

Comparación de calidad física, contenido de fenoles y aflatoxinas en maíces híbridos y nativos*

Comparison of hybrid and native corns with respect to physical quality, content of phenols and aflatoxins

Silvia Denise Peña Betancourt^{1§}, Miguel Ángel Carmona Medero² y Benjamín Valladares Carmona³

¹Departamento de Producción Agrícola y Animal. Laboratorio de Toxicología UAM-X. Calzada del Hueso 1100. Colonia Villa Quietud, México, D. F. ²Facultad de Veterinaria-UNAM. (camm@servidor.unam.mx). ³Facultad de Veterinaria-UAEM. (benvac2004@yahoo.com.mx). [§]Autora para correspondencia: (silvia_dpb@hotmail.com).

Resumen

Actualmente la preocupación por la calidad e inocuidad de los alimentos que se consumen en México ha aumentado. El maíz presenta una gran diversidad de genotipos, que se consumen principalmente como masa y tortilla. El objetivo del presente estudio fue comparar la calidad física, el contenido de fenoles solubles y la contaminación por aflatoxinas en quince maíces de diferente genotipo y procedencia. Las variedades de maíz híbrido comerciales analizadas fueron: pantera, leopardo, oso, 30T26, 30G40 del estado de Hidalgo, Cronos y DK2060 de Morelos, Puma 1167, H516 y H519 del Estado de México y cinco variedades nativas de Puebla, Toluca, Sinaloa, Michoacán y Estado de México. Los extractos de fenoles solubles se analizaron por espectrofotometría de luz UV-visible. El peso hectolítrico (PH) y el peso de 100 granos (PCG) de acuerdo a la NMX-FF-034 y la cuantificación de aflatoxinas por inmunoensayo enzimático (ELISA). El peso de cien granos fluctuó entre 18 a 51 g. El contenido fenólico en un rango de 100 a 370 $\mu\text{g g}^{-1}$, el peso hectolítrico entre 49 y 80 kg hL^{-1} y el contenido de aflatoxinas totales de 2 a 13 $\mu\text{g kg}^{-1}$. El 25% de los maíces evaluados cumple con la densidad mínima establecida para su comercialización (masa y tortilla) y los maíces híbridos comerciales pantera, oso y DK2060 procedentes de los estados de Hidalgo y Morelos los de mayor contaminación

Abstract

The concern for the quality and safety of the food consumed in Mexico has been increasing in recent times. Corn has a wide variety of genotypes, which in Mexico are consumed mainly as dough and tortillas. The aim of this study was to compare fifteen different genotypes of corns with respect to their physical quality, soluble phenolic content and aflatoxin contamination. The commercial hybrid corn varieties analyzed were: panther, leopard, bear, 30T26, 30G40 from the state of Hidalgo; Cronos and DK2060 from the state of Morelos; Puma 1167, H516 and H519 from the State of Mexico; and five varieties native to Puebla, Toluca, Sinaloa, Michoacán and the State of Mexico. Soluble phenol extracts were analyzed by UV-visible spectrophotometry. The hectoliter weight (HW) and the hundred grains weight (HGW) were determined according to NMX-FF-034, while the quantification of aflatoxins was determined by enzyme immunoassay (ELISA). The hundred grains weight ranged from 18 to 51 g. The phenolic content ranged from 100 to 370 $\mu\text{g kg}^{-1}$, the hectoliter weight from 49 to 80 kg hL^{-1} and the total aflatoxin content from 2 to 13 $\mu\text{g kg}^{-1}$. 25% of the corns evaluated meet the established minimum density for marketing (dough and tortillas), while the commercial corn hybrids panther, bear and DK2060, from the states of Hidalgo and Morelos, had

* Recibido: mayo de 2012
Aceptado: febrero de 2013

por aflatoxinas. Los maíces nativos con un mayor contenido de fenoles, lo que implica una protección natural contra las plagas de almacenamiento.

Palabras clave: calidad física, compuestos fenólicos, grano, híbrido, nativo.

Introducción

En México el maíz (*Zea mays* L.), es uno de los cultivos de mayor versatilidad como materia prima participa en la formulación de alimentos de consumo humano y animal, el consumo de maíz alcanza 200 kg por persona al año y el de tortillas se calcula en una ingesta diaria de 225 g.

El destino industrial del grano depende de las características físicas de peso, tamaño, dureza y composición química, las cuales son influidas por la genética, pero también por el tipo de suelo, disponibilidad de agua, del sistema de producción y las condiciones climáticas del lugar de procedencia (De Sinibaldi y Bressanni 2001; Duarte y Mason, 2005). El proceso de elaboración artesanal de subproductos de maíz, como son las tortillas o tostadas, de diferente tamaño, color y sabor, utiliza el maíz nativo principalmente en los estados de Chiapas, Oaxaca y Michoacán (Mauricio *et al.*, 2004).

Actualmente la industria de la masa y la tortilla entre otras, buscan maíces de calidad, con características físicas específicas y calidad sanitaria (microbiológica y micotoxinas) idóneas para su transformación y consumo (Singh y Johnson 2001, SAGARPA, 2008).

El peso, tamaño, dureza y el contenido de proteína y almidón son características físico químicas importantes para la industria alimentaria. A nivel nacional se han establecido los atributos de calidad en los granos para su comercialización, que establece la norma mexicana son: grado México 1, 2, 3 y 4, dependiendo del contenido de impurezas, daños físicos y peso volumétrico del grano (NMX-FF-034/2-SCFI-2003).

Existen diversos tipos de maíz híbrido, dependiendo del número y del ordenamiento de las líneas puras paternas. Una cruce simple (A x B) puede; sin embargo, aportar genes de alto rendimiento y resistencia al acame, una variedad de polinización libre puede aportar la adaptación a ciertas condiciones locales, las cruces de líneas hermanas pueden tener mayor rendimiento, vigor y resistencia al acame. Las

the highest levels of aflatoxin contamination. The native corns had the highest phenolic content, implying a natural protection against storage pests.

Keywords: grain, hybrid, native, phenolic compounds, physical quality.

Introduction

In Mexico, corn (*Zea mays* L.) is one of the most versatile crops; as raw material it is involved in the production of food for human and animal consumption. The consumption of corn reaches 200 kg per person per year and the consumption of tortilla is estimated to be 225 g per day.

The industrial use of the grain depends on the physical characteristics of weight, size, hardness and chemical composition, which are influenced by genetics, but also by the type of soil and the availability of water in the production system, as well as by the climatic conditions of the place of origin (De Sinibaldi and Bressanni, 2001; Duarte and Mason, 2005). The traditional elaboration process of corn byproducts such as tortillas or toasts of different size, color and taste, use native corn mainly in the states of Chiapas, Oaxaca and Michoacán (Mauricio *et al.*, 2004).

The tortilla and dough industry, among others, is currently seeking quality corns with specific physical characteristics and sanitary quality (microbiological and mycotoxins) suitable for processing and consumption (Singh and Johnson 2001, SAGARPA, 2008).

The weight, size, hardness and protein and starch content are important chemical and physical characteristics to the food industry. Quality categories for the commercialization of grains have been established at the national level by Mexican regulations: Mexico Grade 1, 2, 3 and 4, depending on the content of impurities, physical damage and dimensional weight of the grains (NMX- FF-034/2-SCFI-2003).

There are various types of hybrid corn, depending on the number and arrangement of the parental inbred lines. A single cross (A x B) can, however, provide high-yield genes with resistance to lodging; an open-pollinated variety can provide the capacity to adapt to certain local conditions; sister line crosses can have a higher yield, more vigor and

cruzas de tres elementos (A x B) x (C), tienden a ser más uniformes, y con un rendimiento superior al de cruzas dobles (CIMMYT, 1999; Wong *et al.*, 2007).

En México la siembra de semillas de maíz híbrido tomó impulso en la década de los noventa en distintas regiones agrícolas del país, principalmente en los estados de Hidalgo, Morelos y Estado de México, el mejoramiento genético ha propiciado la comercialización de ochenta híbridos al alcance de todos los productores (Peña y Calzada, 2008).

Los fenoles son metabolitos secundarios que pertenecen a un amplio grupo de compuestos químicos, solubles en agua y alcohol, que han sido utilizados por su actividad astringente en muchas industrias curtidoras de piel, sin embargo desde el punto de vista nutricional estas sustancias pueden inhibir a la proteína formando complejos insolubles y estables, haciéndola poco disponible en animales monogástricos. A éstos compuestos se les conoce actualmente como factores no-nutritivos (Bartholomai *et al.*, 2000, Grundhofer *et al.*, 2001). Sin embargo, también se ha reconocido su efecto protector contra diversas plagas en campo y en almacén (Shirley, 1996; Ventura, 2004), debido probablemente al efecto antagónico que ejercen sobre hormonas y enzimas en los insectos, por lo que pueden actuar como bioinsecticidas. Participan también en el desarrollo del color grisáceo en masa y tortilla (Salinas *et al.*, 2007).

Las aflatoxinas son metabolitos producidos por un hongo saprófito, *Aspergillus flavus* L., que habita en el campo y que contamina al maíz durante su desarrollo, ocasionando una disminución de su valor nutricional y comercial. La aflatoxina B1 es una micotoxina con probada actividad carcinogénica y mutagénica en diversos animales, ya que es capaz de inducir una modificación en el nucleolo de los hepatocitos, un desarreglo y reducción en el número de ribosomas, proliferación del retículo endoplásmico liso y degeneración de mitocondrias, todo lo que expresa una inhibición de los precursores para la síntesis de ADN, ARN y proteínas (Peña y Calzada, 2008).

Las aflatoxinas son moléculas estables a los tratamientos térmicos, por lo que la nixtamalización (procesamiento térmico-alkalino) para la obtención de la tortilla, sólo logra disminuir 30% de su presencia (Peña y Arias 2003).

La legislación nacional establece un nivel máximo de 20 µg kg para aflatoxinas en el maíz crudo, mientras que el Códex alimentarius de 10 µg kg (Williams *et al.*, 2002). En

resistencia to lodging. Three-way crosses (A x B) x (C) tend to be more uniform, and have a higher yield than double crosses (CIMMYT, 1999; Wong *et al.*, 2007).

In Mexico, the planting of hybrid corn seeds gathered momentum in the decade of 1990 in various agricultural regions of the country, mainly in the states of Hidalgo, Morelos and Mexico; breeding has led to the marketing of eighty hybrids which are available to all producers (Peña and Calzada, 2008).

Phenols are secondary metabolites belonging to a large group of chemical compounds, soluble in water and alcohol, which have been used for their astringent activity in many skin tanning industries; however, from a nutritional standpoint, these substances can inhibit proteins, forming insoluble and stable complexes with them and reducing their availability to monogastric animals. These compounds are currently known as non-nutritive factors (Bartholomai *et al.*; 2000 Grundhofer *et al.*, 2001). However, their protective effect against various field and storage pests has been recognized (Shirley, 1996; Ventura, 2004), probably due to the antagonistic effect they exert on hormones and enzymes in insects, allowing them to act as bioinsecticides. They are also involved in the development of the grayish color in dough and tortillas (Salinas *et al.*, 2007).

Aflatoxins are metabolites produced by a saprophytic fungus, *Aspergillus flavus* L., that lives in the fields and contaminates corn during its development, causing a decrease in its nutritional and commercial value. The Aflatoxin B1 is a mycotoxin with proven carcinogenic and mutagenic activity in various animals; it is capable of inducing a modification in the nucleolus of hepatocytes, a disruption and reduction of the number of ribosomes, the proliferation of smooth endoplasmic reticulum and the degeneration of mitochondria, all of which expresses an inhibition of the precursors for the synthesis of DNA, RNA and proteins (Peña and Calzada, 2008).

Aflatoxins are molecules stable to heat treatments; hence, nixtamalization (thermal-alkaline processing), necessary for obtaining tortillas, decreases by only 30% the presence of aflatoxins (Peña and Arias 2003).

The national laws establish a maximum level of 20 µg kg for aflatoxins in raw corn, while the Codex Alimentarius establishes a maximum level of 10 µg kg (Williams *et*

México el nivel máximo permitido para aflatoxinas en la tortilla es de $12 \mu\text{g kg}^{-1}$ de acuerdo con la NOM-034-2003. El Comité mixto de expertos en aditivos emitió un nivel de ingesta admitida diaria para aflatoxinas de 2 ng g^{-1} (FAO y OMS, 2001).

Por lo que el objetivo del estudio fue caracterizar física y químicamente quince maíces de diferente genotipo de tres regiones del país, para determinar la relación calidad e inocuidad del grano.

Materiales y métodos

Material genético

Se utilizaron 15 muestras de maíz (*Zea mays* L.), cinco de ellas procedentes del estado de Hidalgo, de dos localidades del Valle del Mezquital, con un clima templado y seco, tres del Estado de México, del municipio de Cuautitlán Izcalli con un clima templado con lluvias en verano y dos variedades de Morelos del municipio de Zacatepec con clima cálido subhúmedo y cinco maíces nativos. Las variedades de maíz híbrido fueron identificadas como Pantera, Leopardo, Oso, DK2060, 30T25, 30G40, Cronos, Puma 1167 y los maíces nativos como bola, Chalco, Toluqueño y Sinaloa, proporcionadas por productores de cada región. La colecta se realizó durante el período otoño e invierno 2008 y 2009. Los estados de Hidalgo, Morelos y Estado de México presentan condiciones sociales, económicas y tecnológicas diferentes, con bajos rendimientos en su producción.

Características físicas

Las características físicas evaluadas fueron peso de 100 granos (g), peso hectolítrico (Kg hL^{-1}) contenido de impurezas y daños, de acuerdo con el método 14-40AACC, y la NMX-FF-034, todos los análisis se realizaron por duplicado.

Análisis cualitativo de los compuestos fenólicos

Preparación del extracto (George *et al.*, 2005). El material vegetal fresco se secó a la estufa, a temperatura de $65 \text{ }^\circ\text{C}$. Las muestras se molieron y se pesaron 30 g. El extracto se obtuvo a partir de la extracción alcohólica 70%, durante 30 min a temperatura ambiente de $25 \text{ }^\circ\text{C}$. El extracto se concentró hasta un volumen de 25 mL. Se tomó una alícuota

al., 2002). In Mexico, the maximum permitted level for aflatoxins in tortillas is $12 \mu\text{g kg}^{-1}$, according to NOM-034-2003. The Joint Expert Committee on additives issued an accepted daily intake level for aflatoxins of 2 ng g^{-1} (FAO and WHO, 2001).

So, the aim of this study was to characterize physically and chemically fifteen different genotypes of corn from three regions of the country, in order to determine the relationship between quality and safety of the grain.

Materials and methods

Genetic material

Fifteen samples of corn (*Zea mays* L.) were used, five of them from the state of Hidalgo, in two locations of the Mezquital Valley, with a mild, dry climate; three of the, came from the State of Mexico, from the municipality of Cuautitlan Izcalli, which has a temperate climate with summer rains; two varieties came from the state of Morelos, from the municipality of Zacatepec, which has a warm humid climate: finally, five of the samples were of native corn. Hybrid corn varieties were identified as Panther, Leopard, Bear, DK2060, 30T25, 30G40, Cronos, and Puma 1167, while the native corns were identified as ball, Chalco, Toluqueño and Sinaloa, provided by producers from each region. The collection was performed during the autumn and winter of 2008 and 2009. The states of Hidalgo, Morelos and Mexico have different social, economic and technological conditions, with low production yields.

Physical characteristics

The physical characteristics evaluated were the weight of a hundred grains (g), the hectoliter weight (Kg hL^{-1}), the content of impurities and damages, according to the 14-40 AACC method, and the NMX-FF-034; all analyzes were performed in duplicate.

Qualitative analysis of phenolic compounds

Preparation of extract (George *et al.*, 2005). The fresh plant material was dried in the oven at $65 \text{ }^\circ\text{C}$. The samples were ground and weighed (30 g). The extract was obtained by 70% alcohol extraction for 30 min at room temperature of $25 \text{ }^\circ\text{C}$. The extract was concentrated to a volume of 25 mL.

para realizar su reacción con cloruro férrico, con el objeto de identificar la presencia o ausencia de taninos hidrolizables y taninos condensados.

La fracción polifenólica (fenoles solubles e insolubles) se obtuvo a partir del extracto alcohólico mediante la precipitación con sal (NaCl) y gretina, la cual se añadió lentamente al extracto, en condiciones de agitación y calor a 70 °C durante 10 min. El sobrenadante se decantó y las muestras se centrifugaron a 1 500 g, durante 15 min a temperatura ambiente. El precipitado obtenido se disolvió en agua desionizada. El desarrollo de una coloración azul-verdosa con precipitado se consideró positivo a fenoles del grupo del pirogalol y con un color azul intenso con precipitado, indica la presencia de fenoles del catecol.

Determinación cuantitativa de fenoles totales (solubles)

La extracción de fenoles solubles (glucosilados, esterificados y libres) se realizó según la propuesta de Bakan *et al.* (2003). A partir de 5 g de cada muestra se realizó una extracción alcohólica al 80% por 30 min de agitación a temperatura ambiente, la mezcla se centrifugó a 1 500 g por 5 min en una centrífuga modelo Universal 32. Una alícuota de 10 mL se digirió con hidróxido de sodio (NaOH) 0.05 M. La cuantificación se realizó mediante espectrofotometría de luz UV-visible a una longitud de onda de 700 nm. El ácido tánico se utilizó como sustancia de referencia para realizar la curva estándar a partir de una concentración inicial de 20 mg/L, se prepararon diluciones en un rango de 5 a 20 mg/L y se midió la absorbancia en un espectrofotómetro. Todas las mediciones se realizaron por triplicado.

Ensayo inmunoenzimático para la determinación de aflatoxinas

Se siguieron las especificaciones del kit comercial de Ridascreen Fast Aflatoxins para granos y cereales. La técnica de inmunoensayo enzimático presenta un límite de detección de 1.7 µg kg⁻¹. Las microplacas de titulación cuenta con 48 pocillos, se incluyen los estándares de aflatoxinas en cuatro concentraciones de 0, 1.7, 15 y 45 µg kg. Se pesaron 5 g de la muestra finamente molida y se le adicionó 50 ml de una solución de metanol: agua (70:30 v/v), dejando en reposo durante 1 h.

Se filtró en papel Whatman Núm. 4 y se diluyó el extracto a un volumen de 1:10. Se aplicaron 50 µl de cada muestra en cada pocillo y se adicionó el conjugado aflatoxina-

An aliquot was taken for making it react with ferric chloride in order to identify the presence or absence of hydrolysable and condensed tannins.

The polyphenolic fraction (soluble and insoluble phenols) was obtained from the alcoholic extract by precipitation with salt (NaCl) and gelatin, which was slowly added to the extract, under stirring and heat conditions at 70 °C for 10 min the supernatant was decanted and the samples were centrifuged at 1500 g for 15 min at room temperature. The precipitate obtained was dissolved in deionized water. The appearance of a blue-green precipitate was considered positive for phenols of the pyrogallol group, and an intense blue precipitate indicated the presence of catechol phenols.

Quantitative determination of total phenols (soluble)

The extraction of soluble phenols (glycosylated, esterified and free) was performed as proposed by Bakan *et al.* (2003). An 80% alcohol extraction was performed from 5 g of each sample for 30 min with stirring at room temperature; the mixture was centrifuged at 1 500 g for 5 min in a centrifuge Universal model 32. A 10 mL aliquot was digested with 0.05 M sodium hydroxide (NaOH). The quantification was performed by UV-visible spectrophotometry at a wavelength of 700 nm. The tannic acid was used as reference substance for making the standard curve from an initial concentration of 20 mg/L; dilutions ranging from 5 to 20 mg/L were prepared, and the absorbance was measured in a spectrophotometer. All measurements were performed in triplicate.

Immunosorbent assay for the determination of aflatoxins

We followed the specifications of the Ridascreen Fast Aflatoxin commercial kit for grains and cereals. The enzyme immunoassay technique presents a detection limit of 1.7 µg kg⁻¹. The microtitration plates had 48 wells. The aflatoxin standards were included in four concentrations: 0, 1.7, 15 and 45 µg kg. Five finely ground grams of the sample were weighed and added with 50 ml of a methanol solution: water (70:30 v/v), allowing it to stand for 1 h.

This was filtered with Whatman paper No. 4, and the extract was diluted to a volume of 1:10. 50 µl of each sample were applied in each well and the aflatoxin-enzyme conjugate was added, leaving in incubation for 15 min; when finished, three washes were performed on the plate with the object of removing the aflatoxin-enzyme conjugate that did not attach to the antibodies adhered to the plate and introduce the

enzima, dejando en incubación por 15 min, al finalizar, se efectuaron tres lavados en la placa, con el objeto de remover el conjugado aflatoxina-enzima que no se unió a los anticuerpos adheridos a la placa, para introducir el sustrato cromógeno a los pocillos y volver a incubar por 15 min, se para la reacción, presentándose un cambio de coloración de azul a amarillo, finalmente se realizó la medición fotométrica a una longitud de 450 nm, en un lector de placas ELISA marca Biotek modelo ELX800. Las lecturas de la absorbancia se comparan con la de los estándares. La cuantificación de la aflatoxina se obtiene al introducir los resultados en un software comercial.

Análisis estadístico de los datos

Se utilizó un diseño completamente al azar, cuando la razón de la varianza fue significativa ($F = p < 0.05$) se procedió a efectuar la comparación múltiple de medias por el procedimiento de Tukey ($p < 0.05$).

Resultados y discusión

Los resultados de las características físicas del tamaño y densidad de los granos en los genotipos evaluados se presentan en el Cuadro 1. Las muestras de maíz híbrido Cronos y DK2060 del estado de Morelos, mostraron la menor densidad, lo cual se relaciona posiblemente con un contenido menor de almidón, que de acuerdo con De Sinibaldi y Bressani, 2001, éstos híbridos por sus características físicas deben ser utilizados en la industria pecuaria, principalmente en los alimentos balanceados para rumiantes.

La densidad aparente del grano, representada por el peso hectolítrico de la mayoría de los maíces nativos se relaciona con una mayor dureza (Correa *et al.*, 2001), incluso resultó mayor a lo reportado en el maíz de Sonora en la zona agrícola del Valle del Mayo (Gallardo *et al.*, 2006), éstas diferencias se debieron probablemente a las condiciones de cultivo, así como al clima que se presentó durante el desarrollo del grano, ya que como lo indica (Yang *et al.*, 2000), las condiciones de estrés en la planta durante su desarrollo como son una elevada precipitación pluvial y bajas temperaturas, ocasionan una disminución del tamaño del grano y con ello un retraso en su antesis ocasionando una caída en los valores de la densidad.

chromogenic substrate into the wells and incubate again for 15 min. Afterwards, the reaction stops, and there is a change from blue to yellow; finally, the photometric measurement was performed at a wavelength of 450 nm in an ELISA plate reader, Biotek, model ELX800. The absorbance readings are compared with that of the standards. The quantification of aflatoxin is obtained by introducing the results into a commercial software.

Statistical analysis of the data

We used a completely randomized design; when the ratio of the variance was significant ($F = p < 0.05$) we proceeded to carry out the multiple comparison of means by the Tukey procedure ($p < 0.05$).

Results and discussion

The results on the physical characteristics of grain size and density of the genotypes evaluated are presented in Table 1. The hybrid corn samples from the Morelos state, Cronos and DK2060, showed the lowest density, which is possibly related to a lower starch content. According to De Sinibaldi and Bressani, 2001, because of their physical characteristics, these hybrids should be used in the livestock industry, mainly for producing balanced feed for ruminants.

The bulk density of the grain, represented by the hectoliter weight in most native corns, is associated with greater hardness (Correa *et al.*, 2001). This value resulted even higher than what was reported in corn from Sonora in the agricultural area of Valle del Mayo (Gallardo *et al.*, 2006); these differences were likely due to the growing conditions and climate present during grain development, given that, as Yang *et al.*, 2000 indicated, the stress conditions in the plant during its development, such as high rainfall and low temperatures, cause a decrease in grain size and, with it, a delay of anthesis, causing a drop in the density values.

Additionally, the hardness of the grains could have been modified by an excessive use of nitrogen in the fertilization of the fields (Duarte *et al.*, 2005). Which explains why most commercial hybrids (87%) showed a lower density than that of the natives. Because of the type of hybridization of each of them, these corns are suitable for the dough and tortilla industry according to Singh *et al.*, 2001 (Table 1).

Además la dureza de los granos pudo ser modificada por un uso excesivo de nitrógeno a través de la fertilización en campo (Duarte *et al.*, 2005). Lo cual explica que la mayoría de los híbridos comerciales (87%), mostraran una densidad menor a la de los nativos, o debido al tipo de hibridación de cada uno de ellos, estos maíces son aptos para la industria de la masa y tortilla de acuerdo con (Singh *et al.*, 2001) (Cuadro 1).

The lowest grain weight was detected in hybrid corns of the state of Morelos, with an average of 20.6 g, and the highest in two native corns with an average weight of 52.75 g. No differences were found between the size of the hybrid corns from the states of Hidalgo and Mexico. The weight of the grains of native corns was higher, with an average of 42.7 g, than that of the hybrid corns from the state of Mexico (33.6 g), Hidalgo (35.7 g) and Morelos (20.6 g).

Cuadro 1. Características físicas de grano de diferentes genotipos de maíz.

Table 1. Physical characteristics of the grains of different corn genotypes.

Genotipo	Procedencia	Peso de 100 semillas (PCG) (g)	Peso hectolítrico (PH) kg/hL ⁻¹
Puma	Estado de México	36	58
Puma	Estado de México	40	61
H-515	Estado de México	25	55
Leopardo	Hidalgo	48	74
Pantera	Hidalgo	35	65
30V46	Hidalgo	29.5	68
30G40	Hidalgo	30	68
30T26	Hidalgo	35	69
DK2060	Morelos	23	52
Cronos	Morelos	18.2	49
Nativo	Chalco	54	80
Nativo	Sinaloa	33.4	74
Nativo	Puebla	44	69
Nativo	Michoacán	47	72
Nativo	Estado de México	51.5	80
Nativo	Estado de México	26.6	66

El menor peso del grano se detectó en los maíces híbridos del estado de Morelos con una media de 20.6 g. mientras que el mayor en dos maíces nativos con un peso promedio de 52.75 g. No se encontraron diferencias entre el tamaño de los maíces híbridos procedentes de los estados de Hidalgo y Estado de México. El peso de los granos de maíces nativos fue el mayor, con una media de 42.7 g. que en los maíces híbridos del estado de México (33.6 g), Hidalgo (35.7 g) y del estado de Morelos (20.6 g).

Todas las muestras de maíz evaluadas resultaron positivas a polifenoles de acuerdo con la técnica cualitativa, la mayoría de ellos del grupo de fenoles derivados del pirogalol (taninos hidrolizables). El contenido de los fenoles solubles fluctuó entre 130 a 370 $\mu\text{g g}^{-1}$ MS. Lo anterior, concuerda con las observaciones de (Ojeda y México *et al.*, 2010), para el sorgo, mientras que dentro del valor mínimo de acuerdo con lo reportado por De la Parra *et al.*, 2007; de 347 a 500 $\mu\text{g g}^{-1}$ MS en grano entero de maíz. (Cuadro 2). En los maíces criollos se observó un contenido promedio de 340 $\mu\text{g g}^{-1}$ de MS, mientras

All the corn samples evaluated were positive for polyphenols according to the qualitative technique; most belonged to the group of pyrogallol derivatives (hydrolysable tannins). The soluble phenols content ranged from 130 to 370 $\mu\text{g g}^{-1}$ MS. This accords with the observations of Ojeda and Mexico *et al.*, 2010, for sorghum, and falls within the minimum value of 347 to 500 $\mu\text{g g}^{-1}$ MS in whole corn grain, according with what was reported by De la Parra *et al.*, 2007. Table 2. An average content of 340 $\mu\text{g g}^{-1}$ MS was observed in the native corns, while the corn hybrids had an average content of 240 $\mu\text{g kg}^{-1}$ MS, with no statistical significance, due to the variability in the analysis techniques used and the difficulty of extraction of these compounds, as expressed by Cabrera *et al.* (2009).

All corns had aflatoxins; corn hybrids in a range of 1.7 to 13.5 $\mu\text{g kg}^{-1}$. The hybrids from the state of Morelos had the highest average content, with 7.5 ± 4.5 , followed by those from the state of Mexico, with 5.5 ± 3.34 , and the ones from the state of Hidalgo with 3.82 ± 2.10 . The native corns had an average content of aflatoxins of 7.33 ± 3.68

que los maíces híbridos de $240 \mu\text{g g}^{-1}$ MS., sin significancia estadística, debido a la variabilidad en las técnicas de análisis utilizadas y la dificultad de extracción de estos compuestos, como lo expresado por Cabrera *et al.* (2009).

Todos los maíces presentaron aflatoxinas, en los maíces híbridos en un rango de 1.7 a $13.5 \mu\text{g kg}^{-1}$. Los híbridos del estado de Morelos tuvieron el mayor contenido en promedio 7.5 ± 4.5 , seguido del Estado de México con 5.5 ± 3.34 y del estado de Hidalgo con 3.82 ± 2.10 . Los maíces nativos presentaron un promedio de $7.33 \pm 3.68 \mu\text{g kg}^{-1}$. Se observó significancia estadística entre genotipos, lo cual es atribuible a la procedencia, particularmente al clima y posiblemente al manejo agronómico, lo cual es indicativo de que la calidad del suelo agrícola sufre de contaminación por hongos e insectos y que será necesario realizar estudios de toxicología, para determinar su estado, si se desea controlar la presencia de éstas plagas y sus micotoxinas. Ya que actualmente se buscan las interacciones moleculares de las aflatoxinas con el citocromo P-450 1^a, 2C, 3^a y 4^a, midiendo los efectos de las enzimas bajo la ingestión de alimentos contaminados con bajos niveles de aflatoxinas.

Los maíces nativos presentaron un promedio de $7.33 \pm 3.68 \mu\text{g kg}^{-1}$. Se observó significancia estadística en su procedencia, ya que los maíces de mayor contenido se presentaron en el estado de Morelos, siendo el clima cálido lo que favoreció la síntesis de aflatoxinas por cepas aflatoxigénicas del hongo *Aspergillus sp.*

En el estado de Hidalgo la presencia de aflatoxinas en niveles por debajo de los maíces del estado de Morelos posiblemente se debió al manejo del cultivo, y a los efectos del clima que se presentaron durante la cosecha primavera-verano 2007, además de que en la región se utiliza una alta densidad de semilla y un riego con agua de desecho urbano. Por lo que a pesar de los bajos niveles detectados de aflatoxinas y de encontrarse dentro de los niveles permitidos por la legislación nacional para consumo humano, es importante destacar la cantidad consumida de maíz por la población mexicana, lo que significa la necesidad de evaluar la ingesta consumida y compararla con la ingesta tolerable recomendada por la FAO y OMS que es de 2 ng g.

En el Cuadro 3, se presentan los resultados del análisis estadístico, en donde se observan las diferencias significativas $p < 0.05$, para el peso volumétrico entre los híbridos de maíz del Estado de México y Morelos.

mg kg^{-1} . Statistical significance was observed between the genotypes, attributable to the origin, particularly to the climate and possibly to the agronomic management, which indicates that the quality of the agricultural soil suffers from contamination by fungi and insects and that toxicology studies will be required to determine its status if the presence of these pests and their mycotoxins is to be controlled. Researchers are currently seeking the molecular interactions of aflatoxin with cytochrome P-450 1st, 2C, 3rd and 4th, measuring the effects of the enzymes under the ingestion of food contaminated with low levels of aflatoxins.

Cuadro 2. Contenido de polifenoles y aflatoxinas según su procedencia.

Table 2. Content of polyphenols and aflatoxins.

Genotipo	Fenoles $\mu\text{g g}^{-1}$ MS	Aflatoxinas $\mu\text{g kg}^{-1}$	Procedencia
30T26	270	2	Hidalgo
30V46	330	2	Hidalgo
30G40	150	4.5	Hidalgo
Oso	275	13	Hidalgo
Pantera	370	4.6	Hidalgo
Leopardo	340	7	Hidalgo
Cronos	258	12	Morelos
dk2060	300	3	Morelos
H-515	250	4.5	Estado Méx.
H-516	130	2	Estado Méx.
Puma1167	130	10	Estado Méx.
Nativo	360	7	Sinaloa
Nativo	400	ND	Puebla
Nativo	300	8	Estado Méx.
Nativo	200	3	Oaxaca
Nativo	310	12	Oaxaca
Nativo	ND	10	Toluca

ND= no determinado.

The native corns had an average of $7.33 \pm 3.68 \mu\text{g kg}^{-1}$. Statistical significance was observed with respect to their origin, as the corns with higher content were the ones from the state of Morelos, where the warm climate favored the synthesis of aflatoxins by aflatoxigenic strains of the fungus *Aspergillus sp.*

In the state of Hidalgo, the presence of aflatoxins at levels below those of the corns from the state of Morelos was probably due to crop management and the climate effects that occurred during the spring-summer harvest of 2007, besides the fact that a high density of seeds used in the region, as well as irrigation with urban wastewaters. So, despite the

Cuadro 3. Análisis estadístico del contenido de aflatoxinas, polifenoles, peso de 100 granos y peso hectolítrico de quince genotipos de maíz procedentes de tres estados de México.

Table 3. Statistical analysis of aflatoxin content, polyphenol content, weight of 100 grains, and hectoliter weight of fifteen corn genotypes from three states in Mexico.

Procedencia y genotipo	Variables			
	Contenido de aflatoxinas $\mu\text{g kg}^{-1}$	Contenido de polifenoles mg ácido tánico equiv./g	Peso de 100 granos (g)	Peso hectolítrico kg hL^{-1}
Híbridos del Estado de México	5.56 ^a	1.71 ^a	33.66 ^a	58.00 ^b
Híbridos de Hidalgo	3.82 ^a	2.90 ^a	35.4 ^a	68.80 ^a
Híbridos de Morelos	7.40 ^a	2.82 ^a	20.5 ^a	50.50 ^b
Nativos	3.63 ^a	3.06 ^a	43.5 ^a	73.50 ^a

^{a,b}= literales diferentes significa; diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

Conclusiones

Los maíces nativos presentaron un mayor peso y densidad, características físicas que le imponen un mayor tiempo de secado, por lo que son idóneos para la elaboración artesanal de tortillas y tostadas que realizan mujeres de los estados de Chiapas, Oaxaca y Puebla, con lo cual, contribuyen al ingreso familiar.

Los híbridos comerciales evaluados presentaron un menor tamaño y densidad, lo que significa una disminución en el tiempo de secado para su almacenamiento y una mayor tendencia al incremento de fenoles solubles lo que les confiere protección natural de plagas de almacén, ventajas ideales para la industria de alimentos balanceados.

El 25% de los maíces evaluados cumple con el requerimiento mínimo de peso hectolítrico establecido en la norma de calidad, para maíces destinados a la elaboración de tortillas (tres de cuatro fueron maíces nativos).

Todos los maíces evaluados presentaron aflatoxinas en niveles permitidos para consumo humano de acuerdo con la legislación nacional, siendo los maíces híbridos comerciales pantera, oso y DK2060 procedentes de los estados de Hidalgo y Morelos los de mayor contenido en promedio.

Agradecimiento

A la Fundación PRODUCE, del estado de Hidalgo, por el financiamiento parcial al proyecto “Estudio de la calidad de maíces”. Al INIFAP- Zacatepec, en particular al MVZ.

low levels of aflatoxins detected, which are within the levels permitted for human consumption by the national legislation, it is important to note the amount of corn consumed by the Mexican population, which implies the need to assess the intake consumed and compare it with the tolerable intake recommended by the FAO and the WHO, which is 2 ng g.

Table 3 presents the results of the statistical analysis, where significant differences are observed ($p < 0.05$) among corn hybrids from the State of Mexico and Morelos with respect to the dimensional weight.

Conclusions

The native corns showed greater weight and density, physical characteristics that impose a longer drying time, so they are suitable for the traditional preparation of tortillas and toasts by the women from the states of Chiapas, Oaxaca and Puebla, who in this way contribute to the family income.

The commercial hybrids evaluated showed a smaller size and density, which means a decrease in drying time for storage and a greater tendency to the increase in soluble phenols, which gives the corn a natural protection from storage pests, major advantages for the food industry.

25% of the corns evaluated met the minimum hectoliter weight requirement established in the quality standard for corn destined to the preparation of tortillas (three of four were native corns).

Rómulo Amaro Gutiérrez, por la facilidad de material vegetal. A la doctora Hilda Victoria Silva Rojas por su asesoría a estudiantes de la UAM- X.

Literatura citada

- Bartholomai, G. B.; Tosi, E. y González, R. 2000. Caracterización de compuestos nutritivos, no nutritivos y calidad proteica. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Editorial Eudeba, Buenos Aires, Argentina. 65-67.
- Cabrera, S. M. L.; Salinas, M. Y.; Velázquez, C. G. y Trujillo, E. E. 2009. Contenido de fenoles solubles e insolubles en las estructuras del grano de maíz y su relación con propiedades físicas. *Agrociencia*. 43(8):827-839.
- Correa, C. E.; Shaver, R. D. and Pereira, M. 2002. Relationship between corn and ruminal in situ starch degradability. *J. Dairy Sci.* 85:3008-3012.
- De La Parra, C.; Serna, S. S. O. and Hai, L. R. 2007. Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortillas, and tortilla chips. *J. Agric. Food Chem.* 55:4177-4183
- De Sinibaldi, A. C. y Bressani, R. 2001. Características de cocimiento por nixtamalización de once variedades de maíz. *Arch. Latinoam. Nutr.* 61:86-94.
- Duarte, A. and Mason, S. C. 2005. Grain quality Brazilian maize genotypes as influenced by nitrógeno level. *Crop Sci.* 45:1958-1964.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2001. Informe de la 33ª reunión del comité del Codex sobre aditivos alimentarios y contaminantes de los alimentos. La Haya, Países Bajos. 12-16 pp.
- Gallardo, R. E.; Ibarra, M. G.; Sánchez, M. R.; Cuamea, C. G.; Molina, G. D.; Parra, V. N. V.; Rosas, B. E y Cortez, R. M. 2006. Micobiota de maíz recién cosechado y producción de fumonisina B1 por cepas de *Fusarium verticillioides*. *Ver. Mex. Fitopatol.* 24(1):27-34.
- George, S.; Brat, P.; Alter, P. and Amiot, M. J. 2005. Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant derived products. *J. Agric. Food. Chem.* 53:1370-1373.
- Grundhofer, P.; Ruth Niemetz; Gerhard Schilling; George Gross. 2001. Biosynthesis and subcellular distribution of hydrolysable tannins. *Phytochemistry*. 57(6):915-927.
- Mauricio, S. R.; Figueroa, J. D. y Taba, S. 2004. Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. *Rev. Fitotec. Mex.* 27:213-222.
- All the corns evaluated had aflatoxins in permitted levels for human consumption, in accordance with the national legislation; the commercial corn hybrids panther, bear and DK2060, from the states of Hidalgo and Morelos, had the highest average content of aflatoxins.

End of the English version



- NMX-FF-034/2-SCFI-2003. Productos alimenticios no industrializados- para uso humano- cereales. Especificaciones y métodos de prueba. 33 p.
- Ojeda, A.; Frías, A. y González, R. 2010. Contenido de taninos, fósforo fítico y actividad de fitasas en el grano de 12 híbridos de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Arch. Lat. Nutr.* 60(1):93-98.
- Peña, B. S. D. y Arias, S. A. D. 2003. Métodos de descontaminación de aflatoxinas en maíz (*Zea mays* L.) naturalmente contaminado. Comunicaciones técnicas. Editorial UAM-X. 24 p.
- Peña, B. S. D. y Calzada, M. M. A. 2008. Calidad física y toxicológica de seis híbridos de maíz comerciales procedentes de los municipios de Tlaxcopan y Tlahuelilpan en el estado de Hidalgo. *Revista de Fundación Hidalgo Produce, Innovando juntos.* 4-10 pp.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (SAGARPA) 2008. Producción de Maíz. Subsecretaría de Agricultura, Ganadería y Forestación. Dirección Nacional de Producción Agropecuaria y Forestal Capital Federal. México, D. F. 9 p.
- Salinas, M. Y.; Saavedra, A. S.; Soria, R. J. y Espinosa, T. E. 2008. Características fisicoquímicas y contenido de carotenoides en maíces (*Zea mays* L.) amarillos cultivados en el Estado de México. *Agric. Téc. Méx.* 34(3):357-364.
- Singh, S. K. and Jonhson, L. A. 2001. Compositional physical and wet milling properties of accession used in germoplasm. *Cereal Chem.* 78:330-335.
- Shirley, B. W. 1996. Flavonoid biosynthesis: "new" functions for an "old" pathway. *Trends Plant Sci.* 1(11):377-382.
- Ventura, P. R. I. 2004. Evaluación nutricional y nutraceutica de la hoja de chaya. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro, México. 106.
- Williams, P.; Windham, G.; Buckley, P. and Daves, C. 2002. Aflatoxin accumulation in conventional and transgenic corn hybrids infested with southwestern corn borer. *J. Agric. Urban Entomol.* 19(4):227-236.
- Wong, R. R.; Gutiérrez, del R. E. and Palomo, G. A. 2007. Combining ability for yield components in grain corn lines at La Comarca Lagunera. *Rev. Fitotec. Mex.* 30(2):181-189.