

FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, ESTRUCTURALES Y CALIDAD DE NIXTAMAL-TORTILLA DEL GRANO DE HÍBRIDOS DE MAÍZ*

NITROGEN FERTILIZATION EFFECT ON THE PHYSICAL, STRUCTURAL AND ALKALINE-COOKING QUALITY CHARACTERISTICS OF GRAIN FROM CORN HYBRIDS

Rosalba Zepeda Bautista^{1§}, Aquiles Carballo Carballo¹, Abel Muñoz Orozco¹, José Apolinar Mejía Contreras¹, Benjamín Figueroa Sandoval² y Félix Valerio González Cossío³

¹Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad, ²Programa de Edafología y ³Programa de Estadística, Colegio de Postgraduados. Km 35.5, carretera México-Texcoco. 56230 Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. [§]Autora para correspondencia: rzepeda@colpos.mx

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de dos dosis de nitrógeno, 150 y 300 kg ha⁻¹, aplicadas con fertiriego sobre la calidad del grano de un grupo de diez híbridos de maíz que incluyó granos duros, intermedios y suaves, e identificar aquellos que reúnan las características solicitadas por la industria de la masa y la tortilla y harinera. Se analizaron dos muestras por híbrido de grano cosechado en octubre de 2002 en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, México y se analizaron en febrero de 2003 en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Chapingo, Estado de México. Se evaluaron los siguientes parámetros: 1) características físicas; peso hectolítico, índice de flotación y color del grano, 2) componentes estructurales; porcentajes de pedicelo, pericarpio y germen y 3) variables de nixtamalización; contenido de humedad en nixtamal y tortilla, pérdida de sólidos, pericarpio retenido, color y rendimiento de masa y de tortilla. Para el análisis de los datos se utilizó un diseño completamente al azar con dos repeticiones. En comparación con la dosis de 150 kg ha⁻¹ de N, la fertilización con 300 kg ha⁻¹ incrementó los porcentajes de pericarpio, germen y pérdida de sólidos en 6.2, 5.0 y 2.4, respectivamente; pero disminuyó el índice de flotación, el pericarpio retenido y el color del grano (reflectancia) en 10.0, 9.4 y 2.2%, respectivamente, e indirectamente favoreció el color blanco de la masa y la tortilla. En el híbrido CS 2*10 aumentó el

rendimiento de masa en 11.7% y de tortilla en 13.2%; en los híbridos CS 3*9 y CS 6*10 decreció el índice de flotación en 19.5 y 10.5%, respectivamente. Los híbridos CS 3*4, CS 3*9 y CS 2*5 satisfacen los requerimientos de la industria de la masa y la tortilla, mientras que CS 3*9, CS 6*10, CS 10*3 y CS 2*10 los de la industria harinera. Los resultados mostraron que la aplicación de nitrógeno modificó, en diferentes proporciones, la calidad de la masa y la tortilla y la de harina de maíces duros, intermedios y suaves.

Palabras clave: *Zea mays* L., fertilización nitrogenada, índice de flotación, masa, tortilla.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of two nitrogen fertilization levels, 150 and 300 kg ha⁻¹ applied throughout fertigation on physical, structural and alkaline cooking quality characteristics of the grain of a group of 10 corn hybrids including hard, medium and soft seeded, and to identify those that meet the standards of the industry. Twenty samples of grain harvested in October 2002 in the Colegio de Postgraduados (CP), Montecillo, State of Mexico, Mexico and they were analyzed in February 2003 in the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas

* Recibido: Junio de 2005
Aceptado: Enero de 2007

y Pecuarias (INIFAP), Chapino, State of Mexico, Mexico for: 1) physical characteristics: hectolitic weight, flotation index and grain color, 2) structural components: percentage of pedicel, pericarp and germ, 3) alkaline cooking characteristics: moisture content of "nixtamal" and "tortilla", loss of solids, retained pericarp, color and yield of dough and tortilla. For data analyses a completely random design was used. Average from all hybrids, in comparison with 150 kg ha⁻¹ of N, the fertilization with 300 kg ha⁻¹ increased pericarp, germ and solid losses in 6.2, 5.0 and 2.4%, respectively; flotation index, pericarp loss (after lime-cooking) and grain color (reflectance) decreased 10.0, 9.4 and 2.2%, respectively and indirectly enhanced the white color of the dough and tortilla. In the hybrid CS 2*10 dough and tortilla yield was increased in 11.7 and 13.2%, respectively; hybrids CS 3*9 and CS 6*10 showed a decrease in the flotation index of 19.5 and 10.5%, respectively. Hybrids CS 3*4, CS 3*9 and CS 2*5 meet the standards for tortilla production and CS 3*9, CS 6*10, CS 10*3, CS 2*10 meet those of the alkaline-cooking flour industry. The results showed that nitrogen fertilization modified in different proportions, alkaline-cooking tortilla and flour quality of hard, intermediated and soft corn grains.

Key words: *Zea mays* L., dough, flotation index, nitrogen fertilization, tortilla.

INTRODUCCIÓN

La tortilla se elabora a partir de masa fresca por el método tradicional de nixtamalización y su posterior molienda o con harina de maíz nixtamalizado, cuyo proceso de obtención es similar al de la masa fresca. La industria de la masa y la tortilla y la de harina nixtamalizada determinaron los parámetros de calidad para el grano que utilizan como materia prima para la elaboración de tortillas y harina de maíz, mismos que se indican en la Norma Mexicana para Maíz Nixtamalizado en tres categorías: características físicas, componentes estructurales y variables de nixtamalización (Salinas y Vázquez, 2003a). Al respecto, se ha indicado que la mayoría de las variedades e híbridos de maíz cultivados en México no reúnen todos los requisitos de calidad señalados en la norma (Salinas y Pérez, 1997); por lo tanto, existe la necesidad de desarrollar variedades con calidad de grano apto para la industria o de mejorar la calidad de las existentes a través de prácticas agronómicas.

A partir de 1998 el Colegio de Postgraduados (CP) inició un programa para desarrollar híbridos de crusa simple con características de calidad del grano para el proceso de nixtamalización (Leyva *et al.*, 2002), por su parte, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha evaluado la calidad de las variedades e híbridos generados por el propio instituto a fin de identificar los que reúnen las características que demanda la industria (Salinas y Vázquez, 2003a).

El manejo agronómico, en especial la nutrición modifica la estructura y composición del grano de maíz. En cinco variedades cultivadas en un suelo arcilloso con pH de 5.2, materia orgánica de 5.1 g kg⁻¹ y un contenido de N de 0.54 g kg⁻¹ se observó que con la aplicación de N al suelo en dosis de 30 a 60 kg ha⁻¹, los cultivares 8644-27 y TZPB-SR tuvieron mayor porcentaje de granos flotantes, que SPL y TZB-SR debido a un cambio en la proporción de endospermo harinoso (Oikeh *et al.*, 1998). Asimismo, al aplicar nitrógeno al suelo con dosis en el rango de 0 a 402 kg ha⁻¹ a ocho híbridos de maíz, se observó que bajo condiciones deficientes de N se cosecharon granos menos translúcidos que los obtenidos con suficiente N; además, se detectó que el híbrido B73 x Mo17, incrementó el contenido de N en el grano de 11.36 a 16.84 g kg⁻¹ con la dosis más alta y que los granos fueron más translúcidos y vítreos que los de tratamientos con dosis bajas de N (Tsai *et al.*, 1992). Por otro lado, con aplicaciones de 0, 90 y 180 kg ha⁻¹ de N, el cv. Funk 4023 mostró un incremento significativo en el peso de 1000 granos con la dosis de 90 kg ha⁻¹, no así con la de 180 kg ha⁻¹ (Zhang *et al.*, 1993).

Las características físicas del grano de maíz determinan el proceso industrial y la calidad de la tortilla; por esta razón se han efectuado evaluaciones de éstas características en variedades e híbridos comerciales y experimentales. Salinas y Pérez (1997) evaluaron las características físicas y químicas del grano de cuatro grupos de maíces; reportaron que 95% de ellos superaron el valor de peso hectolítico solicitado por la industria, 20% el porcentaje de pericarpio y 15% el del color de la tortilla. Por otra parte, Salinas *et al.* (1992) evaluaron híbridos precozdes desarrollados para los Valles Altos, entre ellos identificaron híbridos con endospermo duro, intermedio y suave con diferencias en sus características físicas y composición química, lo que demostró la existencia de variabilidad en estas características.

La Norma Mexicana para Maíz Nixtamalizado (NMX-ff-034-2001-SCFI/P-1) define los parámetros de calidad y

sus valores para el grano de maíz que utiliza la industria de la masa y la tortilla y la de harina de maíz nixtamalizado. Ambas coinciden en los siguientes valores: 1) pedicelos, máximo 2%; pericarpio, máximo 5.5%; germen, máximo 13%, endospermo harinoso, mínimo 30%; endospermo cárneo, máximo 48%, 2) peso hectolítico superior a 74 kg hL⁻¹, 3) pérdida de sólidos, máximo 5% y 4) grano blanco con porcentaje de reflectancia mayor a 70. Difieren en los parámetros siguientes: la industria de la masa y la tortilla requiere de 15 a 55% en índice de flotación, de 42 a 45% en la humedad del nixtamal, 40% mínimo de pericarpio remanente y un rendimiento de masa: tortilla superior a 1.5; mientras que la industria harinera solicita respectivamente 40% máximo de índice de flotación, de 36 a 42% de humedad en la tortilla y 26% máximo de pericarpio retenido (Salinas y Vázquez, 2003a; Salinas y Pérez, 1997).

Los objetivos planteados en esta investigación fueron: 1) evaluar el efecto de dos dosis de fertilización nitrogenada sobre las características físicas, componentes estructurales y variables de nixtamalización del grano de diez híbridos de maíz con diferente tipo de endospermo (duro, intermedio y suave) y 2) identificar los híbridos que reúnan las características de calidad requeridas por la industria.

MATERIALES Y MÉTODOS

En 2003 se analizaron dos muestras de grano de cada uno de diez híbridos producidos en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, Estado de México, México en 2002 bajo dos dosis de fertilización nitrogenada, 150 y 300 kg ha⁻¹, dos de fósforo, 60 y 120 kg ha⁻¹ y 80 kg ha⁻¹ de potasio, en suelo de textura franco arcillo arenoso con pH 7.5, bajo contenido de materia orgánica (1.8%) y nitrógeno (0.11%), con muy alto contenido de fósforo (70 ppm) y potasio (1.49 meq/100g). Como testigo se utilizó la dosis de referencia para los Valles Altos Centrales, 150N-60P-80K kg ha⁻¹. La fertilización se efectuó diariamente a través del agua de riego (fertilriego); el ciclo del cultivo se dividió en cinco etapas: vegetativa, floración, llenado de grano, estado lechososo y estado masoso del grano; se aplicó 26, 34, 16, 14, y 10% de la dosis total de fertilizante para cada tratamiento en cada etapa, respectivamente; como fuentes de nitrógeno, fósforo y potasio se aplicó urea, ácido fosfórico y nitrato de potasio.

La cosecha se efectuó en octubre de 2002 en Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, Estado de México, México. Debido a que las dosis de fósforo aplicadas no

causaron diferencias significativas ($p<0.05$) en el contenido de proteína y componentes estructurales del grano (datos no presentados), se tomó una muestra compuesta de ambas dosis. El grano se almacenó a 18 °C en bolsas de papel. Los análisis se efectuaron en febrero de 2003. El porcentaje de nitrógeno en grano completo se determinó en el Laboratorio de Suelos y Nutrición Vegetal del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), El Batán, Texcoco, Estado de México, México. Las evaluaciones de las características físicas del grano, componentes estructurales y variables de nixtamalización se llevaron a cabo en el Laboratorio de Maíz del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Chapingo, Estado de México.

El porcentaje de nitrógeno en grano (PNG) se determinó en una muestra de 25 granos completos a través del método micro-Kjeldahl (Villegas, 1975). Los parámetros físicos evaluados fueron: peso hectolítico (PH), que se determinó de acuerdo con el método 84-10 de American Association of Cereal Chemists (AACC, 1976), e índice de flotación (IF) mismo que se evaluó de acuerdo a la metodología descrita por Wichser (1961), valor que se expresó en porcentaje. Los componentes estructurales evaluados fueron: porcentajes de pedicelos (PI), pericarpio (PR) y germen (GE), los cuales se determinaron con la técnica de textura por disección utilizada por la industria de harina nixtamalizada en 25 granos sanos y limpios; los resultados se expresan en porcentaje con base en peso seco.

Para la nixtamalización se mezclaron 100 g de grano, 1 g de hidróxido de calcio y 200 mL de agua destilada, la mezcla se llevó a ebullición (92 °C) en un extractor de fibra modificado para evitar la pérdida de agua por evaporación durante el cocimiento. El tiempo de cocción se calculó en función de la dureza del grano, de acuerdo con el modelo propuesto por Gómez (1993), el grano se dejó reposar 18 h con el recipiente tapado, se lavó con agua, posteriormente se obtuvo la masa en un molino de piedras, se elaboraron las tortillas con una tortilladora manual y finalmente se cocieron en un comal. Como lo señala el procedimiento descrito por Salinas y Vázquez (2003b) se determinaron las siguientes variables de nixtamalización: 1) porcentaje de humedad en nixtamal (HN) y tortilla (HT), 2) pérdida de sólidos (PS), obtenido del peso seco de los residuos de nixtamalización y lavado, expresado en porcentaje, 3) pericarpio retenido (PRT) con el método gravimétrico (en 10 granos nixtamalizados y lavados), los resultados se expresan en porcentaje con base en peso seco y 4) rendimiento de masa (RM) y de tortilla fría (RTF), que

se determinaron con base en la proporción entre el peso de masa y de tortilla fría obtenidas por cada 100 g de grano de maíz y 5) color de grano (CG), de masa (CM) y de tortilla (CT), expresados como porciento de reflectancia, datos que se midieron con un equipo Agtron modelo M-500A.

Para analizar la información se utilizó un diseño de bloques completos al azar con arreglo de tratamientos factorial con dos repeticiones. Las variables medidas se sometieron a un análisis de varianza mediante el procedimiento GLM del Statistical Analysis System (SAS, 1989) y aquellas características que mostraron diferencias significativas se les aplicó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($p<0.05$).

Cuadro 1. Cuadros medios y significancia estadística para características físicas y componentes estructurales del grano de diez híbridos de maíz fertilizados con dos dosis de nitrógeno.

Fuente de variación	G. L.	PNG	PH	IF	PI	PR	GE
Repetición	1	0.04*	1.15**	0.03	0.003	0.09	0.10
Tratamiento	19	0.10**	12.78**	458.72**	0.22	0.62**	0.51*
Híbrido	9	0.17**	25.72**	943.57**	0.17	1.00**	0.57*
Dosis de N	1	0.18**	0.19	44.11**	2.31**	1.54**	1.53**
Híbrido x Dosis de N	9	0.61	1.24**	19.95**	0.05	0.14*	0.33
Error	19	0.01	0.20	1.76	0.14	0.05	0.20

*,**Significativo al 5 y 1% de probabilidad; PNG= Porcentaje de nitrógeno en grano; PH= Peso hectolítico kg hL⁻¹; IF= índice de flotación %; PI= Porcentaje de pedicelos; PR= Porcentaje de pericarpio; GE= Porcentaje de germen.

Cuadro 2. Comparación de medias de características físicas y componentes estructurales del grano de diez híbridos de maíz fertilizados con dos dosis de nitrógeno.

Híbrido	PNG (%)	PH (kg hL ⁻¹)	IF (%)	PI (%)	PR (%)	GE (%)
CS 3*9	1.52 c	76.70 d	35.25 e	1.19 a	4.56 de	7.72 ab
CS 3*4	1.64 b	77.20 d	49.00 c	1.09 a	4.31 e	7.32 ab
CS 10*4	1.60 bc	76.60 d	42.50 d	1.09 a	5.57 a	7.62 ab
CS 6*5	1.62 bc	79.10 c	23.50 f	1.04 a	4.70 cde	7.71 ab
CS 4*9	1.53 c	72.80 e	90.50 a	1.17 a	4.95 bcd	8.18 a
CS 6*10	1.61 bc	78.90 c	30.75 e	1.12 a	4.99 bcd	7.37 ab
CS 10*3	1.64 b	80.50 ab	19.00 fg	0.96 a	5.38 ab	7.64 ab
CS 2*10	1.83 a	81.70 a	13.50 h	1.15 a	5.17 ab	7.88 ab
CS 6*4	1.69 b	77.20 d	62.00 b	1.20 a	5.08 bc	8.23 a
CS 2*5	1.52 c	80.00 bc	16.75 gh	1.09 a	5.15 ab	7.14 b
DSH	0.107	1.257	4.992	0.325	0.446	1.012
NMX ^a		> 74	15-55	≤ 2	≤ 5.5	≤ 13
			N (kg ha ⁻¹)			
150 ^t	1.59 b	78.14 a	40.10 a	1.19 a	4.83 b	7.49 b
300	1.65 a	78.00 a	36.45 b	1.02 b	5.13 a	7.87 a
DSH	0.028	0.331	1.315	0.085	0.117	0.266

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05); ^t= Testigo; PNG= Porcentaje de nitrógeno en grano; PH= Peso hectolítico; IF= Índice de flotación; PI= Porcentaje de pedicelos; PR= Porcentaje de pericarpio; GE= Porcentaje de germen; NMX^a= Norma Mexicana para Maíz Nixtamalizado; DSH= Diferencia Significativa Honesta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físicas y componentes estructurales del grano

Se observaron diferencias altamente significativas ($p<0.01$) entre híbridos y dosis de fertilización nitrogenada en: porcentaje de nitrógeno en grano, índice de flotación y porcentajes de pericarpio y germen; mientras que para peso hectolítico sólo se detectó entre híbridos y para porcentaje de pedicelos entre dosis de nitrógeno (Cuadro 1). Esto significa que por lo menos un híbrido presentó características físicas y componentes estructurales del grano diferentes a los demás debido a su genotipo y al efecto de la

fertilización que incrementaron el contenido de nitrógeno en el grano (Cuadro 2) y en consecuencia modificaron la composición y estructura del mismo. Resultados similares fueron observados en variedades de maíz fertilizadas con dosis de 30 y 60 kg ha⁻¹ de N al suelo (Oikeh *et al.*, 1998). Tsai *et al.* (1992) reportaron que el híbrido B73 x Mo17 mostró un grano más translúcido, indicador de la dureza inducida por la aplicación de 402 kg ha⁻¹ de N.

La interacción híbrido x dosis de N fue altamente significativa ($p<0.01$) para el peso hectolítico, e índice de flotación y significativa ($p<0.05$) para el porcentaje de pericarpio (Cuadro 1). Es decir, por lo menos un híbrido respondió diferente a la cantidad de nitrógeno aplicado debido a que los híbridos fueron diferentes en cuanto a su capacidad para expresar cambios en las características físicas y componentes estructurales del grano por efecto de la aplicación extra de nitrógeno. En cinco de los híbridos se observó reducción en el índice de flotación con dosis de 300 kg ha⁻¹ de N (Figura 1); en los híbridos CS 3*9 y CS 6*10 hubo disminución de 19.5 y 10.5%, respectivamente; por el contrario, el peso hectolítico aumentó debido a la existencia de una correlación negativa ($r= -0.89$, $p<0.01$) entre ambas variables; en los híbridos CS 2*10, CS 6*5, y CS 6*4 no se observó efecto de la fertilización, lo que indica estabilidad fenotípica para éstas características. En nueve de los híbridos evaluados el porcentaje de pericarpio aumentó con la fertilización, a diferencia de CS 2*5 en el cual disminuyó.

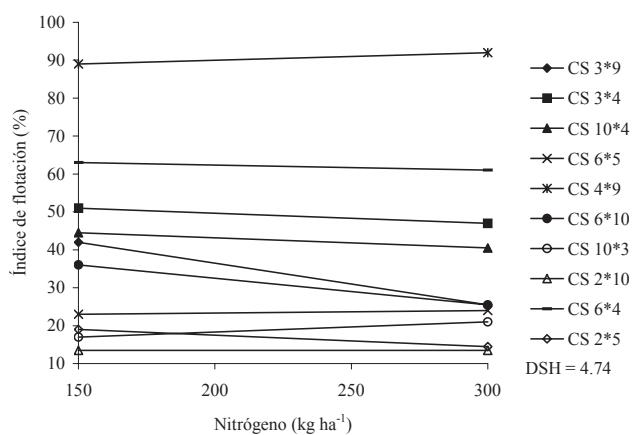


Figura 1. Interacción híbrido x dosis de nitrógeno para índice de flotación del grano de diez híbridos de maíz fertilizados con dos dosis de nitrógeno.

El híbrido CS 2*10 obtuvo el mayor porcentaje de nitrógeno en grano, peso hectolítico y menor índice de flotación en comparación con el resto; en contraste el híbrido CS 4*9 mostró uno de los valores más bajos en porcentaje de nitrógeno en grano y peso hectolítico y un alto índice de flotación (Cuadro 2). De acuerdo a la clasificación de Gómez (1993), los híbridos evaluados se dividen en tres grupos: 1) CS 2*10, CS 2*5, CS 10*3, CS 6*10, CS 6*5, y CS 3*9, de grano duro con IF entre 13 y 37%, 2) CS 3*4, CS 10*4, y CS 6*4, de grano intermedio con IF entre 38-62%, y 3) CS 4*9 de grano suave con IF >62%. Esta característica es importante en el proceso de nixtamalización, ya que el maíz de grano duro requiere más tiempo de cocción que los de grano intermedio y suave.

En lo referente a peso hectolítico, nueve de los híbridos superaron el valor indicado en la Norma Mexicana (mayor a 74 kg hL⁻¹), sólo el híbrido CS 4*9 se encontró por debajo de este valor. Siete de ellos cumplen con el índice de flotación (15-55% y máximo 40%, para masa y tortilla y harina respectivamente), no así los híbridos CS 4*9 y CS 6*4 de grano suave e intermedio con índice de flotación mayor y el CS 2*10 de grano duro, cuyo valor se encuentra por debajo del límite inferior.

Respecto a los componentes estructurales del grano: los porcentajes de pedicelos, pericarpio y germen de los diez híbridos evaluados se encontraron dentro de los rangos que indica la Norma Mexicana para Maíz Nixtamalizado (Cuadro 2). Los híbridos CS 4*9 y CS 6*4 presentaron mayores porcentajes de germen, en comparación con el resto, lo cual representa ventaja ya que, junto con el pericarpio mejoran la viscosidad y adhesividad de la masa y la tortilla (Martínez *et al.*, 2001).

La fertilización con 300 kg ha⁻¹ de N mostró valores más altos ($p<0.05$) que con la aplicación de 150 kg ha⁻¹ de N (testigo), para los contenidos de nitrógeno en grano, pericarpio y germen, presentaron incrementos de 4.0, 6.21, y 5.07%, respectivamente (Cuadro 2). El índice de flotación disminuyó 9.1%, debido a que aumentó la proporción de endospermo cárneo (Cuadro 2). Cambios en la proporción de endospermo cárneo y harinoso en respuesta a la fertilización nitrogenada fueron reportados por Oikeh *et al.* (1998) y Tsai *et al.* (1992) determinados mediante mediciones del índice de flotación y observación directa de translucidez del grano.

Variables de nixtamalización

Se observaron diferencias significativas ($p<0.01$) entre híbridos para todas las variables de nixtamalización. Entre dosis de nitrógeno se observaron diferencias significativas ($p<0.01$) para los porcentajes de pérdida de sólidos, pericarpio retenido y color de grano, no así para el resto de las variables (Cuadro 3). Esto indica que la dosis de 300 kg ha⁻¹ de N modificó la estructura del grano y en consecuencia el proceso de nixtamalización. La dureza del grano medida indirectamente por el índice de flotación (Salinas *et al.*, 1992) y el porcentaje de reflectancia ($r=0.86$) es importante de igual forma que el pericarpio retenido, factor que influye sobre el tiempo óptimo de cocimiento y el color de la tortilla (Gómez, 1993; Salinas y Pérez, 1997).

La interacción híbrido x dosis de nitrógeno fue significativa ($p<0.01$) para todas las variables evaluadas, excepto para los porcentajes de humedad de nixtamal y tortilla (Cuadro 3). En seis de los híbridos se observó una gran pérdida de sólidos con la aplicación de 300 kg ha⁻¹ de N y la menor pérdida en CS 6*4 y CS 3*4 y no presentó cambio significativo en dos de los híbridos. Respecto al porcentaje de pericarpio retenido, en general, los híbridos con más alta pérdida de sólidos mostraron menor pericarpio retenido, porque éste se eliminó en mayor cantidad durante el proceso de cocción; en consecuencia, aumentó la difusión de Ca⁺⁺, OH⁻ y agua en el interior del grano (Serna-Saldivar *et al.*, 1993). Respecto al color de grano medido como el porcentaje de reflectancia, éste disminuyó en todos los híbridos evaluados, excepto en CS 3*9 y CS 4*9; el color de la masa fue similar al del color de grano; el color de la tortilla aumentó (% de reflectancia)

en el híbrido CS 4*9 y disminuyó 9.41% en CS6*10 con la fertilización de 300 kg ha⁻¹ de N. Es conveniente mencionar que el color de la masa y de la tortilla no son determinados solo por el color de grano y el porcentaje de pericarpio retenido, sino que influyen otros factores no identificados relacionados con los componentes estructurales del grano y el proceso de nixtamalización (Salinas y Pérez, 1997).

Los híbridos CS 2*10 y CS 3*9 mostraron mayor contenido de humedad de nixtamal y tortilla, con valores que cumplen con los requerimientos de la industria de la masa y la tortilla, y el resto de los híbridos con los de la industria de maíz nixtamalizado (36-42%), excepto CS 2*5 con un valor ligeramente superior (Cuadro 4). Todos los híbridos presentaron pérdida de sólidos menor a 5% durante la cocción; por el contrario, para pericarpio retenido, sólo el híbrido CS 3*4 satisface el requisito de la industria de la masa y la tortilla y CS 10*3 y CS 2*10 para la industria de maíz nixtamalizado. En cuanto al color del grano, en la masa y la tortilla, los híbridos CS 4*9 y CS 3*9 alcanzaron porcentajes de reflectancia del grano superiores al mínimo establecido (> 70%) y el resto ligeramente por debajo de este valor, excepto CS 2*10; sin embargo, el color de la masa y la tortilla elaboradas con grano de estos híbridos presentaron porcentajes de reflectancia superiores a 80%.

La fertilización con 300 kg ha⁻¹ de N no afectó significativamente el contenido de humedad del nixtamal y de la tortilla (Cuadro 4) ya que ambas variables están correlacionadas con el tiempo de cocción, esto es, a mayor tiempo de cocimiento aumenta la humedad de la masa y disminuye la de la tortilla (Ramírez *et al.*, 1993). La

Cuadro 3. Cuadrados medios y significancia estadística para las variables de nixtamalización de diez híbridos de maíz fertilizados con dos dosis de nitrógeno.

Fuente de variación	G. L.	HN	HT	PS	PRT	CG [†]	CM [†]	CT [†]
Repetición	1	0.26	0.26	0.001	0.07	0.31	0.90*	0.44
Tratamiento	19	1.84**	7.22**	1.01**	0.46**	34.48**	23.67**	31.68**
Híbrido	9	2.85**	14.17**	2.05**	0.74**	70.25**	45.52**	43.07**
Dosis de N	1	0.27	0.64	0.10**	1.12**	7.31**	0.82	0.71
Híbrido x Dosis de N	9	1.01	1.01	0.09**	0.10*	1.74**	4.36**	23.73**
Error	19	0.64	0.56	0.004	0.04	0.33	0.14	1.34

*,** Significativo al 5 y 1% de probabilidad; HN= Humedad de nixtamal; HT= Humedad de tortilla; PS= Porcentaje de pérdida de sólidos; PRT= Porcentaje de pericarpio retenido; CG= Color de grano; CM= Color de masa; CT= Color de tortilla; [†]= Medido como porcentaje de reflectancia.

Cuadro 4. Comparación de medias para las variables de nixtamalización del grano de diez híbridos de maíz fertilizados con dos dosis de nitrógeno.

Híbrido	HN (%)	HT (%)	PS (%)	PRT (%)	CG [†] (%)	CM [†] (%)	CT [†] (%)
CS 3*9	42.98 ab	44.35 a	2.95 d	31.78 bcde	70.75 b	89.50 c	88.25 ab
CS 3*4	39.53 c	43.68 a	2.52 e	42.67 a	68.75 bc	90.75 b	86.75 bc
CS 10*4	41.63 abc	42.29 ab	3.78 a	29.56 cde	65.00 d	91.50 b	89.50 ab
CS 6*5	41.11 abc	36.63 cd	3.26 c	33.26 bcd	63.50 def	86.50 e	81.75 de
CS 4*9	41.42 abc	39.28 bcd	3.53 b	36.65 abc	82.25 a	96.25 a	91.00 a
CS 6*10	40.77 bc	39.01 cd	3.62 b	28.18 cde	62.50 ef	91.00 b	89.00 ab
CS 10*3	41.14 abc	39.55 bc	3.32 c	25.16 de	62.13 f	88.00 d	83.75 cd
CS 2*10	39.74 bc	36.15 d	3.58 b	23.05 e	58.75 g	89.75 c	82.75 d
CS 6*4	40.77 bc	38.55 cd	2.57 e	35.41 abc	68.25 c	89.50 c	87.75 b
CS 2*5	44.45 a	45.31 a	3.27 c	38.47 ab	64.50 de	83.63 f	79.50 e
DSH	3.393	3.155	0.098	8.788	2.282	0.907	3.167
NMX ^a	42-45		≤ 5	≥ 40	> 70	> 70	> 70
-----N (kg ha ⁻¹)-----							
150 ^t	41.21 a	40.70 a	3.21 b	33.88 a	67.38 a	89.55 a	85.85 a
300	41.50 a	40.26 a	3.29 a	30.96 b	65.90 b	89.73 a	86.15 a
DSH	0.893	0.831	0.026	2.315	0.601	0.239	0.834

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05); HN=Humedad de nixtamal; HT=Humedad de tortilla; PS=Porcentaje de pérdida de sólidos; PRT=Porcentaje de pericarpio retenido; CG=Color de grano; CM=Color de masa; CT=Color de tortilla; ^t=Testigo; [†]=Medido como porcentaje de reflectancia; ^a= Norma Mexicana para Maíz Nixtamalizado; DSH=Diferencia Significativa Honesta.

fertilización con 300 kg ha⁻¹ de N incrementó 2.49% la pérdida de sólidos y disminuyó 9.43% el pericarpio retenido; esto último, beneficia la calidad del grano destinado a la elaboración de harina de maíz nixtamalizado donde el máximo requerido es 26%; no así para la industria de la masa y la tortilla la cual solicita un mínimo de 40%, porque el pedicelos contribuye a mejorar la viscosidad y adhesividad de la masa y la tortilla (Martínez *et al.*, 2001). La aplicación de nitrógeno también disminuyó en 2.25 el porcentaje de reflectancia del grano por aumento en su dureza, observándose granos más translúcidos; estos resultados coinciden con lo señalado por Oikeh *et al.* (1998) y Tsai *et al.* (1992); respecto al color de la masa y la tortilla, no se observó cambio en estas variables.

De los híbridos evaluados, ocho tuvieron rendimientos de masa superior a 1.8, excepto CS 10*3 y CS 2*10 (Cuadro 5), para estos dos híbridos la fertilización con 300 kg ha⁻¹ de N incrementó sus rendimientos 5.59 y 11.7%, respectivamente. En general los híbridos evaluados tuvieron rendimientos de

Cuadro 5. Promedio de la relación rendimiento de masa y tortilla fría de diez híbridos de maíz fertilizados con dos dosis de nitrógeno.

Híbrido	Rendimiento de masa		Rendimiento de tortilla fría	
	150 ^t	300 ^t	150 ^t	300 ^t
CS 3*9	1.89	1.83	1.39	1.31
CS 3*4	1.87	1.92	1.37	1.42
CS10*4	1.87	1.89	1.34	1.38
CS 6*5	1.83	1.83	1.32	1.35
CS 4*9	1.91	1.87	1.39	1.35
CS 6*10	1.87	1.87	1.39	1.39
CS 10*3	1.79	1.89	1.34	1.36
CS 2*10	1.71	1.91	1.21	1.37
CS 6*4	2.01	1.97	1.46	1.37
CS 2*5	1.88	2.00	1.43	1.57

^t= kg ha⁻¹ de N; Rendimiento de masa= Peso (g) de masa obtenida de 100 (g) de grano de maíz; Rendimiento de tortilla fría= Peso (g) de tortilla fría obtenida de 100 (g) de grano de maíz.

tortilla fría ligeramente por debajo de 1.5; la fertilización con 300 kg ha⁻¹ de N incrementó el rendimiento de tortilla fría para los híbridos CS 2*10 y CS 2*5, en 13.22 y 9.79%, respectivamente. Solo el híbrido CS 2*5 cumplió con la Norma Mexicana en esta variable.

CONCLUSIONES

En comparación con el testigo (150 kg ha⁻¹ de N), la fertilización con 300 kg ha⁻¹ de N, a través del agua de riego modificó en diferentes proporciones la calidad molinera-tortillera y harinera de maíces duros, intermedios y suaves.

Los híbridos de maíz desarrollados para la región de Valles Altos Centrales de México CS 3*4, CS 3*9, y CS 2*5 reúnen los requisitos de la industria de la masa y la tortilla y CS 3*9, CS 6*10, CS 10*3 y CS 2*10 cumplen los requerimientos de la industria de harina de maíz nixtamalizado.

LITERATURA CITADA

- American Association of Cereal Chemists (AACC). 1976. Approved methods of the AACC. The Association. 7th ed. St. Paul, Minnesota, USA.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). FAO Statistical Databases (FAOSTAT). 2003. Agriculture, Fisheries, Forestry, Nutrition. Rome, Italy. <http://faostat.fao.org/site/502/default.aspx>.
- Gómez E., J. 1993. Métodos comparativos para determinar dureza en maíz (*Zea mays L.*) y su influencia en el tiempo de nixtamalización. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Ingeniería Agroindustrial. Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. 82 p.
- Leyva O., O. R.; Carballo C., A.; Mejía C., J. A. y Vázquez C., M. G. 2002. Procesamiento digital de imágenes para la estimación de textura de endospermo en líneas de maíz. Rev. Fitotec. Mex. 25(4):355-365.
- Martínez-Bustos, F.; Martínez-Flores, H. E.; Sanmartín-Martínez, E.; Sánchez-Sinencio, F.; Chang, Y. K.; Barrera-Arellano, D. and Ríos, E. 2001. Effect of the components of maize on the quality of masa and tortillas during the traditional nixtamalisation process. J. Sci. Food & Agric. 81(15):1455-1462.
- Oikeh S., O.; Kling, J. G. and Okoruwa A., E. 1998. Nitrogen fertilizer management effects on maize grain quality in the West African moist Savanna. Crop Sci. 38:1056-1061.
- Ramírez B.; García R.; Silva B., A.; Lauterio R. y Torres P., I. 1993. Estudio de algunas variables del proceso de producción de tortilla de maíz a nivel planta piloto. Tecnología Alimentaria 28(1):1-30.
- Salinas M., Y. y Vázquez C., G. 2003a. Calidad de maíz para las industrias molinero-tortillera y de harinas nixtamalizadas. In: 60 Años de Investigación al Servicio de México 1943-2003-Campo Experimental Valle de México. Díaz G., L. T.; Espitia E., R. y Magallanes J., V. (eds). Texcoco, Estado de México, México. 95 p. (Memoria Técnica No. 6.)
- Salinas M., Y. y Vázquez C., G. 2003b. Metodologías de análisis de calidad nixtamalera-tortillera en maíz. Centro de Investigación Regional del Centro, Campo Experimental Valle de México, Laboratorio de maíz. Texcoco, Estado de México, México. 91 p. (Folleto Técnico No. 23).
- Salinas M., Y. y Pérez P., H. 1997. Calidad nixtamalera-tortilla en maíces comerciales de México. Rev. Fitotec. Mex. 20:121-136.
- Salinas M., Y.; Arellano J., L. V. y Bustos F., M. 1992. Propiedades físicas, químicas y correlaciones de maíces híbridos precoces para Valles Altos. Arch. Latin. Nutr. 42(2):161-167.
- Statistical Analysis System (SAS). 1989. Institute. SAS/SAT User's Guide. Version 6. Fourth ed. SAS Institute Inc. Cary, N.C. 943 p.
- Serna-Saldivar, S. O.; Gómez M., H.; Almeida-Hernández, H. D.; Islas-Rubio, A and Rooney L., W. 1993. A method to evaluate the lime-cooking properties of corn (*Zea mays L.*). Cereal Chem. 70(6):762-764.
- Tsai C., Y.; Dweikat I.; Huber D., M. and Warren H., L. 1992. Interrelationship of nitrogen nutrition with maize (*Zea mays*) grain yield, nitrogen use efficiency and grain quality. J. Sci. Food & Agric. 58:1-8.
- Villegas E. 1975. An integral system for chemical screening of quality protein maize. In: High-Quality Protein Maize. Dowden, Hutchinson & Ross. Stroudsburg, Pennsylvania. p.330-336.
- Wicher E., R. 1961. The world of corn processing. American Miller Process 89(3):23-24, 89(4):29-31.
- Zhang F.; Mackenzie A. F. and Smith D. L. 1993. Corn yield and shifts among corn quality constituents following application of different nitrogen fertilizer sources at several times during corn development. J. Plant Nutr. 16(7):1317-1337.