Revista Fitotecnia Mexicana
Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C.
revfitotecniamex@somefi.org
ISSN (Versión impresa): 0187-7380
MÉXICO

2007
Ernesto David Narváez González / Juan de Dios Figueroa Cárdenas / Suketoshi Taba / Eduardo Castaño Tostado / Ramón Álvar Martínez Peniche
EFECTO DEL TAMAÑO DEL GRÁNULO DE ALMIDÓN DE MAÍZ EN SUS PROPIEDADES TÉRMICAS Y DE PASTIFICADO
*Revista Fitotecnia Mexicana,* año/vol. 30, número 003
Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C.
Chapingo, México
pp. 269-277

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

Universidad Autónoma del Estado de México

http://redalyc.uaemex.mx

# EFECTO DEL TAMAÑO DEL GRÁNULO DE ALMIDÓN DE MAÍZ EN SUS PROPIEDADES TÉRMICAS Y DE PASTIFICADO

# EFFECT OF STARCH GRANULE SIZE ON THE THERMAL AND PASTING PROPERTIES OF MAIZE

**Ernesto David Narváez-González[1], Juan de Dios Figueroa Cárdenas[2]*, Suketoshi Taba[3], Eduardo Castaño Tostado[1] y Ramón Álvar Martínez Peniche[1]**

[1] Centro Universitario, Universidad Autónoma de Querétaro. Cerro de las Campanas s/n. 78010, Querétaro, Qro, México. [2]Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del IPN, Unidad Querétaro. Libramiento Norponiente No. 2000 Fracc. Real de Juriquilla. 76230, Querétaro, México, Tel. 01 (442) 441-4915, Fax: 01 (442) 441-4938. [3]Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Carr. México-Veracruz Km. 45 El Batán. 56130, Texcoco, Edo. de México, México.

**Autor para correspondencia* (jfigueroa@qro.cinvestav.mx)

## RESUMEN

**El grano de maíz (*Zea mays* L.) está compuesto principalmente por almidón, cuyo tamaño varía entre razas. El conocimiento del proceso de gelatinización del almidón provee información importante acerca de la funcionalidad, requerimientos energéticos y uso final de este cereal. El objetivo de este estudio fue investigar las relaciones entre el tamaño del gránulo de almidón y sus propiedades térmicas y de pastificado en 71 razas puras de maíz provenientes México, El Caribe, Centro y Sudamérica. Las imágenes de los gránulos se obtuvieron con un microscopio electrónico de barrido ambiental, de muestras de endospermo duro y endospermo suave. Las temperaturas y entalpía de gelatinización fueron obtenidas por medio del calorímetro de barrido diferencial. Las propiedades de pastificado se midieron con un analizador rápido de viscosidad. Se determinaron los contenidos de humedad, proteína, lípidos y amilosa aparente, así como la dureza del grano. Los gránulos pequeños gelatinizan lentamente y a altas temperaturas y entalpía. Los granos suaves mostraron gránulos más grandes en el endospermo suave y pequeños en el endospermo duro; lo contrario se observó en granos duros. La dureza presentó correlaciones altamente significativas con el tiempo y la temperatura para alcanzar el pico de viscosidad. El tamaño del gránulo de almidón correlacionó positivamente con los contenidos de humedad y amilosa aparente, pero negativamente con el contenido de proteína en el endospermo suave de las muestras.**

**Palabras clave**: *Zea mays* L., razas, almidón, propiedades térmicas, propiedades reológicas.

## SUMMARY

**The kernel of maize (*Zea mays* L.) is mainly composed of starch, whose size varies among races. The knowledge of the starch gelatinization process provides important information about the functionality, energy requirements, and end use of this cereal. The aim of this paper was to investigate the relationships between starch granule size, and thermal and rheological properties of 71 pure corn races from México, the Caribbean, Central and South America. Imagens of starch granules were obtained by means of environmental scanning microscope from soft and hard endosperm samples. Gelatinization temperatures and enthalpies were determined by differential scanning calorimeter. Pasting properties were measured with a rapid visco analyser. Moisture, protein, lipid and amylose content, as well as kernel hardness were also determined. Small starch granules gelatinized slowly and showed higher temperature and enthalpy values. Soft grains showed larger starch granules in the soft endosperm, and smaller ones in the hard endosperm, while the opposite was observed in hard grains. Hardness also correlated to temperature, range, and enthalpy of gelatinization. Starch granule size was inversely correlated to time and temperature to peak viscosity. The starch granule size was proportional to the moisture and amylose content and inversely correlated to protein content in soft endosperm samples.**

**Index words:** *Zea mays* L., races, starch, thermal properties, rheological properties.

## INTRODUCCIÓN

El almidón es el principal componente del grano de maíz (*Zea mays* L.) y por tanto influye mucho en la funcionalidad como ingrediente en los diferentes usos de la industria alimentaria. El almidón existe como gránulos discretos con diferentes formas, tamaños, y composición, en función del genotipo de maíz. Las propiedades específicas del almidón en cada genotipo, afectan características como textura, volumen, consistencia, humedad y la vida de anaquel de los alimentos (Raeker *et al.,* 1998). Entender como controlar o seleccionar las propiedades del almidón para cada proceso o producto, ha sido objeto de varias investigaciones (Li *et al.,* 2003; Raeker *et al.,* 1998; Seetharaman *et al.,* 2001; Peng *et al.,* 1999; Jane *et al*., 1999).

Un factor que afecta la distribución del tamaño del gránulo de almidón en el endospermo del grano es el ambiente (Raeker *et al.,* 1998; Stoddard, 1999). El endospermo está formado por una región suave (harinosa) y otra dura (vítrea) (Hoseney, 1998). Las propiedades fisicoquímicas de los gránulos de almidón en ambos tipos de endospermo, son diferentes. La reactividad (Bertolini *et al*., 2003), las propiedades físicas (Chiotelli y Le Meste, 2002) y la composición química (Geera *et al*., 2006) de los gránulos de

Recibido: 14 de Diciembre del 2005.
Aceptado: 20 de Octubre del 2006.

almidón son afectadas por su tamaño, el cual también afecta la funcionalidad del grano y permite una amplia variabilidad de usos.

Según Tang *et al.,* (2000), los gránulos más grandes se localizan cerca de la superficie externa del grano, mientras que los más pequeños tienden a ubicarse cerca del centro. Los atributos térmicos y funcionales del grano de maíz son función del tamaño del gránulo de almidón y del contenido de amilosa (Seetharaman *et al.,* 2001). Ante la globalización y la apertura de nuevos mercados, los consumidores y procesadores de maíz buscan variedades de alto valor agregado que presenten ventajas tecnológicas y económicas para sus procesos y productos. La mayoría de los estudios de razas de Latinoamérica han sido orientados a los aspectos agronómicos, y pocos estudios se han enfocado a las propiedades específicas del almidón que afectan características de calidad y potencial de industrialización. El objetivo de este estudio fue evaluar las relaciones entre el tamaño del gránulo de almidón, tanto en el endospermo suave como en el duro, con las propiedades térmicas y de pastificado en accesiones de maíz originarias de Latinoamérica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Material biológico.** Muestras de 71 accesiones que representaron igual número de razas de maíz proporcionadas por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, México), fueron usadas en este estudio. Las razas son originarias de México, El Caribe, Centro y Sudamérica.

Dureza. Para determinarla se seleccionaron al azar 10 granos de cada raza y la parte dorsal del grano se sometió a una fuerza de penetración de un punzón con un ángulo de 30° el cual fue conectado a un Analizador de Textura Universal TA-XT2. Esta prueba se hizo a una velocidad de 2 mm s-1 y una distancia de penetración de 2 mm (Mauricio *et al*., 2004).

Microscopia electrónica de barrido de bajo vacío (ESEM). Se utilizó un microscopio electrónico de barrido ambiental ESEM XL30 PHILIPS acondicionado para trabajar en módulo de bajo vacío, con el haz de electrones ajustado a 20 kV y aproximadamente 50 μA de corriente. El detector utilizado fue GSE con 'spotsize' del láser de 4.6-5.0, para medir el tamaño del gránulo de almidón en el endospermo duro y suave del grano a 500X. Tres granos de cada raza fueron cortados longitudinalmente en su sección media con corte perpendicular a la cara, mediante un cincel montado en el texturómetro TA-TX2 al que se permitió penetrar solamente 2 mm para romper el grano en dos partes (Narváez-González et al., 2006). Una parte fue cortada nuevamente con un disco de diamante mediante una máquina de corte de alta precisión (Acuttom-5 Struers) en el lado opuesto a la zona a investigar, para tener un grosor de 4 mm; a esta fracción de muestra se le adhirió una cinta de pegamento doble cara, lo que permitó montarla a una placa de observación. Entre 80 y 120 gránulos de almidón fueron medidos del endospermo suave y duro en cada muestra (Figura 1). Las imágenes fueron digitalizadas y procesadas con el programa para análisis de imágenes (IMAGE-J).

Composición química. Se determinó el contenido de proteína (método 46-13 AACC, 1999), humedad (método 44-19 AACC, 1999), lípidos totales (método 7.062 AOAC, 1984) y amilosa aparente en grano molido (Morrison y Laignelet, 1983).

**Propiedades de pastificado.** Estas propiedades fueron determinadas con el analizador rápido de viscosidad (Rapid Visco Analyser 3C Newport Scientific PTY LTD, Sidney Australia) conforme al método propuesto por Jane *et al.* (1999) con algunas modificaciones, donde 4 g de muestra de harina de grano entero molido y cribado US 60 (250 μm) fueron suspendidas en 24 mL de agua destilada. La mezcla fue calentada desde 50 hasta 92 °C durante 8.5 min, luego cocida a 92 °C durante 5 min y finalmente enfriada a 50 °C durante 8.5 min.

Propiedades térmicas. Se usó un calorímetro de barrido diferencial (DSC Mettler Toledo modelo 821) para llevar a cabo los análisis térmicos, de acuerdo con el método reportado por Lauro et al. (2000), con algunas modificaciones. Se colocaron 3 mg de material molido y cribado con malla US 60 (250 μm) y 7 μL de agua destilada en un crisol de aluminio, que fue sellado con una prensa Mettler Toledo. Las muestras fueron sometidas a calentamiento en el equipo a temperaturas de 30 a 100 °C, a una tasa de calentamiento de 10 °C/min-1.

Análisis estadístico. Se utilizó la matriz de correlación de Pearson y análisis de componentes principales (APC) (Manly, 2000) mediante los procedimientos PROC CORR y PROC PRINCOM del programa SAS (SAS Institute, 1999).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Tamaño del gránulo de almidón y dureza del grano.** La dureza del grano correlacionó inversamente con el tamaño de los gránulos de almidón en endospermo suave ($r = -0.51$, $P \leq 0.0001$) (Figura 2), pero correlacionó directamente con el tamaño de los gránulos en el endospermo duro ($r = 0.30$, $P \leq 0.05$) (Cuadro 1). Las razas con granos de textura suave como 'Cacahuacintle', 'San Jerónimo-Huanacaveliano', 'Chillo', 'Shima', 'Blando', 'Avatí Morotí' y 'Cónico Norteño-Bofo' mostraron que más de 90 % de gránulos de almidón en su endospermo suave tenían un diámetro mayor a 12 μm, mientras que en su endospermo duro 85 % de los gránulos fueron menores. Lo contrario se advirtió en razas de granos de textura dura, como 'Perla',

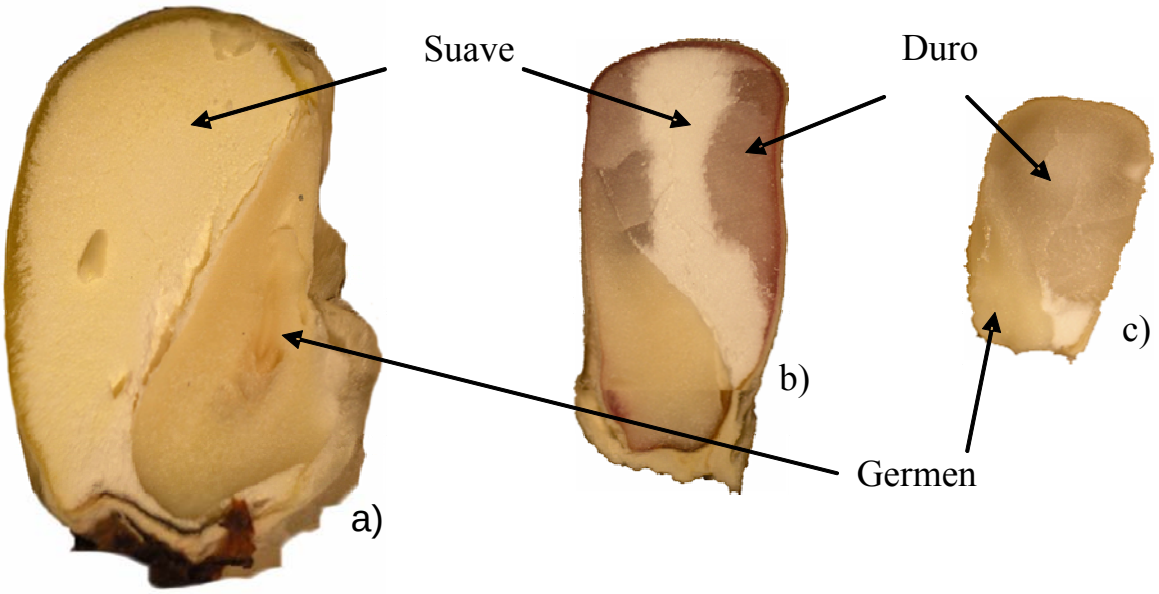


**Figura 1. Imagen del grano de maíz cortado longitudinalmente donde se localiza el germen y las porciones del endospermo duro y suave. a) 'Cacahuacintle'; b) 'Negrito'; c) 'Popcorn'.**

**Cuadro 1. Coeficientes de correlación de los tamaño del gránulo de almidón y las propiedades fisco-químicas, de pastificado y térmicas de los almidones en las razas de maíz (n=71).**

| Variables† | TCES | TCED | TGA | Dureza |
|---|---|---|---|---|
| **Propiedades fisco-químicas** | | | | |
| Dureza | -0.51*** | 0.30* | -0.32* | 1.0 |
| Humedad | 0.36** | ns | ns | -0.42*** |
| Proteína | -0.38** | 0.25* | ns | ns |
| Amilosa aparente | 0.45*** | ns | 0.39*** | -0.31* |
| **Propiedades de pastificado** | | | | |
| Viscosidad Pico | 0.69*** | ns | 0.52*** | -0.59*** |
| TPV | -0.48*** | ns | -0.36** | 0.41*** |
| TP | -0.45*** | ns | -0.39*** | 0.46*** |
| Retrogradación | 0.31* | ns | ns | ns |
| **Propiedades térmicas** | | | | |
| TpG | -0.26* | ns | ns | ns |
| TfG | -0.43*** | ns | ns | ns |
| ΔHG | 0.30* | ns | 0.34** | -0.43*** |
| TrG | -0.32* | ns | -0.26* | 0.51*** |

*, **, *** Significativo a $P \leq 0.05$, $P \leq 0.005$, y $P \leq 0.0001$, respectivamente; ns = No significativo.
TCES = Tamaño del gránulo de almidón en el endospermo suave; TCED = Tamaño del gránulo de almidón en el endospermo duro; TGA = Tamaño promedio del gránulo de almidón; TPV = Tiempo para alcanzar el pico de viscosidad; TP = Temperatura al pico de viscosidad; TpG = Temperatura pico de gelatinización; TfG = Temperatura final de gelatinización; ΔHG = Entalpía de gelatinización; TrG = Rango de temperaturas de gelatinización.

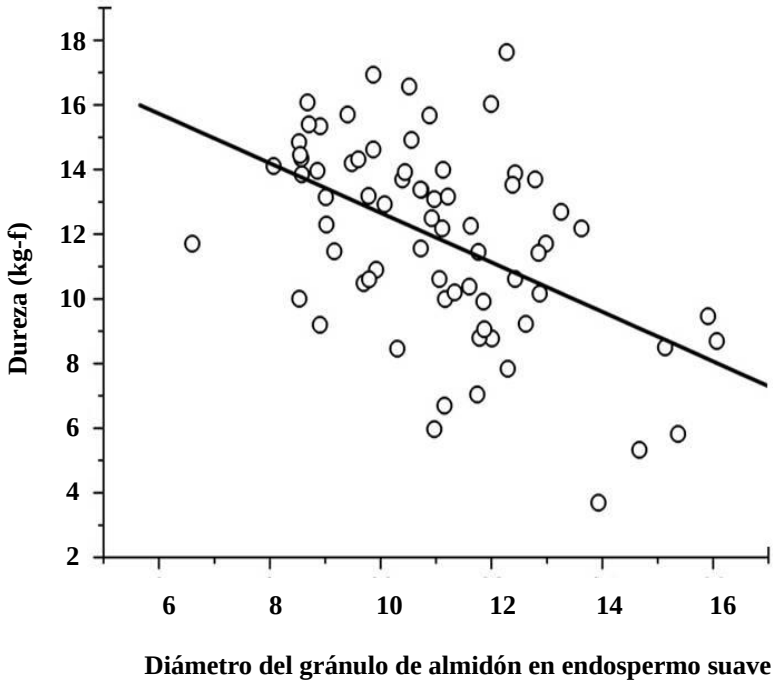


**Figura 2. Relación entre la dureza del grano y el tamaño del gránulo de almidón en endospermo suave (n= 71, $R^2$= 0.26; r = - 0.51; P ≤ 0.0001). Tamaño medido como el área proyectada en las imágenes a 500X.**

'Uchuquilla', 'Curagua', 'Arrocillo', 'Popcorn' y 'Apachito', en los que alrededor de 72 % de los gránulos en su endospermo suave tenían menos de 12 µm de diámetro, y 78 % de sus gránulos en el endospermo duro tuvieron diámetros mayores de 12 µm (Figura 3). Finalmente, las razas con dureza intermedia como 'Cónico', 'Negrito', 'Naltel', 'Dzit-Bacal', 'Dulce', 'Bolita' y 'Azul' también presentaron gránulos pequeños en su endospermo duro y gránulos de tamaño intermedio en su endospermo suave. El coeficiente de correlación fue afectado por razas con granos muy duros y diámetros del gránulo de almidón de 12 µm como 'Elotes Occidentales-Nayarit' (17.6 kg-f) debido a un alto contenido de amilosa aparente y mayor área de cuerpos celulares (17 710 $\mu m^2$) atípicos ya que las razas en general presentaron un área media de 8 525 $\mu m^2$.

**Tamaño del gránulo de almidón y composición química.** El tamaño del gránulo en endospermo suave correlacionó con los contenidos de humedad (r = 0.36, P ≤ 0.005) y amilosa aparente (r = 0.45, P ≤ 0.0001) (Cuadro 1). De acuerdo con Tang *et al*. (2000), la actividad de agua es mayor en los gránulos grandes tipo A (> 12 µm) los cuales poseen altos contenidos de amilosa, mientras que los pequeños tipo B (< 12 µm) se caracterizan por poseer altos contenidos del complejo amilosa-lípido (Raeker *et al.,* 1998; Bertolini *et al*., 2003; Shinde *et al*., 2003; Geera *et al.,* 2006). Además, el contenido de proteína correlacionó inversamente con el tamaño del gránulo (r = - 0.38, P ≤ 0.005). Los gránulos de almidón están embebidos en una matriz proteica que sirve como un material de soporte entre los gránulos y provee de rigidez a la estructura (Tester *et al*., 2004). La matriz proteica en el endospermo duro es más gruesa que en el endospermo suave, razón por la que es más difícil romper dicha matriz en el endospermo duro (Wang y Eckhoff, 2000). Las razas con gránulos pequeños en su endospermo suave contenían altos niveles de lípidos totales. Raeker *et al*. (1998) y Bertolini *et al*. (2003) han sugerido que la biosíntesis de almidón y la de lípidos están directamente relacionadas.

**Propiedades de pastificado**. El tamaño promedio de los gránulos de almidón se incrementó a medida que aumentó la viscosidad pico (r = 0.52, P ≤ 0.001) y disminuyó el tiempo y la temperatura para alcanzar el pico de viscosidad (r = -0.36, P ≤ 0.005; y r = -0.39, P ≤ 0.005, respectivamente) (Cuadro 1). Seetharaman *et al*. (2001) señalaron que existe una correlación positiva entre el tamaño del gránulo de almidón y la viscosidad pico. Los gránulos más grandes son más cristalinos (Chiotelli y Le Meste, 2002), de forma que son lo suficientemente fuertes para presentar un alto hinchamiento. Adicionalmente, la retrogradación se incrementó con el aumento de tamaño de los gránulos de almidón (r = 0.32, P ≤ 0.05), lo que concuerda con resultados obtenidos por Shinde *et al*. (2003).

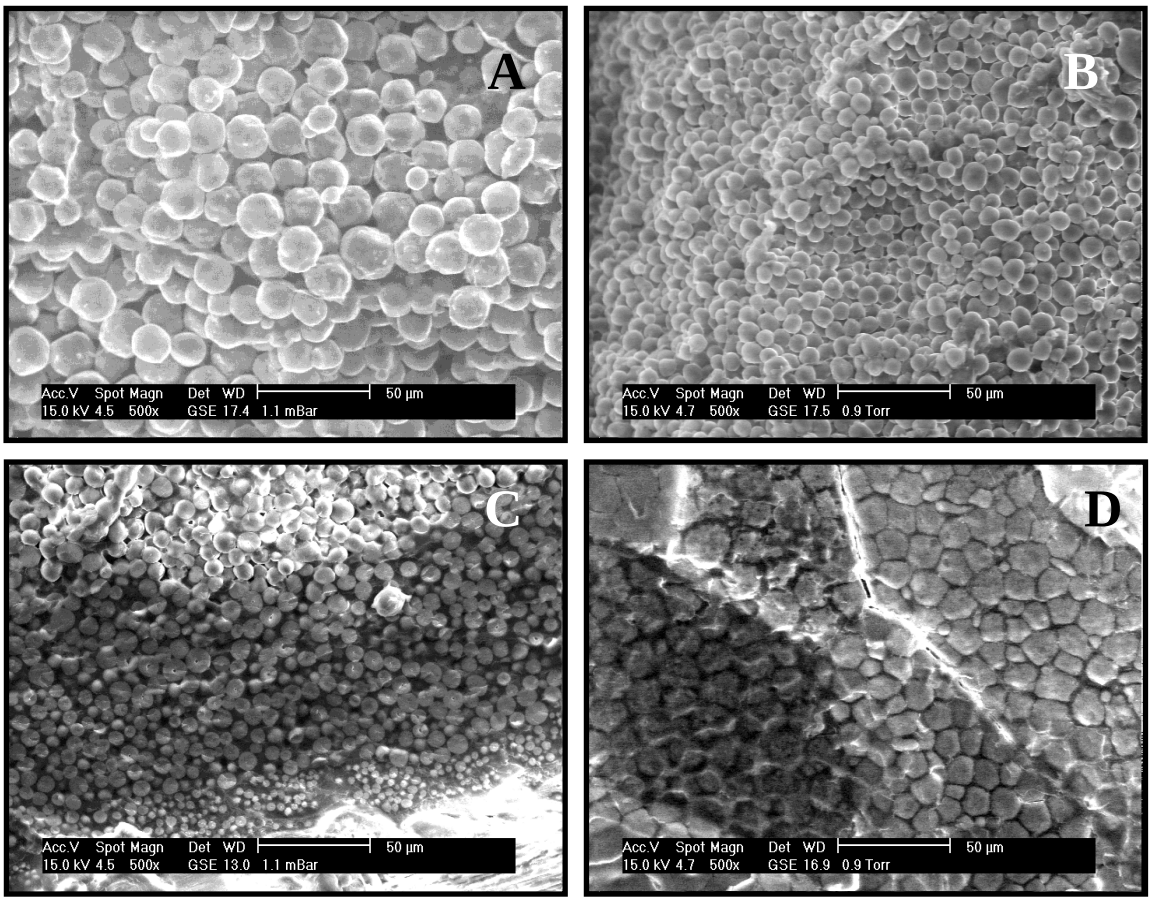


**Figura 3. Imágenes del tamaño del gránulo de almidón en endospermo suave y duro a 500X. a) Gránulos de endospermo suave de 'Cónico Norteño-Bofo' (16.1 µm); b) Gránulos de endospermo suave de 'Popcorn' (8.7 µm); c) Gránulos de endospermo duro de 'Cónico Norteño-Bofo' (6.3 µm); d) Gránulos de endospermo duro de 'Perla' (14.6 µm).**

**Cuadro 2. Vectores característicos y proporción de la varianza explicada en los dos primeros componentes principales de tamaño de gránulo y propiedades térmicas y de pastificado de maíz.**

| Variables | CP1 (40.7 %†) | CP2 (30.1 %†) |
|---|---|---|
| Temperatura de inicio de gelatinización (°C) | 0.04 | 0.48 * |
| Temperatura pico de gelatinización (°C) | -0.04 | 0.48 * |
| Temperatura final de gelatinización (°C) | -0.19 | 0.41 * |
| Rango de gelatinización (°C) | -0.29 * | -0.24 |
| Entalpía de gelatinización (J/g°C) | 0.30 * | 0.25 |
| Dureza del grano (kgf) | -0.23 | -0.04 |
| Tamaño del gránulo de almidón en endospermo suave ($\mu m^2$) | 0.28 * | -0.11 |
| Tamaño característico del gránulo de almidón ($\mu m^2$) | 0.22 | -0.04 |
| Temperatura de pastificado (°C) | -0.04 | 0.46 * |
| Tiempo para alcanzar el pico de viscosidad (min) | -0.31 * | 0.10 |
| Viscosidad pico (RVU) | 0.38 * | -0.10 |
| Viscosidad mínima (RVU) | 0.34 * | 0.06 |
| Viscosidad Final (RVU) | 0.35 * | 0.04 |
| Retrogradación (RVU) | 0.34 * | 0.03 |

† Proporción de la varianza explicada
*Variables con mayor influencia

La Figura 4 muestra el comportamiento de pastificado de los granos molidos de algunas razas como función de la granulometría de su almidón. Se puede observar que el maíz 'Cacahuacintle' con gránulo de almidón grande (> 12 μm de diámetro) presentó mayor pico de viscosidad que el maíz 'Curagua' cuyos gránulos de almidón fueron relativamente pequeños (7 μm de diámetro) y menor pico de viscosidad.

**Propiedades térmicas**. El tamaño del gránulo de almidón correlacionó negativamente con las temperaturas pico y final de gelatinización ($r = -0.26$, $P \leq 0.05$; y $r = -0.43$, $P \leq 0.0001$, respectivamente), pero correlacionó positivamente con la entalpía de gelatinización ($r = 0.30$, $P \leq 0.05$), lo cual sugiere que los gránulos grandes de los granos suaves gelatinizan a temperaturas más bajas y entalpías más altas que los gránulos pequeños de granos duros (Cuadro 1). Esto puede deberse a un arreglo menos ordenado de las cadenas de polisacáridos en los gránulos pequeños, cuyos cristales podrían ser menos estables (Seetharaman *et al*., 2001; Chiotelli y Le Meste, 2002).

El tamaño del gránulo de almidón correlacionó negativamente con el rango de gelatinización ($r = -0.32$, $P \leq 0.05$). A pesar de que la cristalinidad es mayor en gránulos grandes, los gránulos pequeños poseen cristales más perfectos (Chiotelli y Le Meste, 2002) debido a que la fusión inicia a altas temperaturas y baja velocidad, lo que promueve un proceso de gelatinización lento. Finalmente, la dureza de los granos se encontró correlacionada con el rango y la entalpía de gelatinización ($r = 0.51$, $P \leq 0.0001$; y $r = -0.43$, $P \leq 0.0001$, respectivamente), lo cual es consistente con la relación entre la dureza del grano y el tamaño del gránulo de almidón.

La Figura 5 muestra algunas curvas obtenidas por calorimetría diferencial de barrido para algunas razas representativas, de acuerdo con su tamaño de gránulo de almidón y comportamiento térmico; se observa que cuando el gránulo de almidón es grande (>12 μm) como en los maíces 'Cacahuacintle' y 'Cónico Norteño-Bofo', sus rangos de gelatinización son más pequeños y generalmente aumenta la capacidad calorífica (flujo de calor/tasa de calentamiento) en la gelatinización, en comparación con los maíces de gránulos pequeños como 'Popcorn' y 'Curagua'.

### Relación entre el tamaño del gránulo de almidón y sus propiedades térmicas y de pastificado

El análisis de componentes principales (APC) hecho para asociar las características comunes de las muestras al incluir todas las variables medidas, mostró que los dos primeros componentes explican 70.8 % de la variabilidad total de las variables originales (Cuadro 2). El primer componente principal (CP1) incluyó: viscosidad pico, viscosidad mínima, viscosidad final, retrogradación, tamaño del gránulo de almidón en endospermo suave y tamaño promedio del gránulo de almidón que estuvieron asociados con valores negativos de rango de temperaturas de gelatinización y el tiempo para alcanzar la viscosidad pico. Esto significa que las razas con gránulos grandes desarrollan altas viscosidades y poseen altas entalpías, pero requieren bajos tiempos para alcanzar el pico de viscosidad y gelatinizan rápidamente. El segundo componente principal (CP2) incluyó las temperaturas de gelatinización y de pastificado, que contrastan con valores negativos de rango de temperaturas de gelatinización.

Las muestras se separaron de acuerdo con sus temperaturas de gelatinización y tamaño de gránulo de almidón, entalpía y viscosidades (Figura 6). En el primer cuadrante se agruparon razas como 'Harinoso de Ocho', 'Tepecintle', 'Elotes Occidentales', 'Avatí Morotí', 'Blando', 'Vandeño', 'Común', 'Zapalote Chico', 'Cónico Norteño' y 'Olotillo', que se caracterizan por poseer altas viscosidades, entalpías, tamaño de gránulo de almidón y temperaturas de gelatinización. El tercer cuadrante agrupó a las razas con las características opuestas a las antes descritas, como 'Palomero2', 'Arrocillo', 'Arrocillo-Amarillo', 'Celaya', 'Camelia', 'Chupilli', 'Cónico', 'Bolita', 'Dulce' y 'Tuxpeño'. Las razas localizadas en el segundo cuadrante presentaron características de maíces duros con altos valores de temperaturas y rango de gelatinización y de tiempo para alcanzar la viscosidad pico, pero bajas viscosidades y gránulos de almidón relativamente pequeños. Tales razas fueron 'Cateto Sulino', 'Dzit-Bacal', 'Dulce de Michoacán', 'Curagua', 'Reventador', 'Popcorn', 'Palomero1', 'Pollo', 'Puya', 'Tusón', 'Carmen', 'Lady Finger', 'Haití Yellow/Early Caribbean', 'Sacramento', 'Pisingallo', 'Montaña', 'Naltel', 'Sabanero' y 'Cuban Flint'. Las características de maíces suaves del cuarto cuadrante correspondieron a las razas 'Cacahuacintle', 'Cónico Norteño- Bofo', 'Hualtaco', 'Quiche', 'Uchuquilla', 'Cónico Mushito', 'Cuzco Cristalino', 'Perla', 'Kulli', 'Huillcaparu', 'Cristalino de Chihuahua', 'Apachito', 'Azul', 'Pool A', 'Chillo' y 'San Jerónimo-Huanacaveliano'.

## CONCLUSIONES

Los granos duros presentaron gránulos de almidón pequeños, mientras que en los granos suaves fueron grandes. Los gránulos grandes contienen altos niveles de humedad y amilosa aparente, pero bajos niveles de proteína. El tamaño del gránulo de almidón influenció grandemente las propiedades térmicas y de pastificado de las harinas de maíz. Los gránulos grandes presentaron alta viscosidad pico y retrogradación, pero bajo tiempo y temperatura para alcanzar la viscosidad pico. Los gránulos más grandes gelatinizaron más rápidamente a bajas temperaturas, pero con altas entalpías.

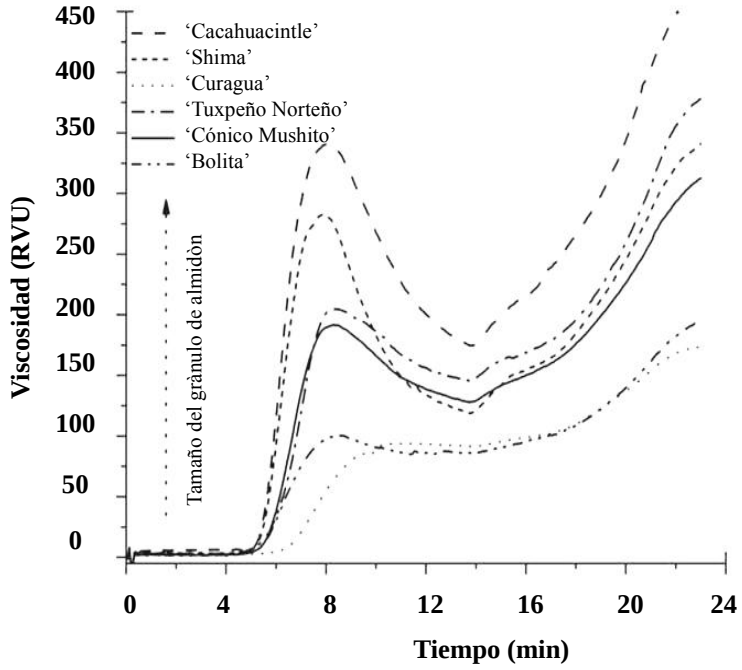


**Figura 4. Viscoamilogramas de gelatinización de algunas razas como función del tamaño del gránulo de almidón.**

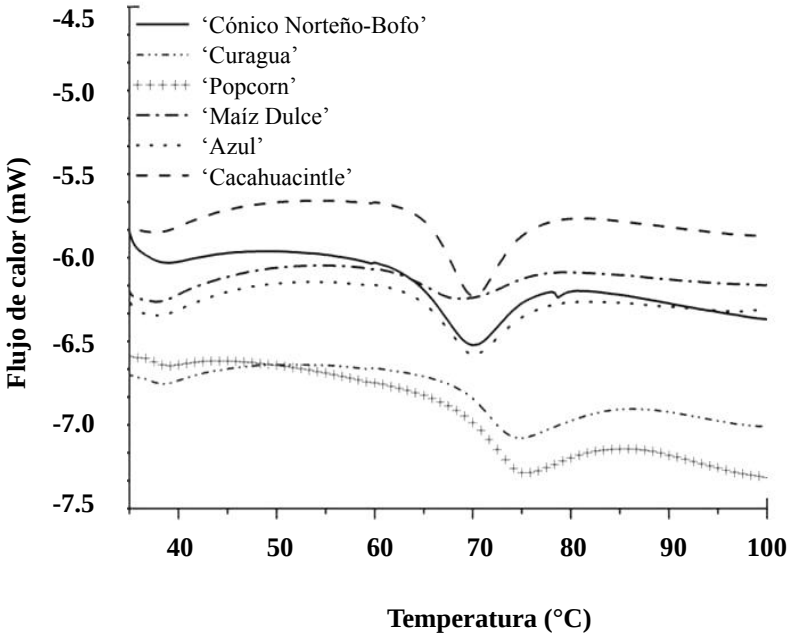


**Figura 5. Comportamiento térmico de algunas razas representativas, de acuerdo con el tamaño de sus gránulos de almidón. Gránulos grandes: 'Cacahuacintle' y 'Cónico Norteño-Bofo'; Gránulos pequeños: 'Popcorn' y 'Curagua'; Gránulos medianos: 'Dulce' y 'Azul'.**

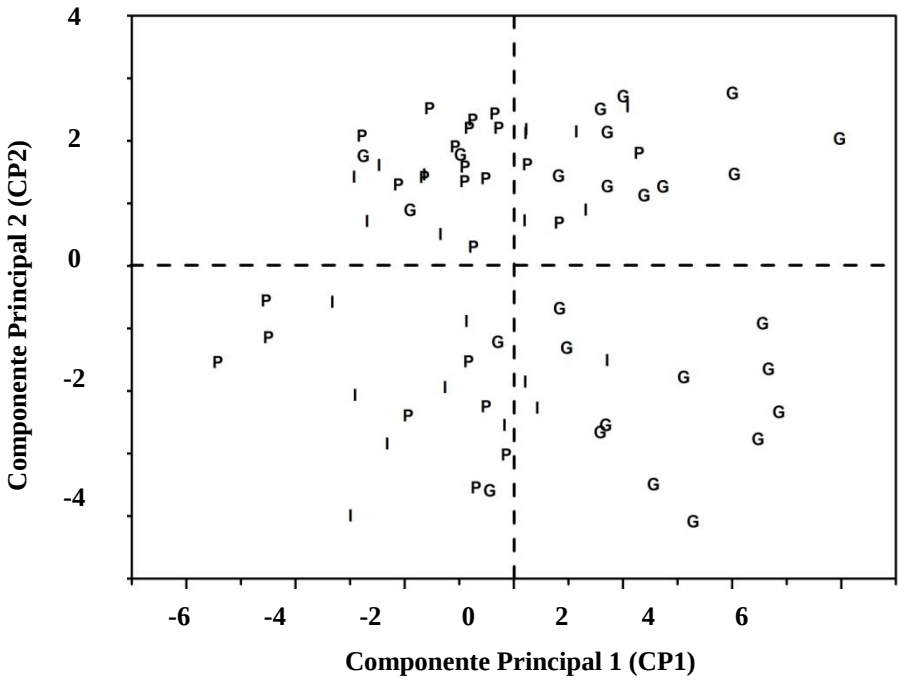


**Figura 6. Agrupación de las razas de maíz de acuerdo con su tamaño de gránulo de almidón y sus propiedades térmicas y de pastificado. G = Gránulo de almidón grande; I = Gránulo de almidón intermedio; P = Gránulo de almidón pequeño.**

## AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Relaciones Exteriores de México y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-Estado de Querétaro, por su apoyo financiero a través del proyecto QRO-2004-C01-38. A José Eleazar Urbina, Marcela Gaytán y José Juan Véles del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN Unidad Querétaro, por su apoyo técnico.

## BIBLIOGRAFÍA

**AACC, Approved Methods of Analysis (1999)** 9th ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, USA.

**AOAC, Official Methods of Analysis (1984)** 14th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, USA.

**Bertolini A C, E Souza, J E Nelson, K C Huber (2003)** Composition and reactivity of A- and B-type starch granules of normal, partial waxy, and waxy wheat. Cereal Chem. 80:544-549.

**Chiotelli E, M Le Meste (2002)** Effect of small and large wheat starch granules on thermomechanical behavior of starch. Cereal Chem. 779:286-293.

**Geera B P, J E Nelson, E Souza, K C Huber (2006)** Composition and properties of A- and B type starch granule of wild-type, partial waxy, and waxy soft wheat. Cereal Chem. 83:551-557.

**Hoseney R C (1998)** Principles of Cereal Science and Technology. 2nd ed. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA. 378 p.

**Jane J, Y Y Chen, L F Lee, A E McPherson, K S Wong, M Radosavljevic, T Kasemsuwan (1999)** Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. Cereal Chem. 76:629-637.

**Lauro M, K Poutanen, P Forsell (2000)** Effect of partial gelatinization and lipid addition on α-amylolisis of barley starch granules. Cereal Chem. 77:595-601.

**Li J H, T Vasanthan, R Hoover, B G Rossnagel (2003)** Starch from hullless barley:ultrastructure and distribution of granule-bound proteins. Cereal Chem. 80:524-532.

**Manly B F J (2000)** Multivariate Statistical Methods: A Primer. Chapman & Hall/ CRC. 2nd ed. New Zeland. 215 p.

**Mauricio R A S, J D C Figueroa, S Taba, M L V Reyes, F S Rincón, A G Mendoza (2004)** Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. Rev. Fitotec. Mex. 27:213-222.

**Morrison W, B Laignelet (1983)** An improved procedure for determining apparent and total amylose in cereal and other starches. J. Cereal Sci. 1:9-20.

**Nárvaez-González E D, J D C Figueroa, S Taba, E Castaño-Tostado, R A Martínez-Peniche, F Rincón-Sánchez (2006)** Relationships between the microstructure, physical features, and chemical composition of different maize accessions from Latin America. Cereal Chem. 83:595-604.

**Peng M, M Gao, E-S M Abdel-Aal, P Hucl, R N Chibbar (1999)** Separation and characterization of A- and B-type starch granules in wheat endosperm. Cereal Chem. 76:375-379.

**Raeker M Ö, C S Gaines, P L Finney, and T Donelson (1998)** Granule size distribution and chemical composition of starches from 12 soft wheat cultivars. Cereal Chem. 75:721-728.

**SAS Institute (1999)** *SAS* User´s Guide. V. 6.0. 4th ed. Vol.1. Cary, N. C. 943 p.

**Seetharaman K, A Tziotis, F Borras, P J White, M Ferrer, J Robutti (2001)** Thermal and functional characterization of starch from Argentinean corn. Cereal Chem. 78:379-386.

**Shinde S V, J E Nelson, K C Huber (2003)** Soft wheat starch pasting behavior in relation to A-and B-type granule content and composition. Cereal Chem. 80:91-98.

**Stoddard F L (1999)** Survey of starch particle-size distribution in wheat and related species. Cereal Chem. 76:145-149.

**Tang H, H Ando, K Watanabe, Y Takeda, T Mitsunaga (2000)** Some physicochemical properties of small-, medium-, and large-granule starches in fractions of waxy barley grain. Cereal Chem. 77:27-31.

**Tester R F, J Karlakas, X Qi (2004)** Starch-composition, fine structure and architecture. J. Cereal Sci. 39:151-165.

**Wang D, S R Eckhoff (2000)** Effect of broken corn levels on water absorption and steepwater characteristics. Cereal Chem. 77:525-528.