

CALIDAD DEL NIXTAMAL Y SU RELACIÓN CON EL AMBIENTE DE CULTIVO DEL MAÍZ

NIXTAMAL QUALITY AND ITS RELATIONSHIP WITH THE MAIZE CROPPING ENVIRONMENT

José Salazar-Martínez¹, César H. Rivera-Figueroa², Sigifredo Arévalo-Gallegos³, Aurelio Guevara-Escobar¹, Guadalupe Malda-Barrera¹ y Quintín Rascón-Cruz^{3*}

¹Facultad de Ciencias Naturales-Biología, Universidad Autónoma de Querétaro. Cerro de las Campanas S/N. 76010, Las Campanas, Santiago de Querétaro, Querétaro. ²Dirección de Investigación y Postgrado, Universidad Autónoma de Chihuahua. Campus Universitario No. 1. 31170, Chihuahua, Chihuahua. ³Facultad de Ciencias Químicas, Nuevo Campus, Universidad Autónoma de Chihuahua. Circuito No.1. 31125, Chihuahua, Chihuahua. México.

*Autor para correspondencia (qrascon@uach.mx)

RESUMEN

La producción de nixtamal en México demanda grano de maíz (*Zea mays* L.) de alta calidad. Para lograr la calidad deseada, es necesario conocer la influencia del ambiente de cultivo en las propiedades biométricas del grano. El objetivo del presente estudio fue evaluar las características de calidad del nixtamal del híbrido de maíz 'Puma' propiedad de la empresa Monsanto, cultivado durante el ciclo primavera-verano 2004 en cinco condiciones de fertilización e irrigación (50-50 %, 50-75%, 75-50 %, 75-75 % y 100-100 %, de una lámina de riego de 80 cm y 200 kg de nitrógeno ha⁻¹). El diseño estadístico fue bloques al azar con cinco repeticiones. Se consideró como 100 % una lámina de riego de 80 cm y 200 kg de nitrógeno por hectárea. Se observó que la reducción de 25 % de la lámina de agua y del nitrógeno aplicado (tratamiento 75-75 %, 60 cm de agua y 150 kg de nitrógeno), incrementó significativamente el rendimiento de grano y mejoró el proceso de nixtamalización.

Palabras clave: *Zea mays*, prolaminas, proteínas, nixtamal, tortilla.

SUMMARY

The nixtamal production in México demands high quality maize (*Zea mays* L.). To achieve the required quality, it is necessary to know the influence of cropping practices on the biometric properties of the grain. This study evaluated quality characteristics of nixtamal of hybrid maize 'Puma' distributed by Monsanto, cultivated during the 2004 Spring-Summer season with five irrigation-fertilization ratios (50-50 %, 50-75%, 75-50 %, 75-75 % y 100-100 %, of 80 cm irrigation and 200 kg of N ha⁻¹). The experimental design was a randomized block design with five replications. It was observed that reduction of 25 % in water surface and on the nitrogen applied (75-75 % treatment) significantly increased grain yield and improved the nixtamal making process.

Index words: *Zea mays*, prolamins, protein, nixtamal, tortilla.

INTRODUCCIÓN

La expresión de las características fisicoquímicas del grano de maíz (*Zea mays* L.) es influenciada por el ambiente de cultivo y dependen de la interacción genotipo x ambiente, por lo que el manejo de las prácticas agrícolas ha permitido mejorar las características del grano (Zepeda-Bautista *et al.*, 2009a). La nixtamalización es un proceso milenario desa-

rollado por las culturas mesoamericanas y aún es utilizado para la producción de tortillas (Pappa *et al.*, 2010). Se ha observado que las características fisicoquímicas del grano de maíces criollos afectan el proceso de nixtamalización (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2003).

El agua es uno de los factores ambientales que tiene más influencia sobre el grano. Chan *et al.* (1987) sometieron al maíz a estrés hídrico en diferentes etapas fenológicas y observaron disminución del rendimiento y del tamaño del grano. Otros investigadores han observado que los componentes químicos y estructurales del grano en híbridos de maíz son modificados con la dosis de nitrógeno aplicada, lo que repercute en las características del nixtamal (Zepeda *et al.*, 2007; Zepeda-Bautista *et al.*, 2009a). La aplicación de nitrógeno afecta el contenido de proteína del grano, efecto que es mayor en el grupo de las prolaminas, ya que alrededor de 52 % de las proteínas del grano son prolaminas (zeínas) que se localizan principalmente en el endospermo; las albúminas y globulinas representan 22 % de las proteínas y se concentran en el embrión; las glutelinas se encuentran tanto en el germen como en el endospermo y constituyen 25 % de las proteínas del grano. Las zeínas actúan como proteínas de reserva cuando el cultivo sufre estrés abiótico (Wilson, 1987), mediante la formación de cuerpos proteínicos rodeados por gránulos de almidón. Algunos tipos específicos de zeínas están relacionados con la dureza del endospermo (Paiva *et al.*, 1991).

Es importante conocer la influencia que tienen los factores genéticos y ambientales sobre la calidad del grano de maíz, para obtener una materia prima uniforme y mayor eficiencia en la transformación del grano a nixtamal (Billeb y Bressani, 2001; Vázquez-Carrillo y Santiago-Ramos, 2013). Diversos estudios confirman que cambios en el ambiente tiene efecto sobre características del grano y nixtamal (Lu *et al.*, 1996; Mihaljevic *et al.*, 2003; Figueroa-Cárdenas *et al.*, 2013). Varios investigadores han comparado los contenidos de proteína del grano de maíz y establecido su relación con

la textura de la tortilla (Serna-Saldívar *et al.*, 2008; Gaytan-Marínez *et al.*, 2013).

Existe poca información sobre la expresión genética en relación con características fisicoquímicas y de nixtamalización del grano (Serna-Saldívar *et al.*, 2008). El objetivo del presente trabajo fue evaluar la influencia ambiental-nutricional de un híbrido de maíz cultivado en invernadero, en cuanto a la calidad fisicoquímica del grano, en su nixtamalización y en la calidad tortillera del grano. El trabajo experimental se hizo en condiciones de invernadero debido a que se puede controlar el nivel de riego, la fertilización y el control de plagas es más eficiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el presente estudio se utilizó el híbrido de maíz comercial Puma de la empresa Monsanto. El híbrido proviene de una cruce triple, con un periodo aproximado de floración masculina de 82 d y floración femenina de 84 d, la planta tiene una altura de 252 cm y una altura de mazorca de 115 cm, y produce un grano blanco dentado. El experimento se estableció en condiciones de invernadero en un campo experimental ubicado en Chichimequillas, Querétaro, México (20.758 N, -100.342 W). La siembra se realizó durante el ciclo agrícola primavera-verano 2004.

Los tratamientos consistieron en la combinación de dos factores, lámina de riego total y nitrógeno, con las proporciones: 50-50 %, 50-75 %, 75-50 %, 75-75 % y 100-100 %; donde 100 % representó una lámina de riego total de 80 cm y 200 kg ha⁻¹ de nitrógeno. Los nutrientes fósforo y potasio fueron constantes en los cinco tratamientos, cuyas dosis fueron de 100 y 80 kg ha⁻¹, respectivamente. La siembra se hizo en macetas de 75 cm de diámetro y 70 cm de altura, con seis semillas para dejar tres plantas por maceta que simulan una densidad de población de 78,000 plantas por hectárea, comúnmente utilizada en la región "El Bajío".

Análisis físicos y químicos

Las determinaciones y análisis de las características de calidad del grano se hicieron en el Laboratorio de Calidad de Maíz ubicado en Texcoco, Estado de México. Estas variables fueron: peso de 1000 granos y peso hectolítrico, evaluados de acuerdo con los métodos ISTA (1985) y el método 44-11 de la AACC (1976); color de grano, en porcentaje de reflectancia (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2003). Para las características químicas: proteína total, expresada en g kg⁻¹ base seca, se cuantificó con el método AACC 46-11 (AACC, 2000); y las prolaminas, en g kg⁻¹ de materia seca, se midieron con el método descrito por Landry y Moureaux (1980),

con las siguientes modificaciones: determinar las prolaminas (zeínas) de manera indirecta mediante cuantificación de la proteína en el residuo de la muestra después de la extracción, en lugar de medir contenido de zeínas en el disolvente de extracción.

Calidad de nixtamal y tortilla

Para la nixtamalización del grano se utilizó una muestra de 10 kg de grano por tratamiento. El tiempo de cocción alcalina se asignó de acuerdo con la dureza del grano medida por el índice de flotación según la Norma Mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002 (2002). Después del cocimiento, las muestras se dejaron en reposo por 6 h, se enjuagó el nixtamal, y se trituró en un molino de piedras (Matus 5 MN-80®; México) para obtener la masa (Salinas y Arellano, 1989). Las tortillas se troquelaron con una tortilladora manual de rodillos marca Herrera® (México), a 1.2 mm de espesor y 12 cm de diámetro.

Posteriormente, las tortillas se cocieron en una placa metálica a 280 ± 10 °C durante 30 s por un lado, 25 s por otro y 15 s nuevamente por el primer lado; esto permitió la formación de las dos capas, delgada y gruesa, el inflado de la tortilla, respectivamente. La capa delgada de la tortilla se forma por la rápida pérdida de humedad mientras la temperatura incrementa hacia el interior; la gruesa se evidencia después de la segunda etapa de cocción de la tortilla e inflado. Una vez cocidas, se enfriaron a temperatura ambiente durante 30 min, tapadas con una manta de algodón; se empaquetaron en bloques de 20 tortillas por tratamiento en bolsas de polietileno por 2 h para evitar pérdidas de humedad y para que la temperatura descendiera gradualmente. Finalmente se almacenaron a temperatura ambiente (25 ± 2 °C).

Las características del nixtamal como la pérdida de sólidos, expresada en porcentaje, se determinó por el método de Salinas y Arellano (1989). El color de la masa y de la tortilla, expresado en porcentaje de reflectancia, se determinó con la técnica de Salinas y Vásquez (2006) para cuantificar el color de grano, mediante el colorímetro Agtron® 500-A (Nevada, USA) empleado en el sector de color en verde (546 nm). Los rendimientos de grano a masa y de grano a tortilla se determinaron a partir de 100 g de grano de la muestra nixtamalizada, y se expresaron en gramos de masa o tortilla por kilogramo de grano en base seca. Los datos se analizaron conforme a un diseño experimental de bloques al azar con cinco repeticiones. Los análisis de varianza, las pruebas de comparación de medias (Tukey) y los análisis de correlación simple se hicieron con el programa de cómputo Minitab Incorporation® (2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físicas del grano

Se encontraron efectos significativos ($P < 0.05$) de los tratamientos impuestos en las características físicas, químicas y de nixtamalización en el grano de maíz híbrido (Cuadro 1), diferencias que se deben a la variación en los niveles de lámina de riego de 40 a 80 cm y de nitrógeno aplicados de 100 a 200 kg ha⁻¹ al cultivo de maíz. La significancia en el peso de mil granos ($P < 0.05$), que estima el tamaño del grano (Billeb y Bressani, 2001), muestra que todos los tratamientos que no recibieron el 100 % de las dosis de agua y nitrógeno presentaron un grano de menor tamaño (Cuadro 1). Similarmente, en un estudio sobre la interacción genotipo x ambiente Salazar-Martínez *et al.* (2009) encontraron que el peso del grano de maíz está influenciado en 80 % por el medio ambiente. La respuesta aquí encontrada en el peso de mil granos (Figura 1), muestra que a mayor lámina de riego el peso del grano se incrementa cuando hay mayor disponibilidad de nitrógeno en el suelo, mientras que el peso del grano disminuye con una menor lámina de riego y un incremento en el nivel de nitrógeno.

El peso hectolítrico fue superior en el tratamiento (riego-nitrógeno) 100-100 % ($P < 0.05$), en comparación con el resto de los tratamientos (Cuadro 1). La expresión de las características fisicoquímicas del grano por lo general está definida por factores ambientales como disponibilidad de agua y nutrientes (Chan *et al.*, 1987), así como la interacción genotipo x ambiente (Zepeda *et al.*, 2007). En el peso hectolítrico (indicador de la densidad) del grano existe una leve interacción entre riego y nitrógeno (Figura 2), ya que a mayor lámina de riego la densidad del grano se disminuye cuando hay mayor disponibilidad de nitrógeno en el suelo, mientras que la densidad del grano aumenta con una menor lámina de riego y un incremento en el nivel de nitrógeno.

Los tratamientos del experimento afectaron el color del grano (Cuadro 1), ya que el estrés por agua y nitrógeno en el híbrido de maíz generaron un mayor porcentaje de reflectancia en el grano ($P < 0.05$). Zepeda *et al.* (2007) encontraron en el cultivo de maíz que al incrementar el nivel de nitrógeno de 150 a 300 kg ha⁻¹ el color blanco del grano disminuyó. No obstante, de acuerdo con las especificaciones de la industria de la masa y la tortilla (Norma Mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002, 2002), todos los tratamientos aquí evaluados cumplieron con el peso hectolítrico estándar

Cuadro 1. Características físicas, químicas y de nixtamalización en el grano del maíz híbrido Puma cultivado en invernadero.

Características	Tratamientos: riego (%) - nitrógeno (%)					CV [†]
	50-50	50-75	75-50	75-75	100-100	%
Físicas						
Peso mil granos, g	267.0 b	250.0 b	249.5 b	257.4 b	353.2 a	14.4
Peso hectolítrico, kg hL ⁻¹	75.9 d	76.5 c	77.8 b	77.5 b	78.3 a	0.2
Color del grano, % R [‡]	72.3 a	71.4 ab	70.3 bc	69.5 c	63.1 d	0.8
Químicas:						
Proteínas, g kg ⁻¹	109.0 b	117.0 a	120.0 a	118.0 a	90.0 c	10.2
Prolaminas, g kg ⁻¹	64.7 a	62.3 b	60.4 b	63.2 a	63.9 a	9.2
Nixtamalización						
Pérdida de sólidos, %	2.4 b	3.1 a	2.7 ab	2.8 ab	2.6 b	7.9
Color de masa, % R [‡]	72.2 c	80.3 a	77.0 ab	80.9 a	78.8 a	4.0
Rendimiento grano:masa, g	1736 a	166 1b	1668 b	1750 a	1669 b	2.8
Color de tortilla, % R [‡]	67.0 c	80.8 a	75.3 b	81.8 a	78.3 a	6.8
Rendimiento grano:tortilla, g	1606 a	1536 b	1560 b	1618 a	1549 b	2.6
Rendimiento						
Grano, t ha ⁻¹	12.86 b	14.81 b	13.53 b	18.83 a	18.44 a	11.3
Masa, t ha ⁻¹	22.40 b	22.96 b	24.64 b	32.99 a	30.82 a	13.7
Tortilla, t ha ⁻¹	20.73 c	22.77 c	21.19 c	30.48 a	28.61 b	13.3

Medias con letras iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). [†]CV = coeficiente de variabilidad; % R = porcentaje de reflectancia.

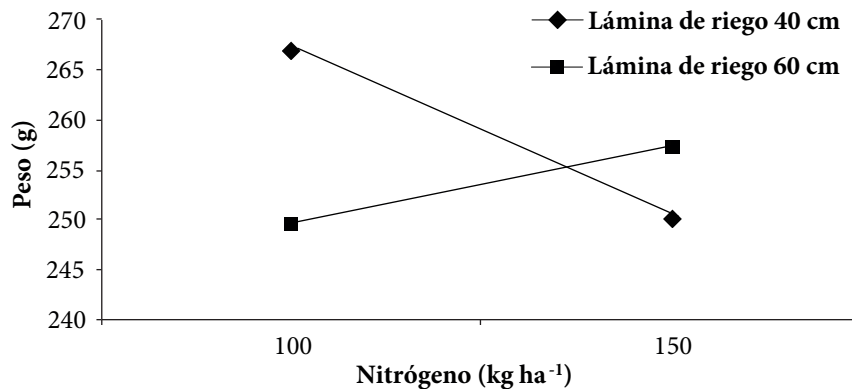


Figura 1. Peso de mil granos del maíz híbrido Puma cultivado en invernadero bajo dos láminas de riego: 40 y 60 cm (50 % y 75 % del requerimiento del cultivo), y dos niveles de nitrógeno: 100 y 150 kg ha⁻¹ (50 % y 75 % del requerimiento del cultivo).

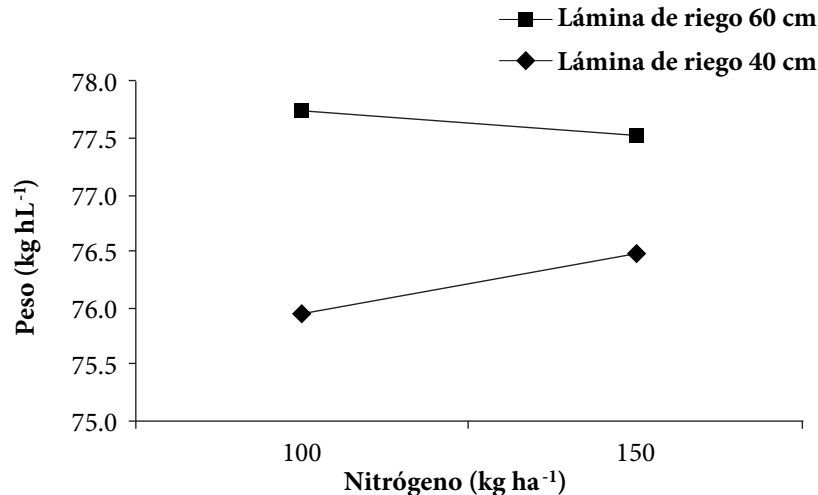


Figura 2. Peso hectolítrico del grano de maíz híbrido Puma cultivado en invernadero bajo dos láminas de riego: 40 y 60 cm (50 % y 75 % del requerimiento del cultivo), y dos niveles de nitrógeno: 100 y 150 kg ha⁻¹ (50 % y 75 % del requerimiento del cultivo).

del grano (> 74 kg hL⁻¹), de modo que los bajos niveles de agua y nitrógeno (70-70 %) no tienen impacto en la densidad del grano o peso hectolítrico.

Características químicas del grano

Los tratamientos con menores dosis de riego-nitrógeno (*i.e.*, 50-75 %, 75-50 % y 75-75 %) presentaron mayor contenido de proteína en grano versus el resto de los tratamientos (Cuadro 1). En cambio, Zepeda-Bautista *et al.* (2009b) reportaron un aumento en el contenido de proteína, de 9.90 a 10.23 %, al incrementar las dosis de nitrógeno de 125 a 225 kg ha⁻¹. El contenido de proteína en los tratamientos aquí evaluados varió de 90 a 120 g kg⁻¹ de materia seca, que son valores superiores a los reportados por Serna-Saldivar

et al. (2008), pero parecidos a los reportados por Méndez-Montalvo *et al.* (2005) y Reta *et al.* (2007).

La concentración de prolaminas (zeínas) en grano varió de 62.3 a 64.7 g kg⁻¹ de materia seca (Cuadro 1), valores superiores a los reportados por Sánchez *et al.* (2007). En el peso de prolaminas del grano seco no se detectó interacción entre riego y nitrógeno (Figura 3), ya que independientemente de la lámina de riego el contenido de prolaminas en granos se incrementó cuando hubo mayor disponibilidad de nitrógeno en el suelo. Es decir, que la diferencia en la acumulación de proteínas es debida a un factor distinto. Se puede inferir entonces que la aplicación de fertilizante nitrogenado puede elevar el contenido de proteína del grano de maíz, como lo reportaron López *et al.* (2009). También se ha estudiado

la influencia de la inserción de genes que codifican para proteínas de reserva, mediante ingeniería genética, en el contenido de proteínas en el grano de maíz (Rascón-Cruz *et al.*, 2004).

Características de nixtamalización del grano

Si bien las pérdidas de sólidos en el agua de cocimiento (nejayote) fueron diferentes entre tratamientos ($P < 0.05$), con valores que variaron de 2.4 a 3.1 % (Cuadro 1), todos ellos son inferiores al máximo especificado (5 %) en la Norma Mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002, (2002).

En el color de la masa y la tortilla se observó una similitud entre los tratamientos aplicados (Cuadro 1), ambos contrastantes con el efecto en el color del grano. Así, el tratamiento 50-50 % obtuvo el menor porcentaje de reflectancia en masa y tortilla ($P < 0.05$) mientras que en el color de grano produjo el mayor valor. Estos resultados son opuestos a los reportados por Vázquez-Carrillo *et al.* (2003), quienes encontraron una correlación positiva entre color de grano y color de la tortilla recién hecha. En nuestro estudio se encontró correlación significativa ($r = 0.844$; $P < 0.01$) entre pérdida de sólidos y color de la tortilla (Figura 4). Según Salinas-Moreno *et al.* (2007), el color de la tortilla está determinado por el proceso de nixtamalización y la composición química del grano en compuestos fenólicos, mientras que Cabrera-Soto *et al.* (2009) reportaron una correlación significativa (0.882) entre contenido de fenoles y peso hectolítrico.

En los rendimientos de grano a masa y de grano a tortilla

se registró un comportamiento similar en cada tratamiento (Cuadro 1), similar al reportado por Vázquez-Carrillo *et al.* (2003). Es decir, los tratamientos 50-50 % y 75-75 % de riego-nitrógeno obtuvieron los más altos rendimientos ($P < 0.05$). Sin embargo, no fue posible establecer una interacción lineal entre el agua y el nitrógeno. Según Martínez-Bustos *et al.* (2001), un mayor rendimiento de grano a tortilla se debe a un mayor contenido de pericarpio en la masa, el cual actúa como goma natural y favorece una mayor retención de humedad.

En el rendimiento en toneladas por hectárea (Cuadro 1), los tratamientos 75-75 % y 100-100 % obtuvieron los mayores rendimientos de grano y masa ($P < 0.05$), mientras que el tratamiento 75-75 % presentó el mayor rendimiento de grano a tortilla ($P < 0.05$). Lo relevante de estos resultados está en el ahorro de los recursos bióticos, ya que con 25 % menos agua de riego y de nitrógeno se puede obtener un mayor rendimiento de tortilla, sin afectar el rendimiento agrícola del grano. El tratamiento 75-75% dio un menor peso hectolítrico que el tratamiento 100-100 %, que impacta en una mayor suavidad del grano y una mayor capacidad de absorber agua en la masa y la tortilla. Por su parte, Vázquez-Carrillo *et al.* (2003) afirmaron que a mayor contenido de proteína en grano es menor el rendimiento agrícola de grano.

Entre las características fisicoquímicas del grano y las características de nixtamalización (Cuadro 2), se encontró una correlación positiva entre prolaminas y los rendimientos de grano a masa y grano a tortilla ($P < 0.05$), mientras que las características peso de mil granos y peso hectolítrico

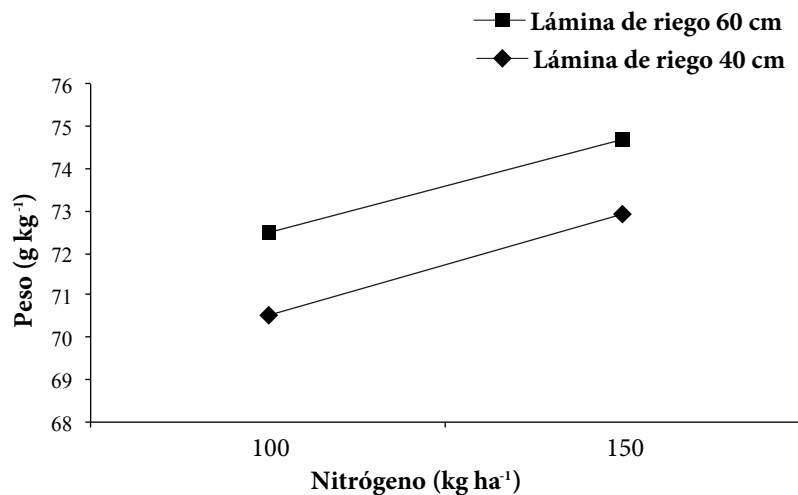


Figura 3. Peso de prolaminas en grano seco de maíz híbrido Puma cultivado en invernadero bajo dos láminas de riego: 40 y 60 cm (50 % y 75 % del requerimiento del cultivo), y dos niveles de nitrógeno: 100 y 150 kg ha⁻¹ (50 % y 75 % del requerimiento del cultivo).

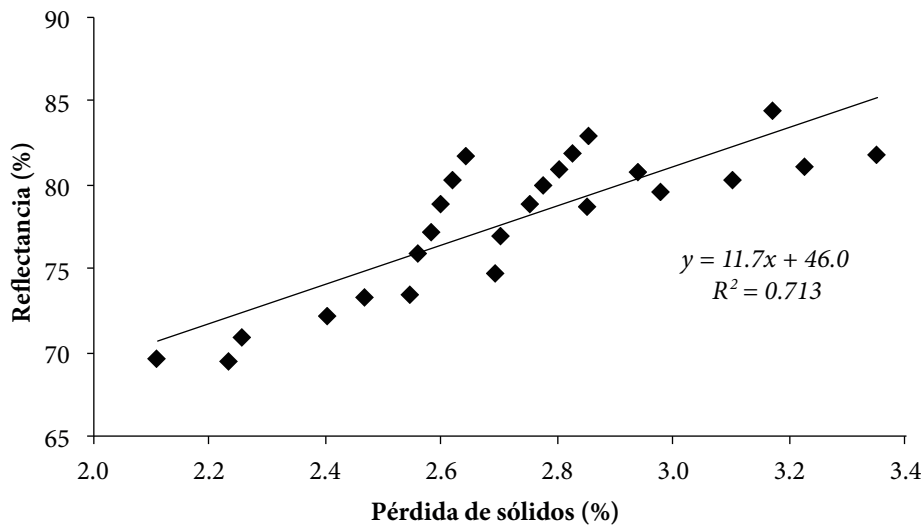


Figura 4. Regresión lineal entre pérdida de sólidos y color de la tortilla (P ≤ 0.01).

del grano presentaron una correlación negativa con los rendimientos de grano a masa y grano a tortilla, quizá debido a que el grano más pequeño y con menor densidad, se cocina con mayor rapidez y capta más humedad. Resultados similares fueron reportados por Salazar-Marínez *et al.* (2009).

CONCLUSIONES

El maíz híbrido Puma cultivado en invernadero con varias combinaciones de riego y fertilización nitrogenada, mostró modificaciones en las características fisicoquímicas del grano y en la calidad y rendimiento del grano a masa y tortilla. El tratamiento con 75 % del riego y 75 % de nitrógeno propició un grano con características físicas aceptables para el proceso de nixtamalización y una alta tasa de transformación a masa y tortilla, sin afectar el color. Este resultado tiene impacto ambiental en el uso de los recursos bióticos, ya que con 25 % menos de agua y 25 % menos de fertilizante nitrogenado puede dar un mayor rendimiento de tortilla por hectárea. Los granos pequeños con baja densidad y alto contenido de prolaminas se asocian con altos rendimientos de masa y tortilla.

BIBLIOGRAFÍA

AACC, American Association of Cereal Chemists (1976) Approved Methods of the AACC. The Association, 7 th ed. St. Paul, MN.

AACC, American Association of Cereal Chemists (2000) Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 10th ed. Chemists, St. Paul, MN.

Billeb A. S. and R. Bressani (2001) Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 51:81-94.

Cabrera-Soto M. L., Y. Salinas-Moreno, G. A. Velásquez-Cardelas y E. Espinosa-Trujillo (2009) Contenido de fenoles solubles e insolubles en las estructuras del grano de maíz y su relación con las propiedades físicas. *Agrociencia* 43:827-839.

Chan C. J., A. J. Bravo y F. J. Flores (1987) Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera del maíz de riego en zonas semiáridas. *Terra* 5:132-139.

Figueroa-Cárdenas J.D., D. E. Narváez-González, A. Mauricio-Sánchez, S. Taba, M. Gaytán-Martínez, J.J. Vélez-Medina, F. Rincón-Sánchez y F. Aragón-Cuevas (2013) Propiedades físicas del grano y calidad de los grupos radicales de maíces nativos (criollos) de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36 Supl. 3-A:305-314.

Gaytán-Martínez M., J. D. Figueroa-Cárdenas, M. L. Reyes-Vega, E. Morales-Sánchez y F. Rincón-Sánchez (2013) Selección de Maíces Criollos para aplicaciones en la industria con base en su valor agregado. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36 Supl. 3-A:339-346.

ISTA, International Seed Testing Association (1985) International Rules for Seed Testing. Annexes 1985. *Seed Science & Technology*

Cuadro 2. Correlaciones parciales entre características fisicoquímicas del grano y nixtamalización, de maíz híbrido Puma cultivado en invernadero.

Fisicoquímicas [†]	Nixtamalización				
	PS	CM	RGM	CT	RGT
Peso de mil granos	0.157	0.387	-0.570*	0.387	-0.536*
Peso hectolítrico	-0.056	0.317	-0.557*	0.323	-0.533*
Color del grano	0.163	-0.211	0.299	-0.215	0.265
Prolaminas	0.025	-0.058	0.671*	-0.069	0.586*

* P ≤ 0.05; PS = pérdida de sólidos; CM = color de masa; RGM = rendimiento grano:masa; CT = color de tortilla; RGT = rendimiento; grano:tortilla.

- 13:356-513.
- Landry J. and T. Moureaux (1980) Distribution and amino acid composition of protein groups located in different histological parts of maize grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 28:1186-1191.
- López R. R., R. M. Arteaga, P. Vázquez, C. López y C. Sánchez (2009) Índice de estrés hídrico como un indicador del momento de riego en cultivos agrícolas. *Agricultura Técnica en México* 35:92-106.
- Lu C., L. Shen, Z. Tan, Y. Xu, P. He, Y. Chen and L. Zhu (1996) Comparative mapping of QTLs for agronomic traits of rice across environments using a doubled haploid population. *Theoretical and Applied Genetics* 93:1211-1217.
- Martínez-Bustos F., H. E. Martínez-Flores, E. San Martín-Martínez, F. Sánchez-Sinencio, K. L. Chang, D. Barrera-Arellanos and E. Ríos (2001) Effect of the components of maize on the quality of masa and tortillas during the traditional nixtamalization process. *Journal of Science and Food Agriculture* 81:1455-1462.
- Méndez-Montalvo G., J. Solorza-Feria, M. Velázquez del Valle, M. Gómez-Montiel, O. Paredes-López y L. Bello-Pérez (2005) Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivadas en México. *Agrociencia* 39:267-274.
- Mihaljevic H., F. Utz and A. E. Melchinger (2003) Congruency of quantitative trait loci detected for agronomic traits in testcrosses of five populations of European maize. *Crop Science* 44:114-124.
- Minitab Incorporation (2004) Minitab 15 statistical software, Version 15.1.30.0. State College, USA.
- Norma Mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002 (2002) Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-cereales-maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado. SAGARPA. Dirección General de Normas. México, D. F. 18 p.
- Paiva E., A. L. Kriz, M. J. Peixoto, J. C. Wallace and B. A. Larkins (1991) Quantitation and distribution of γ -zein in the endosperm of maize kernels. *Cereal Chemistry* 68:276-279.
- Pappa M. R., P. P. de-Palomo and R. Bressani (2010) Effect of lime and wood ash on the nixtamalization of maize and tortilla chemical and nutritional characteristics. *Plant Foods for Human Nutrition (Formerly Qualitas Plantarum)* 65:130-135.
- Rascón-Cruz Q., S. Sinagawa-García, J. A. Osuna-Castro, N. Bohorova and O. Paredes-López (2004) Accumulation, assembly, and digestibility of amarantin expressed in transgenic tropical maize. *Theoretical and Applied Genetics* 108:335-342.
- Reta D., J. W. Cueto, M. A. Gaytán y C. J. Santamaría (2007) Rendimiento y extracción de nitrógeno, fósforo y potasio de maíz forrajero en surcos estrechos. *Agricultura Técnica en México* 33:145-151.
- Salazar-Martínez J., A. Guevara-Escobar, G. Malda-Barrera, C. H. Rivera-Figueroa y Y. Salinas-Moreno (2009) Componentes de varianza de caracteres de maíz asociados al nixtamal. *Tecnociencia Chihuahua* 3:74-83.
- Salinas M. Y. y J. L. Arellano (1989) Calidad nixtamalera y tortillera de híbridos de maíz con diferente tipo de endospermo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 12:129-135.
- Salinas M. Y. y G. Vázquez C. (2006) Metodología de análisis de calidad nixtamalera-tortillera. INIFAP. In: Folleto Técnico No. 24. Campo Experimental Valle de México, Chapingo, México. pp:35-42.
- Salinas-Moreno Y., J. J. López-Reynoso, G. B. González-Flores y G. Vázquez-Carrillo (2007) Compuestos fenólicos de grano de maíz y su obscurecimiento de masa y tortilla. *Agrociencia* 41:295-305.
- Sánchez del C. F., Y. Salinas M., C. M. G. Vázquez C., G. A. Velázquez C. y N. Aguilar G. (2007) Efecto de las prolaminas del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre la textura de la tortilla. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 57:295-301.
- Serna-Saldívar S. O., C. Z. Amaya-Guerra, P. Herrera-Macías, J. L. Melisio-Cuéllar, R. Preciado-Ortiz, A. D. Terrón-Ibarra and G. Vázquez-Carrillo (2008) Evaluation of the lime-cooking and tortilla making properties of quality protein maize hybrids grown in Mexico. *Plant Foods Human Nutrition* 63:199-125.
- Vázquez-Carrillo M. G., L. Guzmán-Báez, J. L. Andrés-García, F. Márquez-Sánchez y J. Castillo-Merino (2003) Calidad de granos y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26: 231-235.
- Vázquez-Carrillo M. G. y D. Santiago-Ramos (2013) Características fisicoquímicas y calidad del pozole del maíz Cacahuacintle procesado mediante tres métodos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36 Supl. 3-A:357-366.
- Wilson M C (1987) Proteins of the kernel. In: Corn: Chemistry and Technology, Watson S. A. and P. T Ramstad (ed.) Am. Assoc. Cereal Chemists, St. Paul, MN. pp:273-277.
- Zepeda B. R., A. Carballo C., A. Muñoz O., J. A. Mejía C., B. Figueroa S. y F. González C. (2007) Fertilización nitrogenada y características físicas, estructurales y calidad del nixtamal-tortilla del grano de híbridos de maíz. *Agricultura Técnica en México* 33:17-34.
- Zepeda-Bautista R., A. Carballo-Carballo y C. Hernández-Aguilar (2009a) Interacción genotipo-ambiente en la estructura y calidad del nixtamal-tortilla del grano de híbridos de maíz. *Agrociencia* 43:695-706.
- Zepeda-Bautista R., A. Carballo-Carballo, A. Muñoz-Orozco, J. A. Mejía-Contreras, B. Figueroa-Sandoval, F. V. González-Cossío y C. Hernández-Aguilar (2009b) Proteína, triptófano y componentes estructurales del grano de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) producidos bajo fertilización. *Agrociencia* 43:143-152.