

COMPOSICIÓN QUÍMICA Y CARACTERIZACIÓN CALORIMÉTRICA DE HÍBRIDOS Y VARIEDADES DE MAÍZ CULTIVADAS EN MÉXICO

CHEMICAL COMPOSITION AND CALORIMETRIC CHARACTERIZATION OF HYBRIDS AND VARIETIES OF MAIZE CULTIVATED IN MÉXICO

Guadalupe Méndez-Montealvo¹, Javier Solorza-Feria¹, Miguel Velázquez del Valle¹, Noel Gómez-Montiel², Octavio Paredes-López³ y Luis A. Bello-Pérez¹

¹Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del IPN. Apartado Postal 24. 62731. Yautepec, Morelos, México. (labellop@ipn.mx). ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Iguala. ³Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. Apartado Postal 623. 45000. Irapuato, Guanajuato, México.

RESUMEN

Se estudió la composición química y comportamiento térmico de veinte híbridos y variedades de maíz, del programa de cruzamiento del INIFAP-Iguala, México. Los granos de maíz semicristalinos y cristalinos tuvieron menor contenido de humedad que aquellos del tipo semidentado y dentado los cuales, a su vez, tuvieron los valores más altos de proteína. Las variedades de maíz de calidad proteínica (QPM) no tuvieron el mayor contenido de proteína. La temperatura de gelatinización (determinada por calorimetría diferencial de barrido) estuvo entre 73.4-77.1 °C y la entalpía entre 1.9-4.7 J g⁻¹. Este resultado es importante para el diseño de equipos de cocimiento o tratamientos térmicos del grano de maíz, como en la producción de tortillas.

Palabras clave: Almidón, comportamiento térmico, composición química, gelatinización, híbridos.

INTRODUCCIÓN

El maíz, originario de México, donde hay 45 diferentes razas (Zazueta-Morales *et al.*, 2001), ha tenido un proceso de selección y mejoramiento que ha generado muchos tipos. Los programas de mejoramiento genético del maíz buscan mayor rendimiento por hectárea, resistencia a plagas y estrés hídrico, mayor contenido y calidad de las proteínas del grano. Debido a su gran diversidad genética los maíces no tienen la misma composición química, presentan diferencias en sus propiedades y en su utilización final. Así, el maíz puede utilizarse en la producción de hojuelas para el desayuno y botanas (Salinas-Moreno *et al.*, 2003), para la fabricación de harinas nixtamalizadas (De Sinibaldi y Bressani, 2001), para la industria molinera-tortillera (Salinas-Moreno *et al.*, 2003), y para aislamiento de almidón, el cual es materia prima en diversas industrias (Ji *et al.*, 2003).

Recibido: Febrero, 2003. Aprobado: Enero, 2005.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 39: 267-274. 2005.

ABSTRACT

A study was made of the chemical composition and thermal behavior of twenty maize hybrids and varieties generated through a breeding program of the INIFAP-Iguala, México. The semicrystalline and crystalline maize grains had a lower moisture content than those of the semidentated and dented types, which in turn, had the highest values of protein. The quality protein maize (QPM) varieties did not have the highest content of protein. Differential scanning calorimetry (DSC) analysis showed gelatinization temperature values ranging from 73.4 to 77.1 °C and enthalpy values between 1.9-4.7 J g⁻¹. This result is important for the design of equipment used for the cooking or thermal treatment of maize grain, as well as in the production of tortillas.

Key words: Starch, thermal behavior, chemical composition, gelatinization, hybrids.

INTRODUCTION

Maize, which is native to México, where there are 45 different races (Zazueta-Morales *et al.*, 2001), has gone through a process of selection and improvement which has generated many types. The genetic improvement programs of maize are focused on achieving greater yield per hectare, resistance to pests and hydric stress, and greater content and quality of the proteins of the grain. Due to their great genetic diversity, the maizes do not have the same chemical composition, and present differences in their properties and in their final utilization. Thus, maize can be utilized in the production of breakfast flakes and snacks (Salinas-Moreno *et al.*, 2003), for the production of nixtamalized flour (De Sinibaldi and Bressani, 2001), for the flour and tortilla industry, and for isolating starch, which is the raw material in diverse industries (Ji *et al.*, 2003).

Starch, which is a predominant carbohydrate in the human diet (Skrabanja *et al.*, 1999) along with other polysaccharides (dietary fiber) are the principal components of the carbohydrates (Watson, 1987a), which

El almidón, carbohidrato predominante en la dieta humana (Skrabanja *et al.*, 1999), junto con otros polisacáridos (fibra dietética) son los componentes principales de los carbohidratos (Watson, 1987a), los cuales representan 50-70% de la MS del maíz. Cuando el grano es calentado o cocido, el almidón sufre un proceso de gelatinización, que se ha asociado con la calidad y la digestibilidad de los productos que contienen almidón (Biliaderis, 1991). Una parte del almidón de los cereales, leguminosas, tubérculos y frutas, no es digerido y sigue hacia el intestino grueso donde es fermentado por las bacterias del colon. Este almidón se conoce como almidón resistente y se le ha asociado con una disminución del índice glucémico, menor absorción del colesterol y prevención del cáncer de colon (Englyst *et al.*, 1992; Asp *et al.*, 1996).

La funcionalidad del almidón se debe principalmente a la amilosa y la amilopectina, componentes de alto peso molecular, así como a la organización física de estas moléculas dentro de la estructura del gránulo (Biliaderis, 1991). Los estudios de la relación estructura-función han determinado el comportamiento del almidón cuando los alimentos son procesados y almacenados. Yuan *et al.* (1993), en diferentes genotipos de maíz ceroso, encontraron que los almidones que tenían amilopectina con más cadenas cortas se gelatinizaban a menor temperatura que aquellos conteniendo amilopectina con más cadenas largas, pero estos últimos mostraron una mayor tendencia al fenómeno de retrogradación.

El objetivo de este trabajo fue caracterizar diferentes híbridos y variedades de maíz en su composición química y comportamiento térmico, los cuales podrían tener un potencial para la industria molinera-tortillera, en la producción de harinas nixtamalizadas, cereales para el desayuno, botanas, o para el aislamiento de almidón.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico

Las 20 variedades e híbridos de maíz utilizados (Cuadro 1) fueron proporcionados por el programa de mejoramiento genético del INIFAP-Iguala, México. Los maíces fueron adaptados en localidades con diferentes condiciones climáticas, agronómicas y altitud. Los granos fueron molidos usando un equipo comercial (Mapisa Internacional S.A. de C.V., México, D.F.), tamizados por malla 50 (abertura de 300 μm) para obtener una harina con tamaño de partícula homogéneo.

Composición química

Se determinó el contenido de humedad (AOAC, 1990), cenizas, proteínas y grasa (AACC, 2000). Los carbohidratos solubles se determinaron preparando una dispersión de la harina en agua destilada

representar 50-70% de la MS de la maíz. Cuando el grano es calentado o cocido, el almidón sufre un proceso de gelatinización, que se ha asociado con la calidad y digestibilidad de los productos que contienen almidón (Biliaderis, 1991). Parte del almidón en cereales, legumbres, tubérculos y frutas, no es digerido y va al intestino grueso donde es fermentado por las bacterias del colon. Este almidón se conoce como almidón resistente y se le ha asociado con una reducción del índice glucémico, menor absorción de colesterol y prevención de cáncer de colon (Englyst *et al.*, 1992; Asp *et al.*, 1996).

La funcionalidad del almidón se debe principalmente a la amilosa y amilopectina, componentes de alto peso molecular, así como a la organización física de estas moléculas dentro de la estructura del grano (Biliaderis, 1991). Los estudios de la relación estructura-función han determinado el comportamiento del almidón cuando los alimentos son procesados y almacenados. Yuan *et al.* (1993), en diferentes genotipos de maíz ceroso, encontró que los almidones que tenían amilopectina con más cadenas cortas se gelatinizaban a menor temperatura que aquellos conteniendo amilopectina con más cadenas largas, pero estos últimos mostraron una mayor tendencia al fenómeno de retrogradación.

El objetivo de este estudio fue caracterizar diferentes híbridos y variedades de maíz en su composición química y comportamiento térmico, lo que podría tener un potencial para la industria molinera-tortillera, en la producción de harinas nixtamalizadas, cereales para el desayuno, snacks, o para la aislamiento de almidón.

MATERIALS AND METHODS

Biological material

The 20 varieties and hybrids of maize utilized (Table 1) were provided by the genetic improvement program of the INIFAP-Iguala, México. The maizes were adapted in localities with different climatic, agronomic, and altitude conditions. The grains were ground using commercial equipment (Mapisa International S.A. de C.V., México, D.F.), sieved with a 50 screen (opening of 300 μm) to obtain a flour with a homogeneous size of particle.

Chemical composition

Moisture content was measured (AOAC, 1990), ash, proteins, and fat (AACC, 2000). The soluble carbohydrates were determined by preparing a dispersion of the flour in distilled water (1% p/p) in a flask, which was then heated in a bath of boiling water for 30 min and stirred every 5 min, the suspension was centrifuged (5000xg/10 min), and the total carbohydrates were determined in the supernatant with the phenol-sulfuric method (Dubois *et al.*, 1956).

Total starch was determined using the Goñi *et al.* (1997) method. Available starch was quantified using the Holm *et al.* (1986) multienzymatic method, utilizing Termamyl® (Novo A/S, Copenhagen)

Cuadro 1. Características agronómicas de los híbridos y variedades de maíz estudiados.
Table 1. Agronomical characteristics of the hybrids and varieties of maize studied.

Variedad	Tipo de material	Área de adaptación	Tipo de grano
CML-269	HS	Trópico seco	Cristalino
H-513	HS	Trópico y subtropical	Semicristalino
P3028W	HS	Tropical y subtropical	Dentado
H-511-md	HS	Trópico seco	Dentado
H-511-d	HS	Trópico seco	Dentado
H-368	HS-QPM	Subtropical	Semicristalino
CML-150	HS-QPM	Trópico	Semicristalino
H-554	HS-QPM	Trópico	Semicristalino
H-516	HTL	Trópico y subtropical	Semicristalino
H-515	HTL	Trópico	Semicristalino
H-553	HTLQPM	Trópico	Semicristalino
HV-362	HV-QPM	Subtropical	Semicristalino
HV-521	HV-QPM	Trópico	Semicristalino
Criollo Acatlán	VPL	Subtropical	Dentado
VS-535	VPL	Trópico	Semidentado
VS-537	VPL	Trópico	Dentado
VS-334	VPL	Subtropical	Semicristalino
V-537	VPL	Trópico	Cristalino
V-538	VPL	Trópico	Cristalino
VS-534	VPL	Trópico	Dentado

QPM = Maíz de calidad proteínica; VPL = Variedad de polinización libre; HS = Híbrido simple; HTL = Híbrido trilineal; HV = Híbrido varietal.

(1% p/p) en un matraz y calentándola en un baño de agua en ebullición por 30 min y agitándola cada 5 min, la suspensión fue centrifugada (5000xg/10 min.) y en el sobrenadante se determinaron los carbohidratos totales con el método del fenol-sulfúrico (Dubois *et al.*, 1956).

Almidón total se determinó utilizando el método de Goñi *et al.* (1997). Almidón disponible se cuantificó usando el método multienzimático de Holm *et al.* (1986) usando Termamyl® (Novo A/S, Copenhagen) y amiloglucosidasa (Boehringer, Mannheim). Almidón resistente se midió con el método de Goñi *et al.* (1996), que determina la cantidad de almidón indigerible.

Temperatura y entalpía de gelatinización

Se utilizó un Calorímetro Diferencial de Barrido TA Instruments modelo 2010 (TA Instruments, New Castle, DE) previamente calibrado con indio. Se pesaron 2 mg de muestra (base seca) directamente en el portamuestra de aluminio y se adicionó agua desionizada con una microjeringa para hacer una suspensión entre 65-75% (p/p). Después de sellar el portamuestra se dejó equilibrar por 15 min a temperatura ambiente y posteriormente se calentó desde 30 a 120 °C a una velocidad de 10 °C min⁻¹. En todos los experimentos se usó un portamuestra vacío como referencia.

Análisis estadístico

Se llevó a cabo un análisis de varianza para determinar las diferencias entre las medias de cuando menos tres repeticiones para cada uno de los 20 materiales, utilizando el programa Sigma-Stat (Fox *et al.*, 1995).

and amyloglucosidase (Boehringer, Mannheim). Resistant starch was measured with the Goñi *et al.* (1996) method, which determines the amount of indigestible starch.

Temperature and enthalpy of gelatinization

A Differential Scanning Calorimeter of TA Instruments, model 2010 (TA Instruments, New Castle, DE) was used, which had been previously calibrated with indium. Two mg of sample (dry base) were weighed directly on the aluminum sample pan and de-ionized water was added with a microsyringe to obtain a suspension of 65-75% (w/w). After sealing the pan, it was left to equilibrate for 15 min at room temperature and later heated from 30 to 120 °C at a velocity of 10 °C min⁻¹. In all of the experiments, an empty pan was used as reference.

Statistical analysis

A variance analysis was carried out to determine the differences among the means of at least three replicates for each one of the 20 materials, using the Sigma-Stat software (Fox *et al.*, 1995).

RESULTS AND DISCUSSION

Agronomical characteristics

The varieties and hybrids were of different types (Table 1): free pollination, quality protein maize (QPM), simple and trilinear hybrids, which came from different tropical environments. The types of grain were crystalline, semicrystalline, dented and semidentated. These

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características agronómicas

Las variedades e híbridos fueron de diferentes tipos (Cuadro 1): de polinización libre, maíz de calidad proteica (QPM), híbridos simples y trilineales, los cuales provenían de diferentes ambientes tropicales. Los tipos de granos fueron cristalinos, semicristalinos, dentados y semidentados. Estas características agronómicas pueden tener una función importante en la utilización de las variedades e híbridos analizados, ya que la industria para la nixtamalización prefiere granos con endospermo duro (granos cristalinos) (De Sinibaldi y Bressani, 2001). Las características genéticas del grano de maíz (como en los híbridos) tienen efectos importantes en las propiedades físicas y químicas del almidón, como cambios en el tamaño de gránulo de almidón, en la estructura química, en la cristalinidad y la organización de las moléculas (amilosa y amilopectina) dentro del gránulo (Ji *et al.*, 2003).

Composición química

El contenido de humedad varió de 8.5 a 11.4% (Cuadro 2), lo cual puede estar influenciado por el tipo de grano, ya que los maíces de tipo cristalino y semicristalino tuvieron menor contenido de humedad.

agronomical characteristics may have an important function in the utilization of the varieties and hybrids analyzed, given that for nixtamalization, the industry prefers grains with a hard endosperm (crystalline grains) (De Sinibaldi and Bressani, 2001). The genetic characteristics of the maize grain (as in the hybrids) have important effects on the physical and chemical properties of the starch, such as changes in the size of the starch granule, in the chemical structure, in the crystallinity and organization of the molecules (amylose and amylopectin) within the granule (Ji *et al.*, 2003).

Chemical composition

The moisture content varied from 8.5 to 11.4% (Table 2), which could be influenced by the type of grain, given that the crystalline and semicrystalline type maizes had a lower moisture content. The climatic conditions (Table 3), such as the mean temperature and the pluvial precipitation, could affect these values, given that these maizes were cultivated in localities with a pluvial precipitation of between 800 and 1000 mm and mean temperature of 24 to 27 °C. In addition, the maize was dried naturally in the sun (with an average environmental temperature of 36 to 38 °C) during 3-4 d. The moisture content of the grain is important given that if it is >15.5%, fungi can grow during storage, producing important losses (Watson, 1987b).

Cuadro 2. Composición química (%) de híbridos y variedades de maíz[†].
Table 2. Chemical composition (%) of hybrids and varieties of maize[†].

Variedad	Humedad	Proteína [¶]	Grasa	Ceniza	Fibra dietaria	Carbohidratos
CML-269	9.9 ± 0.09b	8.8 ± 0.23ab	6.7 ± 0.06f	1.7 ± 0.01c	10.61 ± 0.0a	72.19 ± 0.0a
H-513	10.1 ± 0.27e	9.7 ± 0.11c	5.3 ± 0.02d	1.5 ± 0.01bc	13.05 ± 0.0c	70.54 ± 0.0b
P3028W	10.0 ± 0.04c	8.3 ± 0.23a	4.9 ± 0.01c	1.4 ± 0.02b	8.48 ± 0.0d	77.00 ± 0.0c
H-511-md	9.4 ± 0.11bc	9.7 ± 0.12c	5.3 ± 0.13d	1.4 ± 0.02b	9.14 ± 0.0k	74.52 ± 0.0j
H-511-d	9.9 ± 0.06c	9.6 ± 0.23c	5.3 ± 0.02d	1.5 ± 0.07bc	11.36 ± 0.0p	72.24 ± 0.0o
H-368	8.8 ± 0.26b	8.8 ± 0.23ab	4.8 ± 0.06c	1.1 ± 0.01a	7.66 ± 0.0f	77.69 ± 0.0e
CML-150	9.8 ± 0.18cd	8.8 ± 0.23b	5.4 ± 0.16d	1.4 ± 0.09b	9.57 ± 0.0l	74.83 ± 0.0k
H-554	9.7 ± 0.2bc	8.5 ± 0.11ab	6.0 ± 0.00e	1.2 ± 0.02ab	9.04 ± 0.0n	75.33 ± 0.0m
H-516	9.8 ± 0.13c	9.2 ± 0.11bc	5.3 ± 0.05d	1.1 ± 0.00a	9.87 ± 0.0e	74.56 ± 0.0d
H-515	9.7 ± 0.09e	9.3 ± 0.11c	5.4 ± 0.33d	1.5 ± 0.01bc	9.74 ± 0.0g	74.04 ± 0.0f
H-553	11.4 ± 0.35a	8.9 ± 0.12bc	6.1 ± 0.06e	1.7 ± 0.02c	11.07 ± 0.0q	72.32 ± 0.0p
HV-362	9.3 ± 0.08b	8.8 ± 0.11b	5.4 ± 0.01d	1.4 ± 0.01b	7.14 ± 0.0h	77.22 ± 0.0g
HV 521	10.2 ± 0.00ab	8.8 ± 0.12b	4.8 ± 0.01c	1.5 ± 0.03bc	9.80 ± 0.0i	75.09 ± 0.0h
Criollo Acatlán	9.4 ± 0.08b	9.2 ± 0.11bc	7.0 ± 0.05f	1.5 ± 0.00bc	10.10 ± 0.0b	72.20 ± 0.0a
VS-535	9.9 ± 0.17cd	9.8 ± 0.11c	4.7 ± 0.03bc	1.3 ± 0.01ab	10.85 ± 0.0j	73.35 ± 0.0i
VS-537	11.4 ± 0.01cd	8.8 ± 0.23b	5.4 ± 0.12d	1.5 ± 0.08bc	10.26 ± 0.0m	74.04 ± 0.0l
VS-334	10.0 ± 0.13c	8.6 ± 0.23ab	4.1 ± 0.18a	1.1 ± 0.10a	9.61 ± 0.0ñ	76.59 ± 0.0n
V-537	9.1 ± 0.03cd	9.4 ± 0.23c	4.5 ± 0.02b	1.4 ± 0.07bc	9.28 ± 0.0o	75.36 ± 0.0ñ
V-538	8.5 ± 0.13c	9.3 ± 0.35c	4.0 ± 0.02a	1.3 ± 0.32ab	9.40 ± 0.0r	76.00 ± 0.0q
VS-534	10.3 ± 0.19d	11.3 ± 0.11d	5.1 ± 0.02cb	1.5 ± 0.03bc	11.59 ± 0.0s	70.50 ± 0.0r

Valores con diferente letra en una columna son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) ♦ Values with different letters in the same column are statistically different ($p \leq 0.05$).

[†] Medias de tres repeticiones; base seca ♦ Mean of three replications; dry basis.

[¶] N×5.85.

Las condiciones climáticas (Cuadro 3), como la temperatura media y la precipitación pluvial podrían afectar estos valores, ya que estos maíces fueron cultivados en localidades con una precipitación pluvial entre 800 y 1000 mm y temperatura media 24 a 27 °C. Además, el maíz fue secado en forma natural al sol (con una temperatura ambiente promedio de 36 a 38 °C) durante 3-4 d. El contenido de humedad del grano es importante, ya que si es >15.5%, durante su almacenamiento pueden crecer hongos y producirse pérdidas importantes (Watson, 1987b).

La concentración de lípidos varió entre 4.0 y 7.0%, lo cual dependió del genotipo o variedad y de las condiciones en las que se manejaron los lotes de producción. Estos resultados indican que el maíz criollo Acatlán se podría usar para la producción de aceite, y su uso para la producción de tortillas se debe a las posibles interacciones entre los lípidos y el almidón.

La concentración de proteína fue 8.3 a 11.3%, valores similares a los reportados (6.0-12.0%) para híbridos cultivados en diferentes localidades (Watson, 1987a; Paredes-López *et al.*, 2000). El contenido de proteína fue mayor en los granos del tipo dentado y semidentado que en los cristalinos y semicristalinos. Para los materiales estudiados el tipo de grano influye más en el contenido total de proteína que la característica QPM, aunque algunos materiales con endospermo harinoso tienen un alto contenido de proteína; por tanto, la constitución genética de la variedad de maíz tiene mayor relevancia sobre este componente (Armstrong *et al.*, 2000). En los maíces QPM se mejora la calidad de la proteína respecto a los aminoácidos esenciales, como lisina y triptofano, más que el contenido de proteína (Watson, 1987a).

La cantidad de cenizas varió entre 1.1 y 1.7% y aproximadamente 90% de las muestras estudiadas no mostraron diferencias estadísticas ($p>0.05$). Los valores de fibra dietética estuvieron entre 7.1 y 13.1%; los cereales son una fuente de fibra dietética, ya que el híbrido H513 se podría utilizar con este fin, en cambio no se recomendaría el HV-362.

Contenido de almidón

El almidón total (AT) varió entre 69.1-86.0% (Cuadro 4); los valores más bajos fueron para las variedades HV-362 y VS-534, y los más elevados para los híbridos P3028W, H-368 y H-515. Según estos datos, aquellos materiales con mayor contenido de almidón podrían usarse en la industria dedicada al aislamiento del polisacárido y obtener mayores rendimientos. En 24 híbridos de maíz, Krieger *et al.* (1998) reportaron un contenido de almidón entre 70.6 y 73.0%, valores dentro del intervalo obtenido en este estudio. El mayor contenido de almidón en los híbridos analizados fue 86.0%, que es más alto que el reportado por dichos autores. Se

Cuadro 3. Condiciones climáticas de cultivo de híbridos y variedades de maíz.
Table 3. Climatic conditions of cultivation of hybrids and varieties of maize.

Variedad	Temp. media °C	Precipitación pluvial (mm)
CML-269	25-27	800 a 1000
H-513	25-28	1000 a 1200
P3028W	24-27	1000
H-511-md	25-28	1000 a 1200
H-511-d	25-28	1000 a 1200
H-368	22-24	800 a 900
CML-150	24-27	800 a 1000
H-554	25-28	1000 a 1200
H-516	24-27	900 a 1100
H-515	25-28	800 a 1000
H-553	24-27	900 a 1000
HV-362	20-22	800 a 900
HV-521	25-28	800 a 1000
Criollo Acatlán	22-24	1000 a 1100
VS-535	26-28	800 a 1000
VS-334	20-22	700 a 900
V-537	25-28	800 a 1000
V-538	25-28	800 a 1000

The concentration of lipids varied between 4.0 and 7.0%, which depended on the genotype or variety and the conditions under which the production lots were managed. These results indicate that the criollo maize Acatlán could be used for the production of oil, and its use for the production of tortillas is due to the possible interactions between the lipids and the starch.

The concentration of protein was 8.3 to 11.3%, values similar to those reported (6.0 to 12.0%) for hybrids cultivated in different localities (Watson, 1987a; Paredes-López *et al.*, 2000). The protein content was higher in the dented and semidented type grains than in the crystalline and semicrystalline grains. For the materials studied, the type of grain has more influence on the total protein content than the QPM characteristic, although some materials with a floury endosperm have a high protein content; therefore, the genetic constitution of the maize variety has more relevance on this component (Armstrong *et al.*, 2000). In the QPM maizes, the protein quality is improved with respect to the essential aminoacids, such as lysine and tryptophane, more than the protein content (Watson, 1987a)

The ash content varied between 1.1 and 1.7%, and approximately 90% of the samples studied did not show statistical differences ($p>0.05$). The values of dietary fiber were between 7.1 and 13.1%; the cereals are a source of dietary fiber, given that hybrid H513 could be used for this purpose, whereas HV-362 is not recommended.

Starch content

The total starch (TS) varied between 69.1-86.0% (Table 4); the lowest values were for the varieties HV-362 and

Cuadro 4. Almidón (%) total (AT), disponible (AD) y resistente (AR) de híbridos y variedades de maíz[†].
Table 4. Total starch (%) (TS), available starch (AS) and resistant starch (RS) of hybrids and varieties of maize[†].

Variedad	AT	AD	AR
CML-269	75.2 ± 2.30bc	58.7 ± 0.17ab	2.0 ± 0.01f
H-513	78.8 ± 2.09c	64.7 ± 0.51ab	1.1 ± 0.03a
P3028W	82.6 ± 2.04d	60.5 ± 0.37ab	1.9 ± 0.04ef
H-511-md	72.6 ± 2.87ab	68.3 ± 0.36ab	1.7 ± 0.02d
H-511-d	72.2 ± 2.27ab	63.5 ± 0.26ab	1.3 ± 0.04b
H-368	83.6 ± 3.21de	70.4 ± 0.39b	2.0 ± 0.04f
CML-150	74.9 ± 2.92bc	63.0 ± 0.27ab	1.6 ± 0.09c
H-554	80.3 ± 2.20cd	57.2 ± 0.13a	1.1 ± 0.03a
H-516	80.5 ± 3.50cd	55.3 ± 0.36a	2.9 ± 0.13k
H-515	86.0 ± 2.38e	57.2 ± 0.20a	2.4 ± 0.06h
H-553	72.1 ± 2.06ab	58.9 ± 0.50ab	2.6 ± 0.07i
HV-362	69.2 ± 0.89a	60.1 ± 0.46ab	2.0 ± 0.03f
HV-521	70.9 ± 4.95b	62.9 ± 0.64ab	2.7 ± 0.04j
Criollo Acatlán	77.9 ± 2.20c	63.7 ± 0.50ab	1.5 ± 0.02c
VS-535	71.3 ± 1.59ab	58.7 ± 0.62ab	1.5 ± 0.02c
VS-537	75.0 ± 2.08bc	63.2 ± 0.26ab	1.4 ± 0.03b
VS-334	80.5 ± 1.96cd	67.4 ± 0.31ab	1.9 ± 0.07e
V-537	75.9 ± 1.08bc	67.7 ± 0.26ab	1.2 ± 0.02a
V-538	74.1 ± 4.57bc	57.3 ± 0.25a	2.1 ± 0.03g
VS-534	69.1 ± 1.01a	62.3 ± 0.43ab	2.0 ± 0.08f

Valores con diferente letra en una columna son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) ♦ Values with different letters in the same column are statistically different ($p \leq 0.05$).

[†] Medias de tres repeticiones, base seca ♦ Mean of three replications; dry basis.

ha estudiado la caracterización térmica (Yuan *et al.*, 1993; NG *et al.*, 1997a,b; Krieger *et al.*, 1998; Ji *et al.*, 2003) y reológica (Yuan y Thompson, 1998) del almidón aislado de diferentes genotipos de maíz, pero en la literatura revisada no se encontraron reportes acerca del contenido de almidón ni de su influencia en la utilización del grano. Con maíces con mayor contenido de almidón, polisacárido que imparte propiedades reológicas importantes a los productos (González-Reyes *et al.*, 2003), se obtendrían masas con mejores propiedades reológicas y, por tanto, tortillas con textura de mejor calidad. Pero es necesario estudiar la nixtamalización de estos maíces.

El almidón disponible (AD) varió de 55.3 a 70.4%, ya que una fracción es resistente a las enzimas digestivas y corresponde al almidón físicamente inaccesible atrapado en la matriz de las células o a gránulos nativos crudos (Tovar *et al.*, 1992; Englyst *et al.*, 1992). Los híbridos con los más altos contenidos de AT no necesariamente presentaron la mayor concentración de AD, excepto H-368 donde ambos valores fueron más altos.

El contenido (1.1-2.9%; Cuadro 4) de almidón resistente (AR) en los maíces estudiados fue similar al reportado por García-Alonso *et al.* (1999). Las variedades con menor contenido de AD tuvieron un mayor AR (híbridos H-515, H-553 y H-538). Los granos altos en AR podrían

VS-534, and the highest for the hybrids P3028W, H-368 and H-515. According to this data, those materials with a higher starch content could be used in the industry dedicated to the isolation of the polysaccharide and obtain higher yields. In 24 maize hybrids, Krieger *et al.* (1998) reported a starch content of between 70.6 and 73.0%, values within the interval obtained in this study. The highest content of starch in the hybrids analyzed was 86.0%, which is higher than that reported by the aforementioned authors. Studies have been made of the thermal (Yuan *et al.*, 1993; NG *et al.*, 1997 a,b; Krieger *et al.*, 1998; Ji *et al.*, 2003) and rheological characterization (Yuan and Thompson, 1998) of the starch isolated from different maize genotypes, but in the literature reviewed no reports were found about the starch content or its influence on the utilization of the grain. In maizes with a higher content of starch, polysaccharide which contributes important rheological properties to the products (González-Reyes *et al.*, 2003), masa with better rheological properties would be obtained, and therefore, tortillas with a better quality texture. However, it is necessary to study the nixtamalization of these maizes.

The available starch (AS) varied from 55.3 to 70.4%, given that a fraction is resistant to the digestive enzymes and corresponds to the physically inaccessible starch trapped in the matrix of the cells or to raw native granules (Tovar *et al.*, 1992; Englyst *et al.*, 1992). The hybrids with the highest content of TS did not necessarily present the highest concentration of AS, except H-368, where both values were higher.

The content (1.1-2.9%; Table 4) of resistant starch (RS) in the maizes studied was similar to that reported by García-Alonso *et al.* (1999). The varieties with a lower content of AS had a higher RS (hybrids H-515, H-553 and H-538). The grains high in RS could produce tortillas with low glucemic indices, given that the content of RS increases when the tortilla is elaborated and stored (Rendón-Villalobos *et al.*, 2002). A high concentration of RS could be important for the elaboration of products from maize with a low caloric content or foods which help to maintain the intestine in good condition. The maizes studied have a high percentage of starch physically inaccessible to the digestive enzymes (RS1), and significant amounts of raw starch granules (RS2).

Temperature and enthalpy of gelatinization

The gelatinization temperatures of the genotypes, varieties and hybrids studied were between 73.4-77.1 °C, and the enthalpies 1.9 to 4.7 J g⁻¹ (Table 5). The gelatinization temperatures coincide with those reported for isolated starches of maize and other cereal starches (Paredes-López *et al.*, 1994; Campus-Baypoli *et al.*, 1999), which suggests that the milling of the flour prior

producir tortillas con bajos índices glucémicos, ya que el contenido de AR aumenta cuando la tortilla es elaborada y almacenada (Rendón-Villalobos *et al.*, 2002). Una alta concentración de AR puede ser importante para elaborar productos a base de maíz con bajo contenido calórico o de alimentos que ayuden a mantener en buen estado el intestino. Los maíces estudiados tienen un alto porcentaje de almidón físicamente inaccesible a las enzimas digestivas (AR1), y cantidades significativas de gránulos de almidón crudos (AR2).

Temperatura y entalpía de gelatinización

Las temperaturas de gelatinización de los genotipos, variedades e híbridos estudiados estuvieron entre 73.4-77.1 °C, y las entalpías 1.9 a 4.7 J g⁻¹ (Cuadro 5). Las temperaturas de gelatinización concuerdan con las reportadas para almidones aislados de maíz y otros almidones de cereales (Paredes-López *et al.*, 1994; Campus-Baypoli *et al.*, 1999), lo cual sugiere que la molienda del maíz antes de su análisis no dañó la estructura del almidón. Estos valores son importantes para determinar las variables de cocimiento del maíz y de sus productos. Los genotipos con mayor temperatura de gelatinización se pueden utilizar en la producción de harinas de maíz debido a las altas temperaturas usadas durante su procesamiento. Aquellos con menores temperaturas y entalpías

to its analysis did not damage the structure of the starch. These values are important for determining the cooking variables of maize and its products. The genotypes with higher gelatinization temperature can be used in the production of corn flour due to the high temperatures used during its processing. Those with lower temperatures and enthalpies of gelatinization would be used for the elaboration of tortillas by means of the traditional process of nixtamalization, given that energy would be saved. The maizes with higher gelatinization temperatures also had high enthalpies, which may be due to the molecular structure of the amylopectin present in these starches (Yuan *et al.*, 1993).

Campus-Baypoli *et al.* (1999) reported that the nixtamalization process increased the fusion temperature of the starch (83.0 °C), whereas Rendón-Villalobos *et al.* (2002) found a fusion temperature in the nixtamal of 81.8 °C and an enthalpy of 5.6 J g⁻¹. This response can be attributed to the phenomenon of “annealing” during the nixtamalization process of the maize.

CONCLUSIONS

The moisture content was lower in the crystalline and semicrystalline maizes, whereas the dented and semidented types had a higher protein content. Some of the maizes, due to their chemical composition, can be an important source of oil and dietary fiber; others, for the elaboration of products with better functional characteristics and texture, as well as corn based foods with a lower caloric content. Due to the content of AS and RS, some materials (H516 and HV521) can be used to obtain tortillas with a better provision of calories. Therefore, it is important to characterize the varieties of maize to define their best use.

—End of the English version—



de gelatinización se usarían para elaborar tortillas mediante el proceso tradicional de nixtamalización, ya que se ahorraría energía. Los maíces con mayores temperaturas de gelatinización también tuvieron entalpías elevadas, lo cual podría explicarse por la estructura molecular de la amilopectina presente en estos almidones (Yuan *et al.*, 1993).

Campus-Baypoli *et al.* (1999) reportaron que el proceso de nixtamalización aumentó la temperatura de fusión del almidón (83.0 °C), mientras que Rendón-Villalobos *et al.* (2002) encontraron en el nixtamal una temperatura de fusión de 81.8 °C y una entalpía de 5.6 J g⁻¹. Esta respuesta se puede deber al fenómeno de

Cuadro 5. Temperatura (°C) y entalpía (J g⁻¹) de gelatinización de híbridos y variedades de maíz[†].

Table 5. Temperature (°C) and enthalpy (J g⁻¹) of gelatinization of hybrids and varieties of maize.

Variedad	Temperatura (°C)	Entalpía (J g ⁻¹)
CML-269	75.1 ± 0.06bc	2.0 ± 0.37ab
H-513	75.1 ± 0.45bc	3.3 ± 1.56bc
P3028W	74.7 ± 0.20b	4.4 ± 0.40bc
H-511-md	75.4 ± 0.57bc	3.6 ± 0.62bc
H-511-d	75.7 ± 0.44bc	3.5 ± 0.21bc
H-368	73.4 ± 0.34a	4.2 ± 0.91bc
CML-150	75.5 ± 0.12bc	2.4 ± 0.36ab
H-554	73.6 ± 0.17ab	2.1 ± 0.56ab
H-516	73.5 ± 0.40ab	2.7 ± 0.06ab
H-515	77.5 ± 1.04d	2.0 ± 0.05ab
H-553	77.1 ± 0.38cd	4.2 ± 0.11bc
HV-362	74.3 ± 0.37ab	4.3 ± 0.61bc
HV-521	73.7 ± 0.38ab	3.5 ± 0.12b
Criollo Acatlán	74.8 ± 0.22bc	3.7 ± 0.33bc
VS-535	75.6 ± 0.50bc	3.3 ± 0.40b
VS-537	75.3 ± 0.18bc	4.4 ± 0.14bc
VS-334	73.8 ± 0.45ab	4.7 ± 0.44c
V-537	76.2 ± 0.12c	3.7 ± 0.13bc
V-538	76.4 ± 0.52c	3.4 ± 0.22b
VS-534	76.5 ± 1.22cd	1.9 ± 0.35a

Valores con diferente letra en una columna son significativamente diferentes (p≤0.05) ♦ Values with different letters in the same column are statistically different (p≤0.05).

[†] Medias de tres repeticiones ♦ Mean of three replications; dry basis.

“annealing” (anillado) durante el proceso de nixtamalización del maíz.

CONCLUSIONES

El contenido de humedad fue menor en los maíces cristalinos y semicristalinos, mientras que los de tipo dentado y semidentado tuvieron mayor contenido de proteína. Algunos de los maíces, debido a su composición química, pueden ser una fuente importante de aceite y fibra dietética; otros, para elaborar productos con mejores características funcionales y de textura, así como alimentos a base de maíz con menor contenido calórico. Debido al contenido de AD y AR, algunos materiales (H516 y HV521) se pueden usar para obtener tortillas con mayor suministro de calorías. Debido a esto, es importante caracterizar las variedades de maíz para definir su mejor utilización.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo económico de CONACYT (Proyecto 35037-B), CGPI-IPN (20010754) y COSNET.

LITERATURA CITADA

- AACC (American Association of Cereal Chemists). 2000. Approved Methods of the AACC. St. Paul, MN.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis. Volume II and I. Arlington Virginia. USA.
- Armstrong, C. L., T. M., Spencer, M. A., Stephens, and S. M., Brown. 2000. Transgenic maize. *In: Transgenic Cereals*. O'Brien, L. and R. J. Henry (eds). Am. Assoc. Cereal Chem. St Paul MN. USA. pp: 115-152.
- Asp, N. G., J. M. M. Van Amelsvoort, and J. G. A. J. Hautvast. 1996. Nutritional implications of resistant starch. *Nutr. Res. Rev.* 9: 1-31.
- Biliaderis, C. G. 1991. The structure and interactions of starch with food constituents. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 69: 60-78.
- Campus-Baypoli, O. N., E. C. Rosas-Burgos, P. I. Torres-Chávez, B. Ramirez-Wong, and O. S. Serna-Saldívar. 1999. Physicochemical changes of starch during maize tortilla production. *Starch/Stärke* 51: 173-177.
- De Sinibaldi, A. C. B., y R. Bressani. 2001. Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz. *Arch. Latinoamericanas Nutr.* 51: 86-94
- Dubois, M., K. A. Gilles, J.K. Hamilton, P. A. Rebers, and F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, 28: 350-356.
- Englyst, H. N., S. M. Kingman, and J. H. Cummings. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European J. Clin. Nutr.* 46 (Suppl. 2) S33-S50.
- Fox, E., K. Shotton, and C. Ulrich. 1995. Sigma-Stat User Manual. San Rafael, CA., USA, Jandel Scientific Co. (cd).
- García-Alonso, A., I. Goñi, A. Jiménez-Escrig, N. Martín-Carrón, L. Bravo, and F. Saura-Calixto. 1999. Assessment of some parameters involved in the gelatinization and retrogradation of starch. *Food Chem.* 66: 181-187.
- González-Reyes, E., G. Méndez-Montealvo, J. Solorza-Feria, J. F. Toro-Vazquez, and L. A. Bello-Pérez. 2003. Rheological and thermal characterization of *Okenia hypogaea* (*Schlecht. and Cham.*) starch. *Carbohydrate Polymers* 52:297-310.
- Goñi, I., A. García-Alonso, and F. Saura-Calixto. 1997. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutr. Res.* 17: 427-437.
- Goñi, I., L. García-Dfraz, E. Mañas, and F. Saura-Calixto. 1996. Analysis of resistant starch: A method for foods and food products. *Food Chem.* 56: 445-449.
- Holm, J., I. Bjorck, A. Drews, and N. G. Asp. 1986. A rapid method for the analysis of starch. *Starch/Stärke.* 38: 224-229.
- Ji, Y., K. Seetharaman, K. Wong, L. M. Pollak, S. Duvick, J. Jane, and P. J. White. 2003. Thermal and structural properties of unusual starches from developmental corn lines. *Carbohydrate Polymers* 51: 439-450.
- Krieger, K. M., L. M. Pollak, T. J. Brumm, and P. J. White. 1998. Effects of pollination method and growing location on starch thermal properties of corn hybrids. *Cereal Chem.* 75: 656-659.
- NG, K.-Y., S. A. Duvick, and P. J. White. 1997a. Thermal properties of starch from selected maize (*Zea mays* L.) mutants during development. *Cereal Chem.* 74: 288-292.
- NG, K.-Y., L. M. Pollak, S. A. Duvick, and P. J. White. 1997b. Thermal properties of starch from 62 exotic maize (*Zea mays* L.) lines grown in two locations. *Cereal Chem.* 74: 837-841.
- Paredes-López, O., L. A., Bello-Pérez, and M. G., López. 1994. Amylopectin: structural, gelatinisation and retrogradation studies. *Food Chem.* 50: 411-417.
- Paredes-López, O., H. Guzmán Maldonado, y S. Serna Saldívar. 2000. Los Alimentos Mágicos de las Culturas Indígenas de México- El Caso de la Tortilla. El Colegio de Sinaloa, Sinaloa, México. p: 18.
- Rendon-Villalobos, R., L. A. Bello-Pérez, P. Osorio-Díaz, J. Tovar, and O. Paredes-López. 2002. Effect of storage time on *in vitro* digestibility and resistant starch content of nixtamal, masa and tortilla. *Cereal Chem.* 79: 340-344.
- Salinas-Morelo, Y., F. Martínez-Bustos, M. Soto-Hernández, R. Ortega-Paczka, y J. L. Arellano Vázquez. 2003. Efecto de la nixtamalización sobre las antocianinas del grano de maíces pigmentados. *Agrociencia* 37: 617-628.
- Skrabanja, V., H. G. M. Liljerberg, C. L. Hedley, I. Kreft, and I. M. E. Björck. 1999. Influence of genotype and processing on the *in vitro* rate of starch hydrolysis and resistant starch formation in peas (*Pisum sativum* L.). *J. Agric. Food Chem.* 47: 2033-2039.
- Tovar, J., I. M. Bjorck, and N. G. Asp. 1992. Incomplete digestion of legume starches in rats: A study of precooked flours containing retrograded and physically inaccessible starch fractions. *J. Nutr.* 122: 1500-1507.
- Watson, S.A. 1987a. Structure and composition. *In: Corn: Chemistry and Technology*. Watson S. A., and P. E. Ramstad (eds). Am. Assoc. Cereal Chem. St Paul, MN. pp: 53-82.
- Watson, S.A. 1987b. Measurement and maintenance of quality. *In: Corn Chemistry and Technology*. Watson S. A., and P. E. Ramstad (ed). Am. Assoc. Cereal Chem. St Paul, MN. pp: 125-183.
- Yuan, R. C., and D. B. Thompson. 1998. Rheological and thermal properties of aged starch pastes from three waxy maize genotypes. *Cereal Chem.* 75: 117-123.
- Yuan, R. C., D. B. Thompson, and C. D. Boyer. 1993. Fine structure of amylopectin in relation to gelatinization and retrogradation behavior of maize starches from three wax-containing genotypes in two inbred lines. *Cereal Chem.* 70: 81-89.
- Zazueta-Morales, J. J., F. Martínez-Bustos, N. Jacobo-Valenzuela, C. Ordorica-Falomir, and O. Paredes-López. 2001. Effect of the addition of calcium hydroxide on some characteristics of extruded products from blue maize (*Zea mays* L.) using response surface methodology. *J. Sci. Food and Agric.* 81: 1379-1386.