

INTERACCIÓN GENOTIPO-AMBIENTE EN LA ESTRUCTURA Y CALIDAD DEL NIXTAMAL-TORTILLA DEL GRANO EN HÍBRIDOS DE MAÍZ

GENOTYPE-ENVIRONMENT INTERACTION IN STRUCTURE AND NIXTAMAL-TORTILLA QUALITY OF KERNEL IN MAIZE HYBRIDS

Rosalba Zepeda-Bautista^{2*}, Aquiles Carballo-Carballo¹, Claudia Hernández-Aguilar

¹Genética. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. (rzepeda05@yahoo.com). ²Sepi-Esime, Zacatenco. Unidad Profesional Adolfo López Mateo. Instituto Politécnico Nacional. Colonia Lindavista. 07738. México D. F.

RESUMEN

Los productores de maíz en los Valles Altos Centrales de México demandan variedades con calidad de grano exigida por la industria de la tortilla, y además conocer cómo el ambiente la modifica. Se evaluó la calidad física y componentes estructurales del grano, nixtamal y tortilla en híbridos de maíz (*Zea mays* L.) producto de un programa de mejoramiento genético iniciado en 1998 en el Colegio de Postgraduados (CP). Durante cada ciclo primavera-verano 2004 y 2005 se cultivaron ocho híbridos en el Campus Montecillo del CP, Montecillo, México, en un diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones. Con base en la Norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 y el Laboratorio de Maíz de INIFAP, los híbridos MT-810, MT-1420, MT-131, MT-2223, MT-1415, MT-421, PROMESA y HS-2 reúnen los parámetros para la elaboración de tortillas y productos de maíz nixtamalizado. En 2005, los porcentajes de reflectancia (color) y de endospermo del grano fueron mayores (7.85 %) que en 2004 y (2.82 %). En 2005, en los híbridos MT-810, MT-1420 y MT-1415 aumentó y en MT-131, MT-2223 y HS-2 disminuyó el índice de flotación. Las características climáticas y edáficas del sitio de producción entre años modificaron significativamente ($p \leq 0.05$) los porcentajes de endospermo, germen, pericarpio y pedicelo, y características del nixtamal y tortilla, en diferente proporción, en función de la variedad.

Palabras clave: *Zea mays* L., endospermo, índice de flotación, nixtamalización, Valles Altos.

INTRODUCCIÓN

En México, la tortilla se consume todos los días. En 2005 el consumo por persona fue 121.1 kg año⁻¹ (FAO, 2007). En la región de

ABSTRACT

Maize farmers from the High Central Valleys (high central valleys) of México demand kernel varieties of quality to meet the expectations of the tortilla industry, as well as knowing the effect of the environment on this crop. An evaluation was made of the physical quality and structural components of kernel, nixtamal and tortilla in corn hybrids (*Zea mays* L.) resulting from a genetic improvement program launched in 1998 at the Colegio de Postgraduados (CP). During each spring-summer cycle of 2004 and 2005 eight hybrids were cultivated at the CP Montecillo Campus, in Montecillo, México, in a completely randomized block design with two repetitions. On the basis of the Norm NMX-FF-034/1-SCFI-2002 and the assessment made by the INIFAP Corn Laboratory, the hybrids MT-810, MT-1420, MT-131, MT-2223, MT-1415, MT-421, PROMESA and HS-2 meet the parameters for the preparation of tortillas and nixtamalized corn products. In 2005, the percentages of reflectance (color) and grain endosperm were higher (7.85 %) than in 2004 (2.82 %). In 2005, the flotation index rose in hybrids MT-810, MT-1420 and MT-1415, and dropped in MT-131, MT-2223 and HS-2. The climate and edaphic characteristics of the production site among years significantly modified ($p \leq 0.05$) the percentages of endosperm, germ, pericarp and pedicel, as well as the characteristics of nixtamal and tortillas, in different proportions in terms of variety.

Key words: *Zea mays* L., endosperm, flotation index, nixtamalization, High Valleys.

INTRODUCTION

In México, tortillas are consumed daily. In 2005 consumption was 121.1 kg year⁻¹ per person (FAO, 2007). In the High Central Valleys (high central valleys) of México, located in the states of México, Tlaxcala, Puebla, Hidalgo and México City,

*Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: Mayo, 2008. Aprobado: Enero, 2009.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 43: 695-706. 2009.

Valles Altos Centrales de México, ubicada en los estados de México, Tlaxcala, Puebla, Hidalgo y Distrito Federal, existe un consumo potencial de tortilla, ya sea a partir de masa fresca o harina de maíz nixtamalizado, de 3.2 millones t anuales al considerar una población superior a los 26.7 millones de habitantes con edad igual o mayor a los ocho años (INEGI, 2007). Para satisfacer la demanda se requieren 2.16 millones t anuales de materia prima para la industria molinera y harina de maíz nixtamalizado, así como para hacer tortillas para autoconsumo.

La demanda de grano es abastecida con variedades criollas y mejoradas (híbridos y variedades de polinización libre), tanto locales como del interior de la República, y se complementa con grano de importación que mayormente no cumple con los requisitos de calidad nixtamalera-tortillera y harinera exigidos por los industriales de la tortilla (Salinas y Pérez, 1997); en consecuencia, se ofrece al consumidor una tortilla carente de calidad. Al respecto Herrera-Corredor *et al.* (2007), al evaluar la calidad sensorial de 10 tipos de tortillas en Texcoco, México, observaron que los consumidores prefieren las tortillas con olor y sabor agradable que no se rompan al hacer el taco; asimismo, las tortillas de marca comercial fueron las menos preferidas por el consumidor. Los productores de maíz de Valles Altos Centrales tienen problemas para comercializar el grano por la falta de calidad y porque algunos maíces producen masa y tortilla grises que afectan su aceptación por el consumidor (Salinas-Moreno *et al.*, 2007). Por tanto son afectados por los descuentos y en ocasiones rechazos de la materia prima, principalmente por el color cremoso del grano. Una alternativa es sembrar cerca de 1.46 millones ha con maíz para grano en la región de Valles Altos Centrales de México (SIAP, 2007), con semilla de variedades mejoradas con características de calidad del grano exigida por la industria de la masa y la tortilla.

En México, como parte de un programa de mejoramiento genético, Leyva (2002) desarrolló una estrategia para seleccionar cruza simples con caracteres agronómicos y de calidad asociados con el proceso de nixtamalización, e identificó cruza simples experimentales con atributos de calidad de grano atractivos para la industria de harina de maíz nixtamalizado. Asimismo, Zepeda *et al.* (2007) indicaron que los híbridos CS3*4, CS3*9 y CS2*5 satisfacen los requerimientos de la industria molinera-tortillera, y CS3*9 y CS2*10 los de la industria harinera. El Instituto

the potential consumption of tortilla -fresh masa or nixtamalized corn flour- amounts to 3.2 million t per year for a population of more than 26.7 million inhabitants of eight or more years old (INEGI, 2007). To meet the demand 2.16 million t per year of raw material are required for the mill and nixtamalized corn flour industry, and the production of tortillas for self consumption.

Corn demand is met with local and improved varieties (hybrids and varieties of free pollination), both local and from the interior of the country; it is supplemented with imported corn that usually fails to fulfill the nixtamal-tortilla and flour quality requirements demanded by the tortilla industry (Salinas and Pérez, 1997); which leads to the offer of a poor quality product. On this respect, Herrera-Corredor *et al.* (2007), in their evaluation of the quality of 10 types of tortillas in Texcoco, México, observed that consumers prefer tortillas having a nice smell and taste that do not break when preparing tacos; also commercial brand tortillas were the least popular among consumers. Corn farmers of the High Central Valleys have marketing problems due to poor quality grain and the fact that some corn varieties produce grey masa and tortillas that are not well accepted by consumers (Salinas-Moreno *et al.*, 2007). Therefore the rejection of the product is one of the factors affecting farmers, mainly due to the creamy color of the kernel. An alternative is sowing nearly 1.46 million ha with maize for grain in the region of High Central Valleys of México (SIAP, 2007), with improved seed varieties to meet the standards required by the corn masa and tortilla industry.

In México, as part of a genetic improvement programme, Leyva (2002) developed a strategy to select simple crosses with agronomic and quality characteristics associated with the process of nixtamalization. He identified experimental simple crosses of grain quality appealing to the nixtamalized corn flour industry. In addition, Zepeda *et al.* (2007) found out that hybrids CS3*4, CS3*9 and CS2*5 meet the requirements of the milling-tortilla industry, and CS3*9 and CS2*10 those of the flour industry. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) has assessed the nixtamal-tortilla quality of the hybrids created by this institution in order to identify those meeting the requirements of this industry (Salinas and Vázquez, 2003)³.

Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha evaluado la calidad nixtamalera-tortillera de los híbridos generados por el propio Instituto, para identificar los que reúnen los atributos para la industria (Salinas y Vázquez, 2003)³.

La composición química y la estructura del grano de maíz influyen sobre el proceso de nixtamalización, y la calidad de la tortilla y de la harina de maíz nixtamalizado. Al evaluar las propiedades físicas y químicas del grano de maíces criollos y sus retrocruzas, Vázquez *et al.* (2003) encontraron variación en sus características; en la nixtamalización, los maíces con mayor índice de flotación fueron los de mayor humedad de nixtamal. Además, Salinas-Moreno *et al.* (2007) al evaluar dos grupos de variedades, uno que oscurece la masa y la tortilla y otro que no, observaron que las que oscurecen tuvieron mayor contenido de fenoles libres y totales en el endospermo en grano crudo que las que no oscurecen, al igual que en la masa y tortilla.

La disponibilidad de agua y nutrientes, así como las condiciones climáticas, modifican la estructura y composición del grano de maíz. En cinco variedades cultivadas en un suelo arcilloso con pH 5.2, materia orgánica 5.1 g kg⁻¹ y 0.54 g kg⁻¹ de N se observó que la aplicación de N al suelo (30 a 60 kg ha⁻¹) causó mayor porcentaje de granos flotantes en los cultivares 8644-27 y TZPB-SR que en SPL y TZB-SR, debido a un cambio en la proporción de endospermo harinoso (Oikeh *et al.*, 1998). Asimismo, Zepeda *et al.* (2007) en 10 híbridos de maíz observaron que la fertilización de 300 kg N ha⁻¹ incrementó los porcentajes de pericarpio, germen y pérdida de sólidos en 6.2, 5.0 y 2.4, pero disminuyó el índice de flotación, el pericarpio retenido y el color del grano (reflectancia) en 10.0, 9.4 y 2.2 %, e indirectamente favoreció el color blanco de la masa y la tortilla; en cinco híbridos se observó una reducción en el índice de flotación, mientras que los híbridos CS2*10, CS6*5, y CS6*4 no mostraron ningún cambio. Zepeda *et al.* (2009) también reportaron que con la aplicación de 225 kg N ha⁻¹ se redujo el porcentaje de endospermo harinoso en el híbrido CS3*9 (33.77 %); en CS3*4, CS10*3 y CS4*9 se redujo 25 a 21 % con 300 kg N ha⁻¹ respecto a 150 kg N ha⁻¹.

The corn grain chemical composition and structure influence the process of nixtamalization, and the quality of the tortilla and nixtamalized corn flour. On evaluating the physical and chemical properties of local corn varieties and their backcrosses, Vázquez *et al.* (2003) found out differences in their characteristics; in nixtamalization, the corn varieties with the highest index of flotation were those of greater nixtamal humidity. Salinas-Moreno *et al.* (2007), in their evaluation of two groups of varieties -one darkens the masa and tortilla and the other does not - observed that the former had a higher content of free and total phenols in the endosperm in raw grain than the latter, as well as in the masa and tortillas.

The availability of water and nutrients, as well as climate conditions, modifies the structure and composition of corn grain. In five varieties cultivated on a clayey soil with pH 5.2, organic matter 5.1 g kg⁻¹ and 0.54 g kg⁻¹ of N, the application of N to soil (30 to 60 kg ha⁻¹) led to a higher percentage of floating grains in the 8644-27 and TZPB-SR cultivars than in SPL and TZB-SR due to a change in the proportion of floury endosperm (Oikeh *et al.*, 1998). Also Zepeda *et al.* (2007) observed that in 10 corn hybrids the fertilization of 300 kg N ha⁻¹ increased the percentages of pericarp, germ and loss of solids by 6.2, 5.0 and 2.4, but the flotation index, the retained pericarp and grain color (reflectance) diminished by 10.0, 9.4 and 2.2 %, and indirectly favored the white color of the masa and tortillas. Five hybrids showed a reduction of the flotation index, while hybrids CS2*10, CS6*5, and CS6*4 remained unchanged. Zepeda *et al.* (2009) also reported that by applying 225 kg N ha⁻¹ the percentage of floury endosperm dropped in hybrid CS3*9 (33.77 %); in CS3*4, CS10*3 and CS4*9 it fell from 25 to 21 % with 300 kg N ha⁻¹ compared to an application of 150 kg N ha⁻¹.

To control the commercial quality of white corn grain for human consumption to prepare tortillas and nixtamalized corn products, the Mexican Norm NMX-FF-034/1-SCFI-2002 stipulates: 1) an hectolitic weight above 74 kg Hl⁻¹; 2) nixtamal humidity between 36 and 42 %; 3) flotation index: 40 % at the most; 4) remaining pericarp: above 2 %;

³Salinas M., Y. y Vázquez C., G. 2003. Calidad de maíz para las industrias molinero-tortillera y de harinas nixtamalizadas. In: Díaz G., L. T., R. Espitia E., y V. Magallanes J., (eds). 60 Años de Investigación al Servicio de México 1943-2003-Campo Experimental Valle de México. Texcoco, Estado de México, México. 95 p. (Memoria Técnica No. 6).

Para controlar la calidad comercial del grano de maíz blanco de consumo humano, para la elaboración de tortilla y productos de maíz nixtamalizado, la Norma Mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002 establece: 1) peso hectolítrico superior a 74 kg Hl⁻¹; 2) humedad de nixtamal entre 36 y 42 %; 3) índice de flotación: máximo 40 %; 4) pericarpio remanente: mayor a 2 %; 5) pérdida de sólidos: máximo 5 %; 6) grano blanco con porcentaje de reflectancia > 70. Asimismo, el Laboratorio de Maíz del INIFAP (Salinas y Vázquez, 2003)³ propone parámetros de componentes estructurales del grano: porcentajes de pedicelo, máximo 2; pericarpio, máximo 5.5; germen, máximo 13; endospermo harinoso, mínimo 30; endospermo córneo, máximo 48.

Para aumentar la competitividad de los productos de maíz en los Valles Altos Centrales de México, a través de variedades con calidad de grano para la industria de la tortilla, se ha desarrollado de 1998 a 2007 un programa de mejoramiento genético, y en la etapa final se planteó: 1) evaluar la calidad física y componentes estructurales del grano, nixtamal y tortilla; 2) definir qué híbridos reúnen los requerimientos para la industria de la tortilla; 3) evaluar el efecto del ambiente sobre la calidad física, estructural y del nixtamal-tortilla del grano. Las hipótesis fueron: 1) en un programa de mejoramiento genético, la selección apoyada con criterios de calidad para la industria de la tortilla dará híbridos que satisfacen los requerimientos; 2) las condiciones agroclimáticas modifican las características del grano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se efectuó en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México (19° 29' N, 98° 53' O y 2250 m de altitud), caracterizado por un clima subhúmedo con lluvias en verano (C(w)(w)b(i)); precipitación media anual de 625 mm y temperatura media anual de 15.1 °C (García, 1987). Las determinaciones de las características físicas y estructurales, y calidad del nixtamal-tortilla del grano, se hicieron en el Laboratorio de Maíz del INIFAP, Chapingo, México. Se usaron ocho híbridos adaptados a la región de Valles Altos Centrales de México, con diferentes días a floración masculina, producto de un programa de mejoramiento genético dirigido a la calidad de grano para la industria de la tortilla, iniciado en 1998, en el Área de Mejoramiento y Control de la Calidad Genética del Programa en Producción de Semillas del Colegio de Postgraduados.

Durante cada ciclo agrícola primavera-verano 2004 y 2005, en suelo franco arcillo arenoso con pH 7.8, se estableció un lote

5) loss of solids: 5 % at the most; 6) white grain with a reflectance percentage > 70. Also the INIFAP Maize Laboratory (Salinas and Vázquez, 2003)³ proposes parameters of the grain structural components: pedicel percentages, 2 at the most; pericarp, 5.5 at the most; germ, 13 at the most; floury endosperm, 30 at least; horny endosperm, 48 maximum.

To increase the competitiveness of corn products in the High Central Valleys of México through varieties of grain quality for the tortilla industry, an improvement genetic program was developed from 1998 to 2007, and in the final stage the proposal was the following: 1) to evaluate the physical quality and structural components of grain, nixtamal and tortilla; 2) to define which hybrids meet the requirements of the tortilla industry; 3) to assess the effect of environment on the grain physical, structural and nixtamal-tortilla quality. The hypotheses were: 1) in a genetic improvement program, the selection supported by quality criteria for the tortilla industry will produce hybrids that will meet the industry requirements; 2) agroclimatic conditions modify grain characteristics.

MATERIALS AND METHODS

The study was carried out at the Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, State of México (19° 29' N, 98° 53' W and 2250 m height), with a subhumid climate and summer rains (C(w)(w)b(i)); an annual mean precipitation of 625 mm and annual mean temperature of 15.1 °C (García, 1987). The grain physical and structural characteristics and nixtamal-tortilla quality were studied at the INIFAP Maize Laboratory, in Chapingo, México. Eight hybrids adapted to the region of the High Central Valleys of México were used, with different days of male flowering, resulting from a genetic improvement program targeted to the grain quality for the tortilla industry, launched in 1998 at the Área de Mejoramiento y Control de la Calidad Genética del Programa en Producción de Semillas (Area of Improvement and Control of the Genetic Quality of the Program for Seed Production) of the Colegio de Postgraduados.

During each spring-summer agricultural cycle in 2004 and 2005, in loam clayey sandy soil with a 7.8 pH, a plot was set up for evaluation with eight hybrids following a design of completely randomized blocks with two repetitions. The experimental unit had four furrows of 4.5 m long and 0.80 m wide (14.4 m²). Sowing was carried out on April 26 and 19 of 2004 and 2005, with a population density of 50,000 plants ha⁻¹. The fertilization formula was 160N-60P-80K with urea, calcium triple superphosphate and potassium nitrate as sources of N, P and

de evaluación con ocho híbridos en un diseño de bloques completos al azar, con dos repeticiones. La unidad experimental tuvo cuatro surcos de 4.5 m de largo y 0.80 m de ancho (14.4 m²). La siembra se hizo el 26 y 19 de abril de 2004 y 2005, a una densidad de población de 50 000 plantas ha⁻¹. La fórmula de fertilización fue 160N-60P-80K con urea, superfosfato de calcio triple y nitrato de potasio como fuentes de N, P y K. El lote se mantuvo sin malezas y con riego por gravedad durante el ciclo de cultivo. En la cosecha se tomaron las mazorcas de la parcela útil, se desgranaron y limpiaron manualmente cuando tuvieron 12 % de humedad. Se tomó una muestra aleatoria de 500 g para la evaluación en laboratorio.

Se analizaron: 1) rendimiento de grano (REN): de cada parcela útil se tomó el peso de grano ajustado a 15 % de humedad y se expresó en t ha⁻¹; 2) peso hectolítrico (PH); 3) índice de flotación (IF). Los porcentajes de pedicelo (PE), pericarpio (PR) y germen (GE) en grano se obtuvieron con la técnica de textura por disección (Salinas y Vázquez, 2006). El porcentaje de endospermo (END) se calculó por diferencia.

Para la nixtamalización de cada muestra se mezclaron 100 g de grano, 1 g de hidróxido de calcio y 200 mL de agua destilada; la mezcla se calentó a 92 °C en un extractor de fibra modificado para evitar la pérdida de agua por evaporación durante el cocimiento. El tiempo óptimo de cocimiento se calculó en función de la dureza de grano; el grano nixtamalizado se dejó reposar 18 h con el recipiente tapado; se lavó y se molió en un molino de piedras para obtener la masa; se hicieron las tortillas con una tortilladora manual y se cocieron en un comal. Las variables fueron: 1) humedad de nixtamal (HN) y tortilla (HT); 2) pérdida de sólidos (PS), obtenido del peso seco de los residuos expresado en porcentaje, se evaporó el nejayote y el agua de lavado; 3) pericarpio retenido (PRT) mediante el método gravimétrico (en 10 granos nixtamalizados y lavados), los resultados se expresaron en porcentaje con base en el total de pericarpio en una muestra de 25 granos; 4) rendimiento de masa (RM) y tortilla fría (RTF) calculados con base en la relación entre peso total de masa y tortilla fría (g) obtenidos por cada 100 g de maíz, dividido entre 100; 5) color de grano (CG) y de tortilla (CT) se midieron con el equipo Agtron modelo M-500A y se expresaron como porcentaje de reflectancia (Salinas y Vázquez, 2006).

Se usó un análisis de varianza combinado mediante el procedimiento GLM (SAS, 1989) y para los datos con cuadrados medios significativos se usó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre híbridos (Cuadro 1) en características físicas,

K. The plot was kept without weeds and with gravity irrigation during cultivation. During harvest the corncobs from the useful plot were collected and the grains removed and manually cleaned when they had 12% humidity. A random sample of 500 g was taken for laboratory evaluation.

An analysis was made of: 1) grain yield (REN); in each useful plot the grain weight adjusted to 15% humidity was registered and expressed in t ha⁻¹; 2) hectolitic weight (PH); 3) flotation index (IF). The percentages of pedicel (PE), pericarp (PR) and germ (GE) in grain were obtained by using the dissection texture technique (Salinas and Vázquez, 2006). The percentage of endosperm (END) was calculated by difference.

For the nixtamalization of each sample, 100 g of grain, 1 g of calcium hydroxide and 200 mL of distilled water were mixed. The mixture was heated at 92 °C in a fiber extractor modified to prevent water loss from evaporation during cooking. The optimum time for cooking was calculated in terms of grain hardness; nixtamalized grain was let to stand for 18 h in a container with the lid on; then it was washed and ground in a stone mill to prepare the masa; the tortillas were made with a manual tortilladora and cooked on a comal. The variables were: 1) nixtamal humidity (HN) and tortilla humidity (HT); 2) loss of solids (PS) derived from the dry weight of residues expressed in percentage, the nejayote and washing water evaporated; 3) the pericarp retained (PRT) through the gravimetric method (in 10 nixtamalized and washed grains), the results were expressed in percentages based on the whole pericarp of a 25-grain sample; 4) masa yield (RM) and cold tortilla (RTF) calculated on the basis of the relationship between the total weight of the masa and cold tortilla (g) obtained for every 100 g of corn divided by 100; 5) the grain color (CG) and that of tortilla color (CT) were evaluated by using Agtron M-500A model and expressed as percentages of reflectance (Salinas and Vázquez, 2006).

A variance analysis was used combined with the GLM procedure (SAS, 1989), and for the data with significant average squares the mean multiple comparison Tukey test was applied ($p \leq 0.05$).

RESULTS AND DISCUSSION

Significant differences were observed ($p \leq 0.01$) among hybrids (Table 1) regarding physical characteristics, structural components and grain nixtamal-tortilla quality; that is, there was genetic variability among them, similar to the results obtained by Zepeda *et al.* (2007) and Vázquez *et al.* (2003). Comparing years, there were also important differences ($p \leq 0.01$) (Table 1) in hectolitic weight, color and structural components of grain, indicating that at least one characteristic was different from

componentes estructurales y de calidad nixtamal-tortilla del grano, es decir, hubo variabilidad genética entre ellos, un resultado similar a lo observado por Zepeda *et al.* (2007) y Vázquez *et al.* (2003). Entre años, también hubo diferencias significativas ($p \leq 0.01$) (Cuadro 1) en peso hectolítrico, color y componentes estructurales del grano, lo cual indica que por lo menos una característica fue diferente de un año al otro debido a la diferencia en temperatura y distribución de la precipitación (Figura 1). Asimismo, la interacción genotipo $\times$ ambiente ($H \times A$) fue significativa ($p \leq 0.01$) para la mayoría de las variables (Cuadro 1), pero para rendimiento de tortilla fría un híbrido respondió diferente a los ambientes debido a sus características genéticas particulares y por su respuesta en cada año agrícola. Zepeda *et al.* (2007) también observaron significancia en la interacción genotipo $\times$ ambiente, al evaluar el índice de flotación del grano en 10 genotipos de maíz en dos ambientes.

Rendimiento y características físicas del grano

En 88 % de los híbridos se obtuvo rendimiento de grano superior a 8 t ha⁻¹; sólo en MT-2223 fue

one year to another due to temperature differences and rainfall distribution (Figure 1). Also there was a major genotype-environment ($H \times A$) interaction ($p \leq 0.01$) in most variables (Table 1), but there was not to the cold tortilla yield; then one hybrid responded differently to environments due to its particular genetic characteristics and response in each agricultural year. Zepeda *et al.* (2007) also observed an important genotype-environment interaction when evaluating the grain flotation index in 10 corn genotypes in two environments.

Grain yield and physical characteristics

In 88 % of hybrids the grain yield obtained was above 8 t ha⁻¹; it was lower only in MT-2223 (Table 2) due to its origin of tropical genetic material requiring a higher average temperature than that of Montecillo, México. However, hybrid MT-2223 presented 47 % of retained pericarp (Table 4), a condition that favors viscosity and adhesiveness of the masa and tortilla (Martínez-Bustos *et al.*, 2001) and can contribute to improve human health by including fiber in the diet. The grain yield of each hybrid is cost-effective and above the national mean

Cuadro 1. Cuadrados medios y significancia estadística para rendimiento y características físicas, estructurales y de calidad nixtamal-tortilla del grano en híbridos de maíz. Montecillo, México. 2004 y 2005.

Table 1. Mean squares and statistical significance of yield and physical, structural and nixtamal-tortilla quality characteristics of grain in maize hybrids. Montecillo, México, 2004 and 2005.

F. V.	Repeticiones	Híbridos (H)	Años (A)	$H \times A$	Error	R ²	C.V. (%)
G. L.	1	7	1	7	15		
REN	0.33	8.34 [†]	1.95	1.65 [†]	0.95	0.83	10.45
PH	0.01	11.17 [†]	16.96 [†]	5.57 [†]	0.14	0.98	0.48
IF	0.01	367.72 [†]	3.83	108.01 [†]	2.54	0.98	7.66
CG	0.09	14.41 [†]	57.48 [†]	12.51 [†]	0.23	0.98	1.36
PE	0.45 [†]	0.47 [†]	0.83 [†]	0.17 [‡]	0.06	0.85	7.36
PR	0.002	3.29 [†]	7.49 [†]	0.77 [†]	0.06	0.97	3.75
GE	0.02	3.54 [†]	22.36 [†]	2.08 [†]	0.06	0.98	2.68
END	0.002	5.72 [†]	27.10 [†]	0.85 [†]	0.09	0.98	0.46
HN	0.02	8.73 [†]	44.83 [†]	2.18 [†]	0.44	0.94	2.52
PS	0.03	2.54 [†]	0.02	0.53 [†]	0.02	0.99	1.91
PRT	0.99	99.97 [†]	18.63 [‡]	38.23 [†]	3.60	0.94	8.86
CT	4.41 [‡]	21.05 [†]	84.33 [†]	24.83 [†]	0.78	0.97	1.41
RTF	0.01	0.07 [†]	0.01	0.01	0.01	0.87	4.89

^{†,‡} $p \leq 0.01$ y $p \leq 0.05$; REN=rendimiento de grano; PH=peso hectolítrico; IF=índice de flotación; CG y CT=color de grano y tortilla (porcentaje de reflectancia); PE=porcentaje de pedicelo; PR=porcentaje de pericarpio; GE=porcentaje de germen; END=porcentaje de endospermo; HN=humedad de nixtamal; PS=perdida de sólidos; PRT=pericarpio retenido. ^{‡,§} $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$; REN= grain yield; PH= hectolitic weight; IF=floatation index; CG and CT=grain and tortilla color (percentage of reflectance); PE=percentage of pedicel; PR=percentage of pericarp; GE=percentage of germ; END=percentage of endosperm; HN=nixtamal humidity; PS=loss of solids; PRT=retained pericarp.

inferior (Cuadro 2) por su origen de material genético tropical, que requiere mayor temperatura promedio que la de Montecillo, México; sin embargo el híbrido MT-2223 presentó 47 % de pericarpio retenido (Cuadro 4), condición que favorece la viscosidad y adhesividad de la masa y tortilla (Martínez-Bustos *et al.*, 2001) y puede contribuir a mejorar la salud humana mediante la inclusión de fibra en la dieta. El rendimiento de grano de cada híbrido es rentable y superior a la media nacional (2.6 t ha^{-1}) (SIAP, 2007), por lo que pueden ser una alternativa para aumentar los ingresos de los productores de maíz en Valles Altos Centrales de México.

En los híbridos, el peso hectolítrico (PH) fue mayor a 74 kg HI^{-1} e índice de flotación (IF) entre 10 y 46 % (Cuadro 2), lo que indica grano cristalino, semicristalino y dentado, con color de grano (CG) blanco y con porcentaje de reflectancia <70. Los híbridos MT-810 y MT-421 y PROMESA presentaron un índice de flotación entre 10 y 13 % (Cuadro 2), pero MT-421 es excelente para elaborar harina de maíz nixtamalizado. Esto coincide con lo señalado por Zepeda *et al.* (2007) al evaluar la calidad del grano y nixtamal-tortilla de híbridos para Valles Altos Centrales de México. Respecto al color del grano, todos los híbridos tuvieron una reflectancia < 70 % pero las tortillas elaboradas con ellos fueron blancas con reflectancia > 70 % (Cuadro 4). Esto se debe a que el color de la tortilla no sólo está determinado por el color del grano sino por factores relacionados

(2.6 t ha^{-1}) (SIAP, 2007), so they can turn out to be a convenient alternative for corn producers of the High Central Valleys of México.

In hybrids, the hectolitic weight (PH) was higher than 74 kg HI^{-1} and the flotation index (IF) ranged from 10 to 46 % (Table 2), which indicates the presence of a crystalline, semicrystalline and dent grain of white color (CG) and percentage of reflectance <70.

Hybrids MT-810, MT-421 and PROMESA showed a flotation index between 10 and 13 % (Table 2), but MT-421 is excellent to prepare nixtamalized corn flour. This agrees with Zepeda *et al.* (2007) when they evaluated grain and nixtamal-tortilla quality in the High Central Valleys of México. Regarding the grain color, all hybrids recorded a reflectance <70 %, but the tortillas prepared with them were white with a reflectance > 70 % (Table 4). This is because the tortilla color is determined not only by the tortilla color but also by factors associated with the nixtamalization process (concentration of lime and time of cooking and rest), the grain chemical composition (Salinas-Moreno *et al.*, 2007) and environmental factors like nitrogen fertilization (Zepeda *et al.*, 2007).

Cuadro 2. Promedio del rendimiento y características físicas del grano en híbridos de maíz. Montecillo, México en 2004 y 2005.

Table 2. Yield average and physical characteristics of grain in maize hybrids. Montecillo, México, 2004 and 2005.

Híbrido	REN (t ha^{-1})	PH (kg HI^{-1})	IF (%)	CG (%)
MT-810	9.02ab	79.93a	12.25c	58.25d
MT-1420	9.07ab	77.50cd	32.25b	64.00b
MT-131	9.67ab	76.38e	33.00b	58.50cd
MT-2223	6.53c	76.60de	41.75a	60.50c
MT-1415	10.64ab	78.70b	46.50a	66.50a
MT-421	8.74bc	80.70a	12.75c	58.75cd
PROMESA	9.30ab	80.25a	10.00c	57.75d
HS-2	11.23a	77.83bc	29.50b	58.50cd
DSH	2.24	0.93	5.16	2.03
NMX-034 (2002)		> 74	≤40	> 70

Medias con distinta letra en cada columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$); DSH=diferencia significativa honesta; REN=rendimiento de grano; PH=peso hectolítrico; IF=índice de flotación; CG=color de grano (% de reflectancia); NMX=norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 ♦ Mean values with different letter in each column are statistically different ($p \leq 0.05$); DSH=honest significant difference; REN=grain yield; PH= hectolitic weight; IF=flotation index; CG=grain color (% of reflectance); NMX=norm NMX-FF-034/1-SCFI-2002.

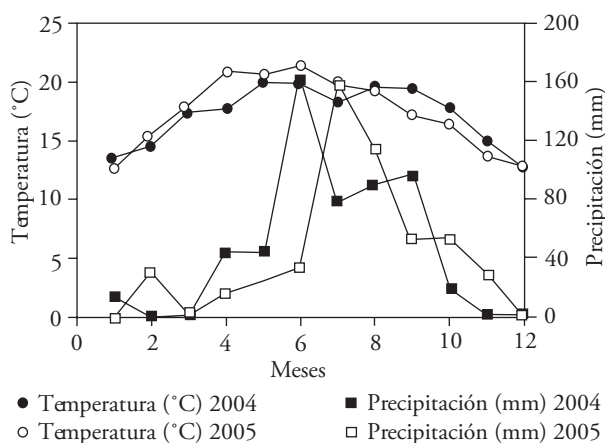


Figura 1. Temperatura y precipitación durante 2004 y 2005 (Estación Meteorológica del Colegio de Postgraduados, Montecillo, México).

Figure 1. Temperature and precipitation in 2004 and 2005 (Meteorological station of the Colegio de Postgraduados, Montecillo, México).

Cuadro 3. Componentes estructurales (%) del grano en híbridos de maíz. Montecillo, México. 2004 y 2005.**Table 3. Structural components (%) of grain in maize hybrids. Montecillo, México, 2004 and 2005.**

Híbrido	PE (%)	PR (%)	GE (%)	END (%)
MT-810	1.06bc	5.87b	8.74c	84.32bc
MT-1420	1.21abc	4.70d	8.88c	85.20ab
MT-131	1.37a	5.10cd	9.95b	83.57cd
MT-2223	1.27ab	6.60a	11.00a	81.12f
MT-1415	1.17abc	4.20e	8.89c	85.72a
MT-421	1.03c	5.04cd	9.14c	84.79ab
PROMESA	1.32a	5.32cd	10.82a	82.52e
HS-2	1.32a	5.12cd	10.57ab	82.97de
DSH	0.22	0.48	0.64	0.96
LM-INIFAP	≤2	≤5.5	≤13	78

Medias con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$); DSH=diferencia significativa honesta; PE=porcentaje de pedicelo; PR=porcentaje de pericarpio; GE=porcentaje de germen; END=porcentaje de endospermo; LM-INIFAP=laboratorio de maíz- INIFAP (Salinas y Vázquez, 2003)³. ♦ Mean values with a different letter in each column are statistically different ($p \leq 0.05$); DSH=honest significant difference; PE=pedicel percentage; PR=pericarp percentage; GE=germ percentage; END=endosperm percentage; LM-INIFAP=Maize Laboratory- INIFAP (Salinas and Vázquez, 2003)³.

con el proceso de nixtamalización (concentración de cal y tiempo de cocción y reposo), composición química del grano (Salinas-Moreno *et al.*, 2007) y

Grain structural components

In hybrids, the percentages of grain pedicel and germ were below 2 and 13 %, respectively, while MT-810 and MT-2223 presented values above 5.5 % of pericarp; the percentage of endosperm was higher than 78 % (Table 3). That is, there was a difference among the structural components of hybrids, as observed also by Zepeda *et al.* (2007) in corn simple crosses.

Nixtamal-tortilla quality

Among genotypes, nixtamal humidity ranged between 42 and 49 % and the retained pericarp between 24 and 46 %; while the loss of solids was <5 % and the tortilla reflectance > 70 %. The MT-810, MT-2223 and HS-2 hybrids recorded a higher yield of masa and cold tortilla (Table 4) due to a higher content of nixtamal humidity. In other words, of 1 kg of corn grain it is possible to obtain on average 2 kg of masa and ≤1.5 kg of cold tortilla. Hybrids registered between 24 and 47 % of retained pericarp; 50 % of hybrids have a yield of cold tortilla ≥1.5 (Table 4). These values are within the interval observed in the commercial and local varieties cultivated in the High Central Valleys of México (1.3) (Salinas and Vázquez, 2003)³.

Cuadro 4. Promedio de la calidad de nixtamal-tortilla en híbridos de maíz. Montecillo, México. 2004 y 2005.**Table 4. Average of nixtamal-tortilla quality in maize hybrids. Montecillo, México, 2004 and 2005.**

Híbrido	HN (%)	HT (%)	PS (%)	PRT (%)	CT (%)	RM	RTF
MT-810	47.69ab	45.84a	3.48c	34.05b	83.50b	1.94bc	1.48bc
MT-1420	44.80cd	44.60a	2.72f	33.02b	87.25a	1.87bc	1.39cd
MT-131	47.72ab	45.92a	3.17d	38.87ab	76.50d	2.05ab	1.60ab
MT-2223	49.60a	46.45a	2.90e	46.62a	81.25bc	2.18a	1.73a
MT-1415	42.77d	44.25a	2.75ef	42.42a	83.00b	1.89bc	1.39cd
MT-421	42.56d	37.90b	3.70c	24.37c	82.00bc	1.80c	1.29d
PROMESA	45.85bc	43.62a	4.17a	24.47c	79.75c	1.95abc	1.50bc
HS-2	47.90ab	45.80a	3.27d	40.65ab	81.75bc	1.90bc	1.50bc
DHS	2.87	3.48	0.15	7.79	2.85	0.24	0.18
NMX-034 (2002)	36-42		≤5	≤2	>70		1.5

Medias con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$); DSH=diferencia significativa honesta; HN=humedad de nixtamal; HT=humedad de tortilla; PS=perdida de sólidos; PRT=pericarpio retenido; CT=color de tortilla (% de reflectancia); RM=rendimiento de masa; RTF=rendimiento de tortilla fría; NMX=norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 ♦ Mean values with a different letter in each column are statistically different ($p \leq 0.05$); DSH=honest significant difference; HN=nixtamal humidity; HT=tortilla humidity; PS=loss of solids; PRT=retained pericarp; CT=tortilla color (% of reflectance); RM=masa yield; RTF=cold tortilla yield; NMX=norm NMX-FF-034/1-SCFI-2002.

factores ambientales como la fertilización nitrogenada (Zepeda *et al.*, 2007).

Componentes estructurales del grano

En los híbridos, los porcentajes de pedicelo y germen del grano fueron menores a 2 y 13 %, respectivamente, mientras que MT-810 y MT-2223 presentaron valores superiores a 5.5 % de pericarpio los porcentajes de endospermo fueron superiores a 78 % (Cuadro 3). Es decir, hubo diferencia entre los componentes estructurales de los híbridos lo cual también fue observado por Zepeda *et al.* (2007) en cruzas simples de maíz.

Calidad nixtamal-tortilla

Entre genotipos, la humedad del nixtamal estuvo entre 42 y 49 % y el pericarpio retenido entre 24 y 46 %; mientras que la pérdida de sólidos fue < 5 % y la reflectancia de la tortilla fue > 70 %. Los híbridos MT-810, MT-2223 y HS-2 tuvieron mayor rendimiento de masa y tortilla fría (Cuadro 4) debido a un mayor contenido de humedad de nixtamal. Es decir, de 1 kg de grano de maíz se obtienen en promedio 2 kg de masa y ≤ 1.5 kg de tortilla fría. Los híbridos presentaron entre 24 y 47 % de pericarpio retenido. El 50 % de los híbridos tiene rendimiento de tortilla fría ≥ 1.5 (Cuadro 4). Estos valores están dentro del intervalo observado en las variedades comerciales y criollas cultivadas en los Valles Altos Centrales de México (1.3) (Salinas y Vázquez, 2003)³.

Las características físicas y variables de nixtamalización presentadas por los híbridos MT-810, MT-1420, MT-131, MT-2223, MT-1415, MT-421, PROMESA y HS-2 están dentro de los intervalos establecidos en la NMX-FF-034/1-SCFI-2002, así como los componentes estructurales del grano propuestos por el laboratorio de maíz del INIFAP para la elaboración de tortillas y productos de maíz nixtamalizado.

Efecto del ambiente

El rendimiento de grano no fue diferente ($p \geq 0.05$) entre años porque se sembró en el mismo terreno y condiciones agroclimáticas (Cuadro 5). El peso hectolítrico y color de grano fueron mayores en 2005 (1.87 % y 7.85 %) que en 2004 (Cuadro 5), lo

The physical characteristics and nixtamalization variables presented by hybrids MT-810, MT-1420, MT-131, MT-2223, MT-1415, MT-421, PROMESA and HS-2 are within the intervals established in the NMX-FF-034/1-SCFI-2002, as well as the grain structural components proposed by the INIFAP maize Laboratory for the preparation of tortillas and nixtamalized corn products.

Environment effect

Grain yield was not significantly different ($p > 0.05$) among years since sowing was made in the same area and agroclimatic conditions (Table 5). Grain hectolitic weight and color were higher in 2005 (1.87 % and 7.85 % respectively) than in 2004 (Table 5), indicating that grain was heavier because there were more nutrients available in the soil during the period of floral differentiation, flowering and grain filling (Ritchie *et al.*, 1993) as a result of the amount and distribution of rainfall in those years (Figure 1); this is confirmed by a greater content of endosperm in grain (2.82 % more than in 2004), pedicel and pericarp; but not so for germ (Table 5). In maize hybrids Zepeda *et al.* (2007) reported that with the increase from 150 to 225 kg N ha⁻¹ the percentage of horny endosperm rose showing a thicker grain, but germ diminished. Oikeh *et al.* (1998) evaluated nitrogen fertilization in maize varieties and detected changes in the percentage of floating grains due to a different proportion of floury endosperm.

Nixtamal humidity was higher in 2004 than in 2005 due to the amount and type of grain endosperm determined by the environment (Table 4) and something similar occurred with the tortilla color (% reflectance). However this variable is influenced both by the structural and chemical composition of grain and the nixtamalization process (Salinas-Moreno *et al.*, 2007). But the loss of solids and retained pericarp was not different ($p \leq 0.05$) among years as both variables are directly influenced by the nixtamalization process.

Genotype-environment interaction

Fifty percent of hybrids exhibited a higher yield of grain in 2004 than in 2005; yet the opposite was observed in HS-2 and MT-2223 whose yields were

que indica que el grano fue más pesado porque hubo mayor disponibilidad de nutrimentos en el suelo durante el periodo de diferenciación floral, floración y llenado de grano (Ritchie *et al.*, 1993) debido a la cantidad y distribución de la precipitación en 2004 y 2005 (Figura 1), que se confirma con un mayor contenido de endospermo en el grano (2.82 % más que 2004), pedicelo y pericarpio; no así para germen (Cuadro 5). En híbridos de maíz Zepeda *et al.* (2007) reportaron al que al aumentar de 150 a 225 kg N ha⁻¹ aumentó el porcentaje de endospermo córneo, con un grano más denso, pero disminuyó el germen. Oikeh *et al.* (1998) evaluaron la fertilización nitrogenada en variedades de maíz y encontraron cambios en el porcentaje de granos flotantes debido a un cambio en la proporción de endospermo harinoso.

La humedad de nixtamal fue mayor en 2004 que 2005 debido a la cantidad y tipo de endospermo del grano por efecto del ambiente (Cuadro 4) y hubo una situación similar en el color de la tortilla (% reflectancia). Sin embargo, esta variable está influenciada tanto por la composición estructural y química del grano como por el proceso de nixtamalización (Salinas-Moreno *et al.*, 2007). Pero la pérdida de sólidos y pericarpio retenido no fue diferente ($p \leq 0.05$) entre años porque ambas variables están influenciadas directamente por el proceso de nixtamalización.

Interacción genotipo x ambiente

En 50 % de los híbridos se observó un mayor rendimiento de grano en 2004, respecto a 2005, pero la situación contraria se observó en HS-2 y MT-2223 que tuvieron un rendimiento de 19 y 8 % más en 2005 (Figura 2), mientras que para MT-1420 y MT-131 los rendimientos fueron similares.

En los híbridos MT-810, MT-1420 y MT-1415 aumentó el índice de flotación en 2005, lo que indica que hubo cambios en la proporción de endospermo harinoso y córneo en el grano, con tendencia a ser harinoso en 2004 (Figura 3), lo que se reflejó en menor rendimiento de grano (Figura 2); la situación fue contraria en MT-131, MT-2223 y HS-2, mientras que MT-421 y PROMESA no mostraron cambios significativos en el índice de flotación. Zepeda *et al.* (2007) cultivaron híbridos de maíz con 300 kg ha⁻¹ de N y también observaron una respuesta diferencial entre híbridos en el índice de flotación. El porcentaje de endospermo aumentó en 75 % de los híbridos,

Cuadro 5. Efecto del ambiente sobre rendimiento, componentes estructurales y nixtamal-tortilla del grano en híbridos de maíz. Montecillo, México. 2004 y 2005.

Table 5. Effect of the environment on grain yield, structural components and nixtamal-tortilla in corn hybrids. Montecillo, Mexico, 2004 and 2005.

Característica	Años		DSH
	2004	2005	
REN (t ha ⁻¹)	9.59a	9.10a	0.73
PH (%) [†]	77.75b	79.21a	0.28
IF (%)	27.12a	27.37a	1.57
CG (% reflectancia) [†]	58.06b	62.62a	0.62
PE (%) [†]	1.16b	1.28a	0.07
PR (%) [†]	5.63a	4.85b	0.14
GE (%) [†]	10.58a	8.91b	0.19
END (%) [†]	82.61b	84.94a	0.29
HN (%) [†]	48.16a	44.06b	0.87
PS (%)	3.25a	3.29a	0.04
PRT (%) [‡]	36.73a	34.39a	2.37
CT (% reflectancia) [†]	84.12a	79.62b	0.87

DSH=diferencia significativa honesta.

[†], [‡] $p \leq 0.01$ y $p \leq 0.05$; REN=rendimiento de grano; PH=peso hectolítrico; IF=índice de flotación; CG y CT=color de grano y tortilla (porcentaje de reflectancia); PE=porcentaje de pedicelo; PR=porcentaje de pericarpio; GE=porcentaje de germen; END=porcentaje de endospermo HN=humedad de nixtamal; PS=perdida de sólidos; PRT=pericarpio retenido. v DSH=honest significant difference $\diamond$ [†], [‡] $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$; REN=grain yield; PH=hectolitic weight; IF=floatation index; CG and CT=grain and tortilla color (percentage of reflectance); PE=pedicel percentage; PR=pericarp percentage; GE=germ percentage; END=endosperm percentage; HN=nixtamal humidity; PS=loss of solids; PRT=retained pericarp.

19 and 8 % higher respectively in 2005 (Figure 2), while yields were similar for MT-1420 and MT-131. In hybrids MT-810, MT-1420 and MT-1415 the floatation index rose in 2005, which indicates changes in the proportion of grain floury and horny endosperm, tending to floury in 2004 (Figure 3); this was reflected in a lower grain yield (Figure 2); the opposite occurred in MT-131, MT-2223 and HS-2, while MT-421 and PROMESA showed no significant changes in the floatation index. Zepeda *et al.* (2007) cultivated maize hybrids with 300 kg ha⁻¹ of N and also observed a different response in the floatation index among hybrids.

The percentage of endosperm increased in 75 % of hybrids, while MT-131 and MT-421 registered no changes (Figure 3). Zepeda *et al.* (2009) mention

mientras que en MT-131 y MT-421 no hubo cambios (Figura 3). Zepeda *et al.* (2009) mencionan que el porcentaje de endospermo se modificó con la aplicación de 225 kg N ha⁻¹, comparado con 150 kg N ha⁻¹.

CONCLUSIONES

Con base en las características de calidad de grano blanco establecidos en la Norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 y las propuestos por el laboratorio de maíz del INIFAP, los híbridos de maíz adaptados para los Valles Altos Centrales de México MT-810, MT-1420, MT-131, MT-2223, MT-1415, MT-421, PROMESA y HS-2 presentan las características requeridas para la elaboración de tortillas y productos de maíz nixtamalizado.

Las condiciones agroclimáticas en cada año de producción agrícola modificaron los componentes estructurales del grano, y consecuentemente la calidad de nixtamal-tortilla en diferente proporción, en función de las características genéticas de cada variedad.

AGRADECIMIENTO

Al Fondo Sectorial SAGARPA-CONACYT por el apoyo al proyecto SAGARPA-CONACYT-2004-C01-146/A-1 para realizar la investigación.

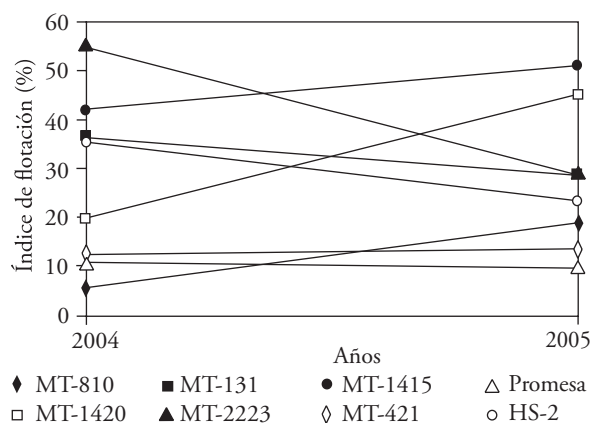


Figura 3. Interacción genotipo x ambiente (años) para índice de flotación y porcentaje de endospermo del grano en híbridos de maíz. Montecillo, México. 2004 y 2005.

Figure 3. Genotype-environment interaction (years) for flotation index and grain endosperm percentage in maize hybrids. Montecillo, Mexico, 2004 and 2005.

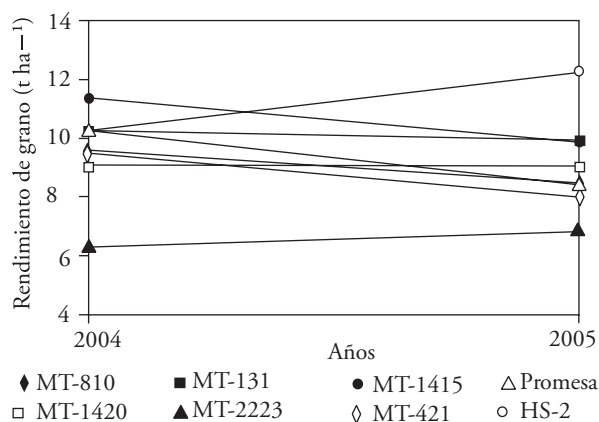


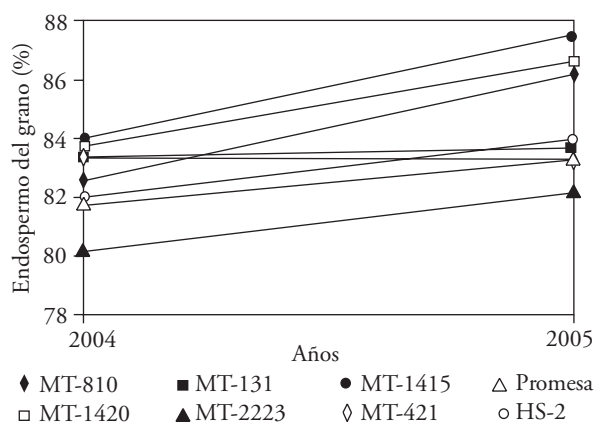
Figura 2. Interacción genotipo x ambiente (años) para rendimiento de grano en híbridos de maíz. Montecillo, México. 2004 y 2005.

Figure 2. Genotype-environment interaction (years) for grain yield in maize hybrids. Montecillo, Mexico, 2004 and 2005.

that the percentage of endosperm changed with the application of 225 kg N ha⁻¹, compared to 150 kg N ha⁻¹.

CONCLUSIONS

On the basis of the white grain quality characteristics set in the Norm NMX-FF-034/1-SCFI-2002 and those proposed by the INIFAP Maize Laboratory, the maize hybrids adapted for the



LITERATURA CITADA

- FAO. Food and Agriculture Organization. 2007. FAOSTAT (FAO Statistical Databases) Agriculture, Fisheries, Forestry, Nutrition. Rome, Italy. <http://faostat.fao.org/default.aspx/>. Consultado el 15 de noviembre de 2007.
- García M., E. 1987. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. México. D. F. 217 p.
- Herrera-Corredor, J. A., E. P., Saidu J., A., Khachatryan, W., Prinyawiwatukul, A. Carballo-Carballo, and R. Zepeda-Bautista 2007. Identifying drivers for consumer acceptance and purchase intent of corn tortilla. *J. Food Sci.* 72:S727-S731.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 2007. Estadística. <http://www.inegi.gob.mx/inegi/>. Consultado el 15 de noviembre de 2007.
- Leyva O. O. R. 2002. Estrategia de mejoramiento en maíz considerando caracteres agronómicos y de calidad física del grano relacionadas con el proceso de nixtamalización. Tesis de Doctor en Ciencias. Programa en genética. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 97 p.
- Martínez-Bustos, F., H. E. Martínez-Flores, E. Sanmartín-Martínez, F. Sánchez-Sinencio, Y. K. Chang, D. Barrera-Arellano, and E. Ríos. 2001. Effect of the components of maize on the quality of masa and tortillas during the traditional nixtamalisation process. *J. Sci. Food Agric.* 81:1455-1462.
- Norma Mexicana para Maíces Destinados al Proceso de Nixtamalización, NMX-FF-034/1-SCFI-PARTE -1. 2002. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano—cereales—maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado. Especificaciones y Métodos de prueba. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Dirección General de Normas. México, D. F. 18 p.
- Oikeh, S. O., J. G. Kling, and A. E. Okoruwa. 1998. Nitrogen fertilizer management effects on maize kernel quality in the West African moist Savanna. *Crop Sci.* 38: 1056-1061.
- Ritchie, W. S., G. O. Benson, S. J. Lupkes, and R. J. Salvador. 1993. How a corn plant develops. Cooperative Extension Service Ames, Iowa. Iowa State University of Science and Technology. <http://www.ag.iastate.edu/departments/agronomy/corngrows.html>. Consultado el 20 de mayo de 2002.
- Salinas M., Y., y P. Pérez H. 1997. Calidad nixtamalera-tortilla en maíces comerciales de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 20:121-136.
- High Central Valleys of México, namely MT-810, MT-1420, MT-131, MT-2223, MT-1415, MT-421, PROMESA and HS-2, have the characteristics required for the preparation of tortillas and nixtamalized corn products.
- The agroclimatic conditions in each year of agricultural production modified the grain structural components and thus the nixtamal-tortilla quality in a different proportion, depending on the genetic characteristics of each variety.
- End of the English version—
- *---
- Salinas M., Y., y G. Vázquez C. 2006. Metodologías de análisis de calidad nixtamalera-tortillera en maíz. INIFAP. Campo Experimental Valle de México, Chapingo, México. Folleto Técnico No. 24. 91 p.
- Salinas-Moreno Y., J. J. López-Reynoso, G. B. González-Flores, y G. Vázquez-Carrillo. 2007. Compuestos fenólicos del grano de maíz y su relación con el oscurecimiento de masa y tortilla. *Agrociencia* 41:295-305.
- SIAP. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. 2007. Producción agrícola ciclo primavera-verano 2006. Maíz grano. <http://www.siap.gob.mx/>. Consultado el 15 de noviembre de 2007.
- SAS. Statistical Analysis System Institute. 1989. SAS/SAT User's Guide. Version 6. Fourth Edition. SAS Institute Inc. Cary, N.C. 943 p.
- Vázquez C. M., G., L. Guzmán B., J. L. Andrés G., F. Márquez S., y J. Castillo M. 2003. Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas. *Rev. Fitotec. Mex.* 26:231-238.
- Zepeda B. R., A. Carballo C., A. Muñoz O., J. A. Mejía C., B. Figueroa S., y F. V. González C. 2007. Fertilización nitrogenada y características físicas, estructurales y calidad del nixtamal-tortilla del grano de híbridos de maíz. *Agric. Téc. Méx.* 33:17-24.
- Zepeda B. R., A. Carballo C., A. Muñoz O., J. A. Mejía C., B. Figueroa S., F. V. González C., y C. Hernández A. 2009. Proteína, triptófano y componentes estructurales del grano en híbridos de maíz producidos bajo fertirrigación. *Agrociencia* 43:143-152.