PPG, with moderate values in CTGP and LS variables, but low CBV and TGW.

The CPue-470, 471, 472, 475 and 477 group was characterized by lower values of TW, CTGP, LS and VEx compared to previous group. Populations of this group can be considered of good quality for pozole, especially if it is intended that most grains pop at a reasonable cooking time. CPUE-482 population was separated from other Cacahuacintle populations due to its high CBV and TGW. In these variables a similar trend was presented by the Ancho maize collection, which was located in the same quadrant. The P2 and Cónico populations stand out for a high TW, CTGP and LS. Their behavior in the variables related to pozole quality was not favorable, this results were as expected, since these maize varieties are not intended for this purpose.

**Cuadro 2. Variables tecnológicas para elaboración de pozole en 12 poblaciones de maíz Cacahuacintle y dos testigos (Cónico y Ancho).**

**Table 2. Technological variables for pozole preparation in 12 Cacahuacintle maize populations and two controls (Cónico and Ancho).**

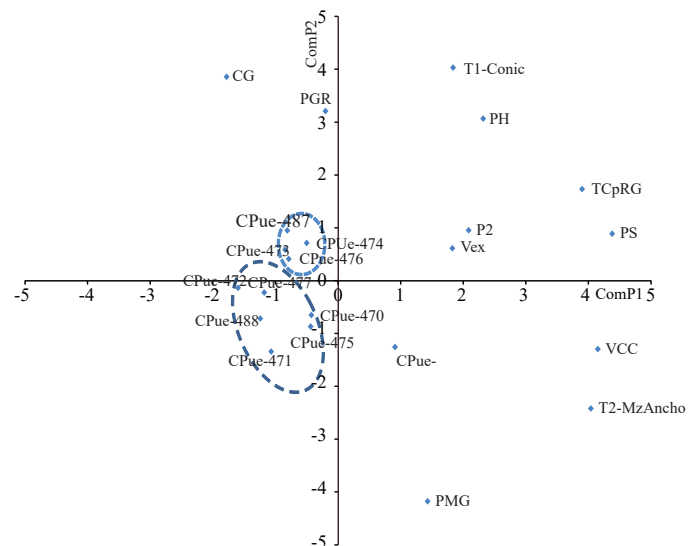
Genealogía	TCpRGr <sup>†</sup> (min)	PGR <sup>††</sup> (%)	Vex <sup>‡</sup> (cm <sup>3</sup> )	PS <sup>§</sup> (%)	VCC <sup>§</sup>
CPue-00470	162.5cd	67.8ef	112.0a	2.45a	1.029ab
CPue-00471	164.7cd	56.3f	106.0a	2.34a	1.005ab
CPue-00472	146.0d	73.6cde	114.0a	2.41a	1.014ab
CPue-00473	163.5cd	83.5abc	113.0a	2.28a	1.031ab
CPue-00474	167.9cd	80.4abcd	105.0a	2.62a	1.029ab
CPue-00475	158.8cd	75.7bcde	98.0a	2.82a	1.024ab
CPue-00476	148.7d	88.7a	121.0a	2.39a	1.032ab
CPue-00477	149.4d	77.9abcde	108.5a	2.49a	1.019ab
CPue-00482	157.0cd	71.4de	112.0a	2.81a	1.053ab
CPue-00487	173.2bc	87.5a	102.5a	-	1.027ab
CPue-00488	154.8cd	67.0ef	107.5a	2.40a	1.017ab
T1-Cónico	195.8b	85.6ab	114.0a	3.04a	1.029ab
T2-Maíz Ancho	192.2b	70.7de	116.0a	3.04a	1.077a
P2	220.9a	71.6de	114.0a	3.07a	1.036ab
DSH (0.05)	23.1	11.7	25.6	0.84	0.07

Medias con letras iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). <sup>†</sup>TCpRGr= tiempo de cocción para reventado de grano; <sup>††</sup>PGR= porcentaje de granos reventados; <sup>‡</sup>Vex= volumen de expansión; <sup>§</sup>PS= pérdida de sólidos; <sup>§</sup>VCC= viscosidad del caldo de cocción.

La pérdida de sólidos y viscosidad del caldo de cocción se correlacionaron positivamente ( $R=0.61$ ;  $p\leq 0.05$ ), así como, entre PS y TCpFG ( $R=0.77$ ;  $p\leq 0.01$ ). Lo anterior indica que la mayor pérdida de sólidos está asociada directamente con la viscosidad del caldo de cocción, de igual manera, una mayor PS estaría asociada con mayor TCpFG. Los materiales con mayor PS fueron el maíz Ancho, Cónico y P2; dichos materiales proporcionarían un pozole con un caldo más viscoso (Cuadro 2). De manera general la pérdida de sólidos fluctuó entre 2.3 y 3%. Éstos valores son parecidos a los informados por Bonifacio *et al.* (2005) para maíz Cacahuacintle despuntado.

La viscosidad del caldo de cocimiento varió entre 1.005 a 1.077. La referencia usada para su cálculo fue la del agua destilada a 25 °C, por lo que la viscosidad del caldo a esa misma temperatura fue ligeramente mayor. De acuerdo con esta variable, el caldo del pozole del maíz Ancho fue más viscoso que el del caldo de la población CPue-00471. Al consumidor(a) le agrada un caldo que tenga cierto “cuerpo” o viscosidad, pero los valores de viscosidad asociados con estas dos categorías de calidad no se encuentran definidos.

En la Figura 1 se presentan los resultados del análisis de componentes principales de las variables físicas de grano y de calidad o tecnológicas. Las muestras P2, Cónico y Ancho son claramente diferentes a las poblaciones de Cacahuacintle



**Figura 1. Dispersión de las poblaciones de maíz Cacahuacintle, y los testigos P2, Cónico y Ancho con base en sus características físicas de grano y variables tecnológicas en el plano de los componentes principales 1 y 2. Variabilidad explicada por cada componente: Comp1:32.8%; Comp2:28.9%.**

**Figure 1. Dispersal of Cacahuacintle maize populations, and P2, Cónico and Ancho controls based on grain physical and technological variables in the plane of principal components 1 and 2. Variability explained by each component: Comp1: 32.8%; Comp2: 28.9%.**

que se distribuyen hacia el centro del plano formado por los componentes principales 1 y 2. El grupo formado por las poblaciones CPue- 473, 474, 476 y 487 destacó por la blancura de su grano y elevado PGR, con valores moderados en las variables de TCpRGr y PS, pero bajos en las variables de VCC y PMG.

El grupo formado por CPue-470, 471, 472, 475 y 477 se caracterizaron por menores valores de PH, TCpRGr, PS y Vex con respecto a lo expresado por el grupo anterior. Las poblaciones de este grupo pueden considerarse con buena calidad para pozole, sobre todo si se busca que la mayoría de los granos floreen con un tiempo de cocimiento razonable. La población CPue-482 se separó del resto de las poblaciones de Cacahuacintle debido a su elevado valor de VCC y PMG. En éstas variables presentó tendencia a ser parecida a la colecta de maíz Ancho, que se ubicó en el mismo cuadrante. La población P2 y el maíz Cónico sobresalieron por su elevado PH, TCpRGr y PS. Su comportamiento en las variables relacionadas con calidad para pozole no fue favorable, resultado que está de acuerdo a lo que se esperaba, ya que estos maíces no se destinan a este fin.

### Contenido de amilosa y propiedades de formación de pasta

El contenido de amilosa en el endospermo de las poblaciones de maíz presentó diferencias significativas entre genotipos ( $p \leq 0.05$ ). La variación observada entre las poblaciones de maíz Cacahuacintle de Puebla fue de 18.9 a 25.3%; los maíces Cónico y Ancho tuvieron valores de 18.4 y 23.4 %, en ese orden (Cuadro 3). Los valores obtenidos son similares a los informados por Hernández (Com. Pers.) para grano entero de maíz Cacahuacintle (23.7%). El contenido de amilosa en el almidón de maíces de grano pigmentado, que comúnmente son harinosos, es 20-22%, en tanto que en el almidón de maíz blanco tipo dentado es 27% (Agama-Acevedo *et al.*, 2005). La importancia de determinar el contenido de amilosa en el grano de maíz Cacahuacintle radica en la posible relación de esta fracción amilácea con la viscosidad del caldo de cocimiento y con el tiempo de cocimiento para reventado.

El almidón es el principal componente del grano de maíz. Está compuesto por dos polímeros de  $\alpha$  D-glucosa que son la amilosa y la amilopectina. La amilopectina por su estructura ramificada se hidrata más fácilmente que la amilosa (Ansari *et al.*, 2010), de manera que se esperaría que aquellas poblaciones con menor contenido de amilosa, y por tanto mayor de amilopectina, tuvieran menor TCpRG. Sin embargo,

### Amylose content and pasting properties

The amylose content in the endosperm of maize populations showed significant differences among genotypes ( $p \leq 0.05$ ). The variation observed between populations of Cacahuacintle maize from Puebla was 18.9%- 25.3%, the Cónico and Ancho maize varieties showed values of 18.4 and 23.4%, in that order (Table 3). The values obtained are similar to those reported by Hernández (Pers. Comm) for Cacahuacintle maize whole grain (23.7%). The starch amylose content in the pigmented grain, which are commonly mealy, is 20-22%, while in the dent white maize starch is 27% (Agama-Acevedo *et al.*, 2005). The importance of determining the amylose content in Cacahuacintle maize grain lies in the possible relationship of this starchy fraction with the viscosity of the cooking broth and cooking time to pop.

Starch is the main component of the corn grain. It comprises two polymers of  $\alpha$  D-glucose: amylose and amylopectin. Amylopectin with branched structure is more easily hydrated than amylose (Ansari *et al.*, 2010), so one would expect that populations with lower amylose and therefore greater amylopectin had smaller CTGP. However, the correlation between the two variables was neither significant, nor showed the expected inverse relationship. Amylose values were obtained from samples and not from starch, such that the starch content variation among samples might affect results.

Regarding the pasting properties, values for PST ranged from 61.8 to 74.2 °C (Table 3), the two populations with highest amylose content (CPue-00488 y CPue-00487) showed the highest PST; however, these variables did not show a significant correlation. In sorghum starches, Sang *et al.* (2008) found lower PST in materials with lower amylose content. The VMh at the end of the heating cycle showed numerical differences between varieties. The amplitude of variability was 3293-4217 cP. This variable showed a significant decline during the period of constant temperature, attributed to some of the swollen granules that were not able to maintain their structure and solubilized during agitation, decreasing gel viscosity.

The VFc during the cooling cycle was higher than VMh in the CPue-00471, CPue-00474 and CPue-00477, materials mostly showing low amylose content. No correlation was found between VFc and amylose content. In corn starches it was observed that the higher amylose content.

la correlación entre ambas variables no fue significativa, ni mostró la relación inversa que se esperaba. Esto posiblemente se deba a que los valores de amilosa obtenidos son en muestra y no en almidón, de manera que la variación del contenido de almidón entre muestras podría afectar.

The viscoamylograms of four Cacahuacintle populations with high (CPue-00487 and CPue-00488) y low (CPue-00471 y CPue-00473) amylose contents, plus the Cónico and Ancho controls, are shown in Figure 2. Populations with high amylose content showed a trend toward greater PST

**Cuadro 3. Contenido de amilosa y propiedades de formación de pasta en harina de endospermo de poblaciones de maíz Cacahuacintle, Cónico y Ancho.**

**Table 3. Amylose content and pasting properties of endosperm flour in Cacahuacintle, Cónico and Ancho maize populations.**

Genealogía	Amilosa (%)	TIFP <sup>†</sup> (°C)	VMc <sup>††</sup> (cP)	VFe <sup>‡</sup> (cP)
T1-Cónico	18.6d	61.8	3 293	3 268
CPue-00471	18.9d	65.0	3 369	3 854
CPue-00473	20.4cd	69.6	3 764	3 565
CPue-00475	20.5cd	66.2	4 217	4 197
CPue-00482	20.7cd	63.5	3 830	3 542
CPue-00476	21.5bcd	67.6	3 916	3 850
CPue-00474	21.7bcd	63.9	3 769	3 849
P2	21.7bcd	69.2	3 968	3 554
CPue-00477	21.9bcd	63.4	3 584	3 889
CPue-00472	22.4abc	65.2	4 148	4 105
CPue-00470	23.2abc	-	-	-
T2-Maíz Ancho	23.4abc	70.5	1 699	2 691
CPue-00487	24.1ab	74.2	3 719	3 248
CPue-00488	25.3a	71.0	3 517	3 104
DSH (0.05)	3.3			

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). <sup>†</sup>Temperatura de inicio de formación de pasta. <sup>††</sup>Viscosidad máxima al final del ciclo de calentamiento. <sup>‡</sup>Viscosidad final del ciclo de enfriamiento.

Con respecto a las propiedades de formación de pasta, los valores para la variable TIFP fluctuaron de 61.8 a 74.2 °C (Cuadro 3), las dos poblaciones con mayor contenido de amilosa (CPue-00488 y CPue-00487) mostraron los mayores TIFP; sin embargo, estas variables no presentaron una correlación significativa. En almidones de sorgo, Sang *et al.* (2008) encontraron menor TIFP en los materiales con menor contenido de amilosa. La VMc al final del ciclo de calentamiento presentó diferencias numéricas entre variedades. La amplitud de variabilidad fue de 3293 a 4217 cP. Ésta variable mostró una caída importante durante el periodo de temperatura constante, atribuido a que algunos de los gránulos hinchados no fueron capaces de mantener su estructura y se solubilizaron durante la agitación, disminuyendo la viscosidad del gel.

La VFe durante el ciclo de enfriamiento fue mayor a la VMc en las poblaciones CPue-00471, CPue-00474 y CPue-00477, materiales que en su mayoría presentaron contenidos de

and lesser VFc in relation to the materials with low amylose content. The amylose content in maize starch affects its pasting properties, starches high in this carbohydrate tend to have higher PST than those starches with lower proportion (Schirmer *et al.*, 2013).

The Cónico maize showed a similar behavior to Cacahuacintle maize, while the Ancho maize was completely different, with poor viscosity development and without significant changes of viscosity during the constant temperature cycle. These results suggest that the determination of pasting properties in endosperm flour from mealy maize varieties may have potential to discriminate mealy maize varieties of different races and origins. However, only one sample from Ancho maize was analyzed, thus further studies are required with larger samples to determine the usefulness of these features as quality criteria for pozole in this types of maize. Besides, the rheological behavior that would be associated with pozole quality needs to be specified.

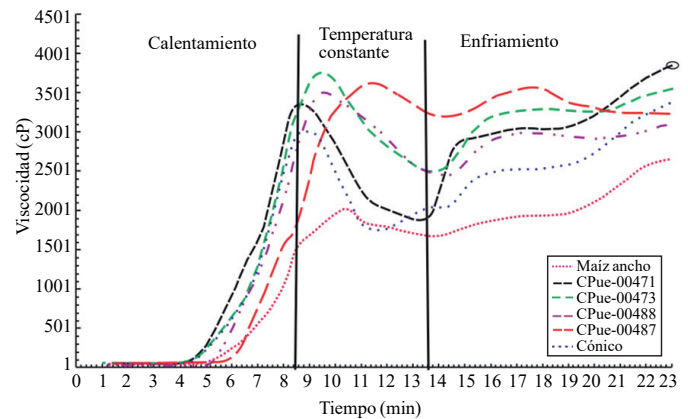
amilosa bajos. No se encontró correlación entre las variables VFe y contenido de amilosa. En almidones de maíz se ha observado que los de mayor contenido de amilosa.

Los viscoamilogramas de cuatro poblaciones de Cacahuacintle con contenidos altos (CPue-00487 y CPue-00488) y bajos (CPue-00471 y CPue-00473) de amilosa, además de los testigos Cónico y Ancho, se muestran en la Figura 2. Las poblaciones con alto contenido de amilosa presentaron tendencia hacia mayor TIFp y menor VFe, en relación con los materiales con contenidos de amilosa bajos. El contenido de amilosa en el almidón de maíz afecta sus propiedades de formación de pasta, almidones con alto contenido de este carbohidrato tienden a tener TIFp más elevadas que aquellos almidones con menor proporción (Schirmer *et al.*, 2013).

El maíz Cónico mostró un comportamiento parecido al de los maíces Cacahuacintles, en tanto que el del maíz Ancho fue completamente diferente, con un pobre desarrollo de viscosidad, y sin cambios notables de ésta durante el ciclo de temperatura constante. Éstos resultados sugieren que la determinación de las propiedades de formación de pasta en harinas de endospermo de maíces harinosos, podría tener potencial para discriminar maíces de grano harinoso de razas y orígenes distintos. Sin embargo, únicamente se analizó una muestra de maíz Ancho, por lo que es necesario continuar con este tipo de estudios, incorporando un mayor número de muestras, para determinar la utilidad de éstas características como criterios de calidad pozolera en este tipo de maíces. Es necesario precisar además cual es el comportamiento reológico que estaría asociado con calidad para pozole.

## Conclusiones

Las poblaciones de maíz Cacahuacintle analizadas presentaron diferencias en sus características físicas y de calidad para elaboración de pozole. El grupo formado por las poblaciones CPue-00473, 00474, 00477 y 00487 se distinguieron por la blancura de su grano y elevado PGR, con valores moderados en las variables de TCpRGr y PS, pero bajos en las variables de VCC y PMG. El grupo formado por CPue-00470, 00471, 00472, 00475 y 00477 se caracterizaron por menores valores de PH, TCpRGr, PS y Vex con respecto a lo expresado por el grupo anterior. El primer grupo de poblaciones puede considerarse como de mejor calidad para pozole, por presentar mayor equilibrio en las variables de calidad consideradas.



**Figura 2. Perfil de las propiedades de formación de pasta del endospermo de maíz Cacahuacintle con contenido bajo (CPue-00471 y CPue-00473) y alto de amilosa (CPue-00488 y CPue-00487) y maíz Cónico y Ancho.**  
**Figure 2. Profile of pasting properties of Cacahuacintle maize endosperm with low (CPue-00471 and CPue-00473) and high (CPue-00488 and CPue-00487) amylose content and Cónico and Ancho maize.**

## Conclusions

Cacahuacintle maize populations studied showed differences in their physical characteristics and quality for pozole preparation. The group formed by the CPue-00473, 00474, 00477 and 00487 populations were distinguished by their grain whiteness and high PPG, with moderate values in CTGP and PS variables, but low CBV and TGW. The group formed by CPue-00470, 00471, 00472, 00475 and 00477 were characterized by lower TW, CTGP, SL and VEx values compared to the previous group. The first population group can be considered as best quality for pozole, presenting more balanced quality variables.

Amylose content in grain endosperm showed little variation, and no significant correlation with technological variables nor with starch pasting properties. However, a clear difference was observed in pasting properties of endosperm flour between Cacahuacintle populations and Ancho maize which is also used for pozole preparation.



El contenido de amilosa en el endospermo del grano mostro una variación pequeña, y no mostró correlación significativa con las variables tecnológicas determinadas ni con las propiedades de formación de pasta del almidón. Sin embargo, se apreció una clara diferencia de las propiedades de formación de pasta entre las harinas de endospermo de las poblaciones de Cacahuacintle analizadas y la del maíz Ancho, que se destina también para elaborar pozole.

## Literatura citada

- AACC (American Association of Cereals Chemists). 1976. Approved methods of the AACC. The Association. St. Paul, Minnesota. USA. 84-10 y 44-10.
- Agama-Acevedo, E.; Ottenhof, M. A.; Farhat, I. A.; Paredes-López, O.; Ortíz-Cereceres, J. y Bello-Pérez, L. A. 2005. Aislamiento y caracterización del almidón de maíces pigmentados. *Agrociencia*. 39:419-429.
- Ansari, O.; Båga, M.; Chibbar, R. N.; Sultana, N. and Howes, N. K. 2010. Analysis of starch swelling power in Australian breeding lines of hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Res.* 115:171-178.
- Arellano, V. J. L.; Gámez, V. A. J. y Perches, A. M. A. 2010. Potencial agronómico de variedades criollas de maíz Cacahuacintle en el Valle de Toluca. *Rev. Fitotec. Mex.* 33:27-41.
- Bonifacio, V. E. I.; Salinas-Moreno, Y.; Ramos-R., A. y Carrillo, O. A. 2005. Calidad pozolera en colectas de maíz Cacahuacintle. *Rev. Fitotec. Mex.* 28:253-260.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad). 2012. Proyecto global de maíces nativos. <http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/proyectoMaices.html>.
- Dombrink-Kurtzman, M. A. and Knutson, C. A. 1997. A study of maize endosperm hardness in relation to amylose content and susceptibility to damage. *Cereal Chemistry* 74:776-780.
- González, H. A.; Sahagún, C. J.; Pérez, L. D. de J.; Domínguez, L. A.; Serrato, C. R.; Landeros, F. V. y Dorantes, C. E. 2006. Diversidad fenotípica del maíz Cacahuacintle en el Valle de Toluca, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 29:255-261.
- Hernández, C. J. M. 1986. Estudio de caracteres químicos del grano de las razas mexicanas de maíz y clasificación racial. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 79 p.
- Hoover, R. y and Ratnayake, W. S. 2002. Starch characteristics of black bean, chick pea, lentil, navy bean and pinto bean cultivars grown in Canada. *Food Chemistry* 78:489-498.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1999. Sistema de consulta de los censos económicos. México, D. F.
- Jane, J. and Chen, J. F. 1992. Effect of amylose molecular size and amylopectin branch chain length on paste properties of starch. *Cereal Chemistry*. 69:60-65.
- Mauricio, S. R. A.; Figueroa, C. J. D.; Taba, S.; Reyes, V. M. L.; Rincón, S. F. y Mendoza, G. A. 2004. Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. *Rev. Fitotec. Mex.* 27:213-222.
- Narváez-González, E. D.; Figueroa, C. J. D. y Taba, S. 2007. Aspectos micro-estructurales y posibles usos del maíz de acuerdo con su origen geográfico. *Rev. Fitotec. Mex.* 30:321-325.
- Paliwal, R. L. 2001. Usos del maíz. *In: el maíz en los trópicos: mejoramiento y producción*. Paliwal, R. L.; Granados, G.; Laffite, H. R.; Violic, A. D. y Marathée, J. P. (Eds.). FAO, Roma. 60 pp.
- Salinas-Moreno, Y.; Arellano, V. J. L. y Martínez, B. F. 1992. Propiedades físicas, químicas y correlaciones de maíces híbridos precoces para Valles Altos. *Arch. Latinoam. Nutr.* 42:161-167.
- Sang, Y.; Bean, S.; Seib, P. A.; Pedersen, J. and Shi, Y. C. 2008. Structure and functional properties of sorghum starches differing in amylose content. *J. Agric. Food Chem.* 56:6680-6685.
- SAS Institute. 1999. The SAS® System for Windows® (Ver. 8.0). SAS Institute Inc. Cary, NC.
- Schirmer, M.; Höchstötter, A.; Jekle, M.; Arendt, E. and Becker, T. 2013. Physicochemical and morphological characterization of different starches with variable amylose/amylopectin ratio. *Food Hydrocolloids*. 32:52-63.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2009. Anuario agropecuario, 1980-2008. SAGARPA. México, D. F. [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=287&Itemid=430](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=287&Itemid=430). (consultado julio, 2010).
- Utrilla-Coello, R. G.; Agama-Acevedo, E.; Barba de la Rosa, A. P.; Rodríguez-Ambríz, 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.
- Vázquez-Carrillo, M. G.; Guzmán, B. L.; Andrés, G. J. L.; Márquez, S. F. y Castillo, M. J. 2003. Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas. *Rev. Fitotec. Mex.* 26:231-238.
- Watson, S. A. 2003. Description, development, structure and composition of the corn kernel. *In: corn: chemistry and technology*. White, P. J. and Johnson, L. A. (Eds.). 2<sup>th</sup>. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, Minnesota, USA. 69-106 pp.
- Wellhausen, E. J.; Roberts, L. M. y Hernández, X. E. 1951. Razas de maíz en México: su origen, características y distribución. Folleto Técnico Núm. 5. Oficina de Estudios Especiales. México. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D. F. 237 p.