

Efecto de las prolaminas del grano de maíz (*Zea mays L.*) sobre la textura de la tortilla

Sánchez F. C., Salinas M. Y., Vázquez C. M. G., Velázquez C. G.A., Aguilar G. N.

Departamento de Ingeniería Agroindustrial, DIA, UACH. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Chapingo, Méx. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. México

RESUMEN. Las prolaminas (zeínas) representan la principal proteína de reserva en el grano de maíz y poco se conoce sobre su participación en la textura de la tortilla. Para determinar su efecto, se evaluaron 6 híbridos de tipo normal y 6 de calidad proteínica (QPM, por sus siglas en inglés). Las variables químicas incluyeron prolaminas, amilosa y almidón. Se determinó la viscosidad de las harinas y la textura de las tortillas en términos de la fuerza de ruptura a tensión y elongación. El contenido de prolaminas en los maíces normales fue 64% más elevado en comparación con los QPMs. No se observó relación entre el contenido de prolaminas y las propiedades de viscosidad de las harinas, como tampoco se halló relación de esta fracción proteínica con la dureza de la tortilla, pero sí con la elongación, que mostró una correlación negativa con la cantidad de prolaminas. Las tortillas con mejores características de textura fueron H-161 en maíces normales y H-143C en maíces QPM, ambos maíces presentaron los granos más pequeños dentro de su grupo. Los resultados muestran que un elevado contenido de prolaminas en el grano de maíz podría estar limitando la textura de la tortilla en términos de su elongación.

Palabras clave: Maíz, tortilla, prolaminas, textura, aminoácidos.

INTRODUCCION

El grano de maíz presenta un contenido de proteína que varía de 7% a 12%, dependiendo del maíz de que se trate, en general los de endospermo suave tienen menor contenido que los de endospermo duro (1). Del total de la proteína del grano entero, alrededor de 52% son prolaminas (zeínas), y se localizan principalmente en el endospermo del grano, el resto lo constituyen las albúminas y globulinas (22%), las cuales se concentran en el germen, y las glutelinas (25%) que se encuentran tanto en el germen como en el endospermo (2).

Las prolaminas (zeínas) constituyen el 60 % de la proteína total del endospermo en variedades de maíz normal, pero en maíces que poseen el gen mutante *opaque-2*, esta cantidad se reduce considerablemente ya que el gen limita la producción de zeínas (3), y favorece la de albúminas y glutelinas. Estas últimas forman la matriz proteínica en la que se encuentran inmersos los gránulos de almidón, en tanto que las zeínas conforman cuerpos proteínicos que los rodean. Algunos tipos

SUMMARY. Effect of the prolamins in maize (*Zea mays L.*) grain on tortilla texture. The prolamins (zeins) are the main storage proteins in the maize grain. There are limited investigations related to their participation on tortilla texture. For determining their effect, normal (6) and Quality Protein Maize (QPM) (6) genotypes were used. The chemical variables comprised prolamins, amylose and starch in whole grain and endosperm. Viscosity of the raw endosperm flour was determined as well as the tortilla texture, expressed in terms of tension force and elongation. Prolamin content in the normal maize was 64 % higher than that in the QPMs. It was not observed any relationship between prolamin content and flour viscosity. The prolamin content was not related with tortilla hardness, measured as the tension force to rupture the tortilla, but a negative correlation was observed with tortilla elongation. The tortillas with the best texture characteristics were from H-161 normal maize and H-143 QPM maize, both genotypes showed the smallest grain in its respective group. According to the results obtained in the present work, a high prolamin content in maize grain could be affecting tortilla elongation.

Keys words: Maize, tortilla, prolamins, texture, aminoacids.

específicos de zeínas están relacionados con la dureza del endospermo del grano (4).

El papel que desempeñan las diferentes fracciones proteínicas del grano de maíz en las características de textura de la tortilla no ha sido claramente establecido. Trabajos como los de Cortéz y Wild-Altamirano, (5) fueron pioneros en señalar la posible participación de las glutelinas en la elasticidad de las tortillas preparadas a partir de maíces con endospermo duro. Más recientemente, Vázquez (6) realizó una evaluación de las diferentes fracciones proteínicas presentes en variedades de maíz tanto nativas como mejoradas, y su relación con la textura de la tortilla. Dentro de las variedades nativas se incluyó la raza Pepitilla, que es un maíz harinoso, del cual se obtienen tortillas cuya calidad es altamente reconocida por los consumidores de la región centro de México. Este maíz, con un contenido de proteína elevado, no obstante de ser de textura harinosa, presentó la mayor fracción de glutelina II, dentro de los maíces nativos investigados y sus tortillas fueron las de mayor elasticidad.

En pruebas de nixtamalización realizadas en nuestro laboratorio, las tortillas obtenidas de maíces de calidad proteínica (QPM) han resultado más suaves y flexibles que las de los maíces normales. Las características físicas del grano en ambos tipos de maíces son similares, excepto el tamaño del grano, que en los híbridos QPM tiende a ser menor que en los normales. El objetivo del estudio fue determinar si el menor contenido de prolaminas en el endospermo de los maíces QPM está relacionado con las características de textura favorables observadas en sus tortillas.

MATERIALES Y METODOS

Material de estudio

Se utilizaron 12 híbridos de maíz, seis de ellos comunes o normales y los otros seis QPMs. Los primeros son cultivares comerciales cultivados en zonas tropicales y de Valles Altos de México, los segundos también son comerciales, cultivados en zonas de trópico y subtropical.

Métodos

Caracterización física del grano

Las variables fueron: humedad del grano y peso hectolítrico (Métodos 44-11 y 14-40, AACCC (7), índice de flotación (8), peso de 100 granos, color de grano medido como porcentaje de reflectancia mediante el colorímetro Agtron 500-A, empleando el selector de color en verde (546 nm), y textura por disección (9). Todos los análisis se realizaron por duplicado.

Caracterización química del grano

La evaluación de las variables químicas se practicó en harina seca obtenida de la molienda del grano entero y de endospermo en un molino ciclónico UDY (Sample Mill, marca Tecator, Mod. 1093) con tamiz 0.5 mm. Las variables fueron; almidón (10), amilosa (11), proteína total (12), prolaminas (13), que se obtuvieron de la diferencia entre la proteína total y la del residuo sin prolaminas, triptofano (14), y lisina (15). El contenido de amilopectina se obtuvo de la diferencia entre el contenido de almidón y la amilosa.

Propiedades de formación de pasta de harinas de maíz

Las pruebas de viscosidad se llevaron a cabo en harina cruda de endospermo, ya que es en esta estructura donde se concentran las prolaminas, y se quería ver su efecto en el desarrollo de viscosidad. Se utilizó un analizador de viscosidad Rapid Visco Analyser (Newport Scientific Pty. Warriewood, NSW, Australia). De la curva resultante se obtuvieron los parámetros: temperatura de inicio de formación de pasta (TIP) en °C, viscosidad máxima (VM) desarrollada en centipoises (cP), y la viscosidad final (VF), también en cP.

Nixtamalización del material de estudio

Se realizó a partir de 100 g de grano, utilizando 1 % de cal comercial (Nixtocal) y 200 mL de agua destilada. Se mezclaron los componentes en un vaso de precipitados de 600 mL y se calentaron en una parrilla para nixtamalización hasta ebullición, asignando su tiempo de cocimiento de acuerdo a la dureza del grano (medida por el índice de flotación).

Después del cocimiento, las muestras se dejaron en reposo por 14-16 horas a temperatura ambiente para después enjuagar el nixtamal y molerlo en un molino de piedras para obtener la masa (16). Las tortillas se moldearon en una prensa manual y se cocieron sobre una plancha metálica. Una vez cocidas, se enfriaron a temperatura ambiente durante 30 minutos tapadas con una manta de algodón y posteriormente se empacaron en bloques de 20 tortillas por tratamiento en bolsas de polietileno (Ziploc), envueltas en una manta para evitar pérdidas de humedad. Se almacenaron a temperatura ambiente ($25 \pm 2^\circ\text{C}$). Para tener la cantidad de tortillas requerida para las evaluaciones de textura, fue necesario nixtamalizar varias repeticiones de 100 g de grano cada una.

Fuerza a la tensión y elongación de tortilla

Se empleó la metodología descrita por Arámbula-Villa *et al.* (17), que consiste en cortar una pieza en forma de probeta "I" de la parte central de la tortilla, con un molde de lámina diseñado especialmente para esta prueba. Este corte se sujeta con las pinzas del equipo Texture Analyser TA-XT2i (Stable Micro Systems, England), y se somete a una fuerza a tensión. De las curvas resultantes se obtuvo la fuerza máxima requerida para romper la tortilla (fuerza a la tensión) y la distancia recorrida hasta el corte de la pieza, que se tomó como la elongación de la tortilla en mm. Las evaluaciones se hicieron en tortilla fría y por cuadruplicado.

La textura se empezó a monitorear a partir de las 3 horas de haber sido elaboradas las tortillas, en periodos de 2 horas hasta las 12 horas, posteriormente se realizaron otras dos mediciones, una a las 24 y otra a las 48 horas.

Diseño estadístico

Los resultados se sometieron a un análisis de varianza y comparaciones de medias (Tukey $\alpha=0,05$), utilizando un diseño completamente aleatorizado, el análisis estadístico se realizó usando el programa de cómputo SAS (Statistical Analysis System, (18), versión 6.0).

RESULTADOS

Características físicas y químicas de los maíces

De las variables físicas del grano, sólo se encontró diferencia estadística para el tamaño del grano y el porcentaje de pico, entre los dos grupos de maíces (Tabla 1). De acuerdo a esta primera variable, los maíces normales analizados se ubi-

can dentro de la categoría de granos grandes o medianos, mientras que los QPMs se consideran de grano pequeño.

TABLA 1
Características físicas de maíces normales y QPM

Maíces	HG %	PH (kg hl ⁻¹)	IF %	CG %R	PCG g	P %	Pr %	G %
Normales	11,7* ^a	78,8 ^a	28,3 ^a	61 ^a	35,1 ^a	1,0 ^b	5,3 ^a	11,5 ^a
QPMs	12,2 ^a	79,3 ^a	20,5 ^a	64 ^a	28,7 ^b	1,6 ^a	6,0 ^a	12,4 ^a
DSH	0,95	1,18	9,7	3,9	3,5	0,30	0,9	0,93

HG: humedad de grano, PH: peso hectolítrico; IF: índice de flotación; CG: color de grano (% de reflectancia); PCG: peso de cien granos, P: pico; Pr: pericarpio; G: germen.

* Valores con la misma letra en la misma columna, son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0,05$); DSH: Diferencia significativa honesta.

El índice de flotación (IF) y el peso hectolítrico (PH), que son parámetros asociados con la dureza del grano, fueron iguales entre los dos grupos de maíces.

Todos los granos se clasificaron como de color blanco, presentando valores de reflectancia por encima de 55%.

El grupo de maíces normales presentó en promedio un contenido de almidón de 73,3% y el de QPMs de 77,1%. No se observó diferencia en los contenidos de amilosa y amilopeptina entre los dos grupos de maíces. El porcentaje de proteína fue mayor en los maíces normales en relación a los QPMs (Tabla 2).

TABLA 2
Almidón, amilosa, amilopeptina y proteína en el grano de maíces normales y QPM

Maíces	Alm %	Aml %	Amp %	Prt %
Normales	73,3 ^b *	27,0 ^a	73,0 ^a	9,6 ^a
QPMs	77,1 ^a	27,7 ^a	72,3 ^a	8,5 ^b
DSH	1,0	1,41	1,41	0,38

Alm: almidón; Aml: amilosa; Amp: Amilopeptina; Prt: proteína.

*: Valores con la misma letra en la misma columna, son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0,05$); DSH: Diferencia significativa honesta.

Prolaminas y aminoácidos esenciales

El grano entero de los maíces QPM presentó un contenido de prolaminas (zeínas) inferior al de los maíces normales (Tabla 3). El rango observado en estos maíces fue de 26,2% a 32,2%, sin que existiera diferencia significativa entre ellos; en los maíces normales fue de 42,0% a 51,4%, teniendo el mayor porcentaje el híbrido H-161 y los menores los híbridos A-791 y Puma (Figura 1).

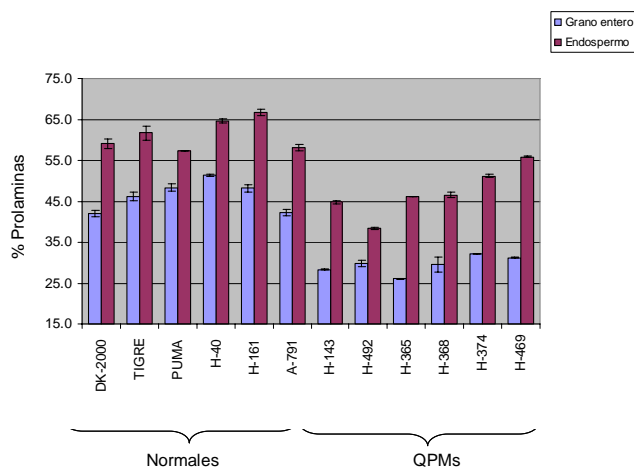
TABLA 3
Contenido de prolaminas, lisina y triptofano en el grano entero de los maíces bajo estudio

Maíces	Prm %	Lis %P	Trip %P
Normales	46,4* ^a	3,5 ^b	0,768 ^b
QPMs	29,5 ^b	5,5 ^a	1,105 ^a
DSH	2,49	0,48	0,09

Prm: prolaminas; L: lisina (% en proteína); T: triptofano (% en proteína).

*: Valores con la misma letra en la misma columna, son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0,05$); DSH: Diferencia Significativa Honesta.

FIGURA 1
Contenido de prolaminas en grano entero y endospermo de los maíces normales y QPMs



El porcentaje de prolaminas en el endospermo de los maíces normales y QPMs fue mayor que el observado en el grano entero (Figura 1).

En los maíces QPMs el contenido promedio de lisina y triptofano fue de 5,5% y 1,105%, en ese orden, valores que son mayores a los que se presentaron en los maíces normales, que fueron de 3,5% y 0,768%, respectivamente (Tabla 3).

Propiedades de formación de pasta de harinas de maíz

No existió diferencia estadística de la TIP entre los maíces normales y los QPMs. Los maíces normales presentaron mayor variabilidad en viscosidad máxima (VM) y viscosidad final (VF) que los QPMs (Tabla 4). En los primeros la VM varió desde 2555 hasta 4115 cP, en tanto que en los maíces QPMs fue de 3064 a 4095 cP; para la VF se apreció también un rango más amplio entre los maíces normales, con relación a los QPMs (Tabla 4).

TABLA 4
Variables de viscosidad en harinas crudas de endospermo de maíces normales y QPM

Híbridos	TIP °C	VM cP	VF cP
Normal			
DK-2000	70,7	3295	4576
TIGRE	69,9	4115	5370
PUMA	71,3	3799	5264
H-40	70	2555	3993
H-161	69,3	3651	4863
A-791	69,9	3568	5023
Promedio	70,2	3497,2	4848,2
QPM			
H-143	71,3	4095	5500
H-492	72,6	3472	5078
H-365	69,8	3705	5136
H-369	73,2	3713	5458
H-374	72	3064	4771
H-469	72,5	3106	4943
Promedio	71,9	3525,8	5147,7

TIP: temperatura de inicio de pasta; VM: viscosidad máxima; VF: viscosidad final; cP: centipoises.

En los maíces normales, el híbrido con mayor VM fue Tigre y el de menor H-40, el resto de los maíces mostraron un patrón parecido entre ellos e intermedio con relación a los dos antes mencionados. En el ciclo de enfriamiento, los de mayor VF fueron los maíces Tigre y Puma y el de menor el H-40 (Figura 2A). En los maíces QPMs, los híbridos H-469 y H-374 se caracterizaron por un menor desarrollo de viscosidad, en relación al resto de los materiales de este grupo, (Figura 2B). Estos maíces tuvieron los valores de prolaminas más elevados dentro de su grupo.

Textura (fuerza de ruptura y elongación)

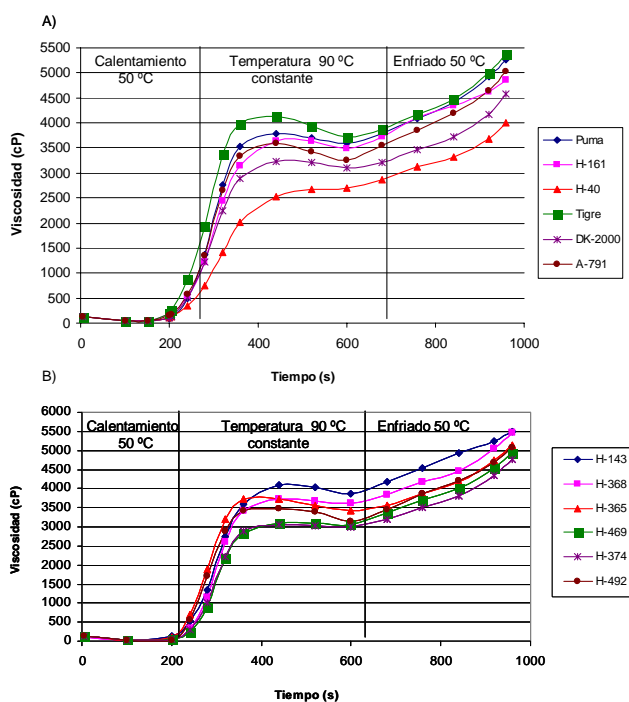
Los cambios más importantes en la textura de las tortillas de este estudio ocurrieron entre la tercera y onceava hora después de haber sido preparadas, después de este tiempo fueron de menor variación, aunque continuaron endureciéndose durante todo el periodo de evaluación.

La fuerza de ruptura fue estadísticamente igual entre las tortillas de los dos grupos de maíces, en cada tiempo de evaluación.

Las tortillas de los maíces normales tuvieron patrones de endurecimiento diferentes. El patrón uno, descrito por las del maíz DK-2000 caracterizado por un endurecimiento lento pero continuo, durante el periodo de evaluación; el patrón dos, mostrado por las del H-161, definido por un endurecimiento muy lento, casi asintótico a partir de la onceava hora. El resto de los maíces tuvieron un patrón intermedio entre estos dos,

caracterizado por un endurecimiento acelerado durante las primeras 11 horas después de haber sido elaboradas, y lento durante las siguientes 37 horas. De estos maíces, las tortillas con mejor perfil de textura fueron las del H-161 (Figura 3A). En los maíces QPMs, las tortillas del H-143 presentaron el patrón tipo uno, con un endurecimiento lento después de las 11 horas de almacenamiento, las de los demás maíces presentaron el patrón tipo 2, pero las de los maíces H-374 y H-365 mostraron tendencia a continuar endureciéndose después de las 48 horas (Figura 3B).

FIGURA 2
Viscoamilogramas de harina cruda de endospermo de maíces Normales (A) y maíces QPMs (B)



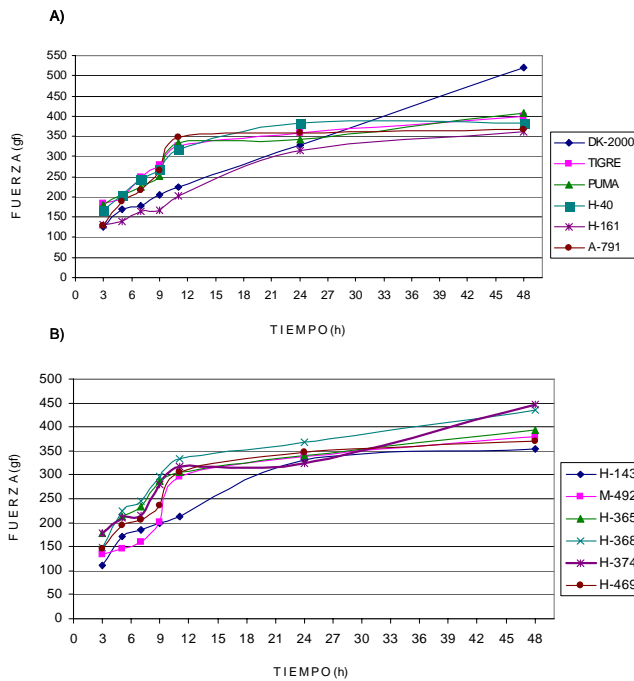
La correlación negativa entre el contenido de pericarpio en el grano y la dureza de las tortillas a las tres horas de haber sido elaboradas fue significativa, y altamente significativa para las lecturas registradas a las cinco, siete y nueve horas. La dureza medida a partir de las 11 horas ya no mostró correlación con el contenido de pericarpio.

La elongación de las tortillas de los maíces de ambos grupos fue igual en la evaluación efectuada a las tres horas de su elaboración; en las siguientes y hasta las 24 horas, las tortillas de los maíces QPM presentaron mayor elongación que las de los normales. En la evaluación realizada a las 48 horas, nuevamente, la elongación fue igual en los dos grupos de tortillas.

Las tortillas elaboradas con el híbrido DK-2000 fueron las que presentaron la menor elongación (Figura 4A). Estas tortillas también fueron las que requirieron mayor fuerza a

tensión (Figura 3 A), por lo que pueden considerarse como las más duras.

FIGURA 3
Curvas de fuerza de ruptura en tortillas elaboradas con maíces normales (A) y QPM (B)



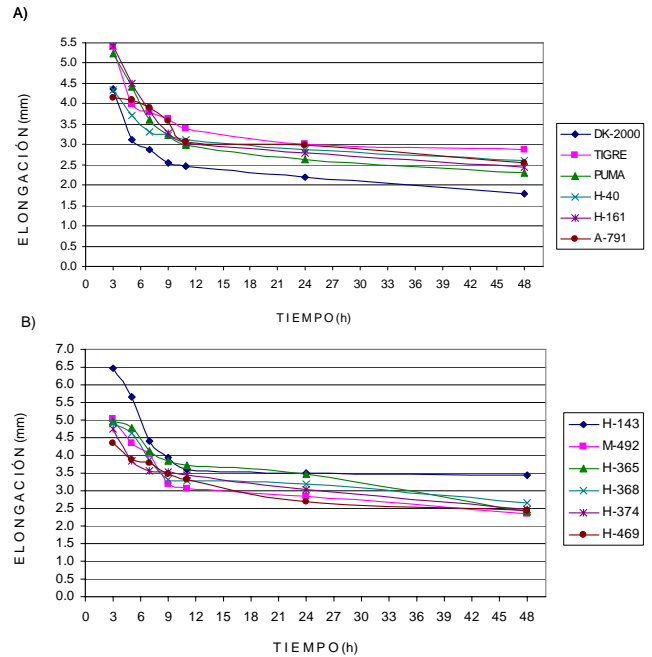
Entre las tortillas que presentaron mayor elongación se encuentran las elaboradas con los maíces Tigre y H-161, para el caso de los maíces normales. Entre las de maíces QPMs, las del H-143 presentaron un patrón diferente al de las demás tortillas (Figura 4B). Este patrón estuvo caracterizado por una elevada elongación al inicio de la prueba, que decreció en las evaluaciones realizadas a las 6, 9 y 12 horas, pero que se mantuvo constante a partir de este último valor y hasta el final del periodo de evaluación. Las tortillas del resto de los maíces de este grupo, presentaron un comportamiento similar entre ellas, caracterizado por una pérdida acelerada de su capacidad de elongación en las primeras 12 horas de almacenadas, que continuó decreciendo durante el periodo de evaluación.

Se presentó correlación negativa entre el contenido de prolaminas y la elongación de las tortillas en las evaluaciones efectuadas a las 5, 7, 9, 11 y 24 horas, pero no a las 3 y 48 horas.

Dentro del grupo de los maíces normales, las tortillas con la peor textura fueron las del maíz DK-2000 y las de la mejor provinieron del H-161. Estos dos maíces no presentaron diferencias en el contenido de almidón y sus fracciones; en prolaminas en grano entero, el maíz DK-2000 presentó el valor más bajo, y el H-161 un valor intermedio.

Se observó una correlación positiva entre el peso de cien granos (PCG) y la dureza de las tortillas medida a las 3 horas de haber sido elaboradas; una correlación negativa entre la elongación medida a las 7 y a las 24 horas.

FIGURA 4
Elongación en tortillas elaboradas con maíces normales (A) y QPM (B)



DISCUSION

De las características físicas del grano, los maíces QPMs presentaron un menor tamaño que los normales. Esta característica favorece la hidratación del grano durante el proceso de nixtamalización lo que repercute en masa y tortilla de mejor textura.

El contenido y tipo de almidón del grano de maíz también ejerce una influencia importante en las propiedades de textura de las tortillas (19), sin embargo, en los dos grupos de maíces estudiados estas variables fueron iguales. El grupo de maíces normales presentó un contenido de almidón similar al reportado por Watson (20) y en el caso de los maíces QPMs se encuentran por arriba de lo informado por Sproule *et al.* (21), atribuido a que los maíces del presente estudio mostraron un menor contenido de proteína que los descritos por los autores antes mencionados, y existe una relación negativa entre almidón y proteína. La diferencia en el contenido de proteína a favor de los maíces normales ha sido previamente informada por otros investigadores (22) y se atribuye a una mayor presencia de prolaminas.

Los valores de esta fracción proteínica en los maíces normales fueron parecidos a los informados por Wilson (2), en tanto que los de los maíces QPMs se hallaron inferiores a lo reportado por Vivas-Rodríguez *et al.* (23).

Las proteínas predominantes en el endospermo del grano de maíz son las prolaminas (zeínas), que se consideran como proteínas de reserva y están asociadas a los cuerpos proteínicos. De acuerdo a sus pesos moleculares, determinados mediante geles de poliacrilamida, se dividen en cuatro grupos estructurales: \hat{a} -, \hat{a} -, \tilde{a} - y \ddot{a} - zeínas (24, 25).

La menor presencia de prolaminas en los maíces QPMs se debe a que el gen mutante *o2* reduce la síntesis de zeínas y favorece la de glutelinas, que tienen buen balance de los aminoácidos lisina y triptofano (25). Esta fracción proteínica forma la matriz que rodea a los gránulos de almidón.

Al haber una menor proporción de prolaminas en los cultivares QPMs, la calidad de su proteína se mejora al tener mayores contenidos de lisina y triptofano que los maíces normales.

El mayor contenido de almidón de los maíces QPMs no tuvo efecto sobre las propiedades de formación de pasta de las harinas de endospermo, como tampoco lo tuvo el menor contenido de proteínas.

Dentro de los maíces QPMs, los híbridos H-469 y H-374 presentaron un menor desarrollo de viscosidad, y a su vez tuvieron los valores de prolaminas más elevados.

En harina de arroz se ha reportado que al incrementarse la cantidad de prolaminas se reduce la firmeza del gel, entre otras características. Sin embargo, la complejidad de la matriz del alimento tiene una fuerte influencia en los resultados, ya que fueron diferentes cuando en el sistema sólo se tenían al almidón y las prolaminas, a cuando se tenía la harina completa y las prolaminas (26). En maíz parece ocurrir algo similar, ya que si se considera sólo la participación de las zeínas, no se puede explicar el comportamiento de los maíces H-161 y Tigre, que con diferencias en el contenido de prolaminas de casi 10 %, mostraron un perfil viscoamilográfico prácticamente igual (Figura 2 A).

De las variables obtenidas de los viscoamilogramas (TIP, VM y VF), sólo la VF presentó correlación negativa con los contenidos de proteína y prolaminas ($r = -0,447$, $r = -0,503$); en el endospermo del grano, más del 60% de la proteína son zeínas (prolaminas), por lo que mientras más prolaminas tenga la harina, menor firmeza tendrá el gel.

Es difícil establecer el efecto de las prolaminas sobre la textura de la tortilla, que es una matriz compleja en la que interactúan todos los componentes entre sí. Se determinaron los contenidos de almidón, amilosa y amilopectina en las muestras de maíz porque el almidón es el compuesto que predomina y se considera como el responsable de las características de textura de la tortilla (27). Sin embargo se observaron diferencias sin que existiesen diferencias estadísticas del con-

tenido de estos carbohidratos entre las muestras estudiadas.

Se presentó correlación negativa entre el contenido de prolaminas y la elongación de las tortillas, la cual se puede explicar considerando las propiedades de la zeína, que es una prolamina comúnmente usada en la preparación de películas comestibles para recubrimiento de alimentos, con carácter no plástico e hidrofóbico (28). Es posible que la falta de plasticidad de la zeína se exprese como rigidez en la tortilla.

De acuerdo a los resultados de la presente investigación, una mayor elongación de la tortilla se puede favorecer cuando en el endospermo del grano el contenido de prolaminas no es mayor de 55%.

La presencia del pericarpio solubilizado como componente de la masa con la cual se elaboran las tortillas complica más precisar el efecto de las prolaminas, pues actúa como goma natural que favorece la retención de humedad y por tanto la suavidad de la tortilla (29). En este aspecto es importante el contenido en el grano y la cantidad que se retenga después de la nixtamalización. La correlación negativa entre el contenido de pericarpio en el grano y la dureza de las tortillas a las tres horas de haber sido elaboradas fue significativa, y altamente significativa para las lecturas registradas a las cinco, siete y nueve horas, pero a partir de las 11 horas ya no mostró correlación. Esto significa que los maíces con alto porcentaje de pericarpio tendrán tortillas más suaves que los de bajo pericarpio, pero sólo dentro de las primeras horas después de elaboradas. No se tiene una explicación de por qué la presencia de estas gomas naturales no preserva la suavidad de las tortillas por más tiempo.

CONCLUSIONES

El contenido de prolaminas en el grano de maíz no estuvo asociado con la dureza de la tortilla, pero sí con su capacidad de elongación, que decreció al aumentar el contenido de esta fracción proteínica.

El menor contenido de prolaminas de los maíces QPMs, con respecto a los maíces normales, favorece la calidad nutricional y de textura de sus tortillas.

REFERENCIAS

1. Salinas MY, Arellano VJL, Martínez BF. Propiedades físicas, químicas y correlaciones de maíces híbridos precoces para Valles Altos. Comparación de métodos para medir dureza del maíz (*Zea mays* L.). Arch Latinoamer Nutr. 1992b; 42 (1):161-167.
2. Wilson MC. Proteins of the kernel. In: Corn: Chemistry and Technology (eds Watson, S. A. and Ramstad, P. T.). Am. Assoc. Cereal Chemists, St. Paul, MN, pp. 1987. p. 273-277.
3. Yau CY, Bockholt A. J, Smith D J, Rooney LW, Waniska RD. Maize endosperm proteins that contribute to endosperm lysine content. Cereal Chem. 1999; 76(5):668-672.

4. Paiva E, Kriz AL, Peixoto MJVVD, Wallace JC, Larkins AB. Quantitation and distribution of α - zein in the endosperm of maize kernels. *Cereal Chem.* 1991; 68(3):276-279.
5. Cortéz A, Wild-Altamirano C. Contribución a la tecnología de la harina de maíz. En:Mejoramiento nutricional del maíz. Bressani R, Braham JE, Behar M, (eds). Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP); 1972. Guatemala. p.12-14.
6. Vázquez CMG. Estudio de proteínas en maíz (*Zea mays* L.), y su relación con características del grano y la calidad de tortilla (tesis doctoral). Montecillos, Méx. Colegio de Posgraduados.;1998.
7. American Association of Cereal Chemists. Approved methods of the AACC. 6th ed. St. Paul Minnesota, USA.; 1976.
8. Salinas MY, Martínez BF, Gómez EJ. Comparación de métodos para medir dureza del maíz (*Zea mays* L.). *Arch Latinoamer Nutr.* 1992a ; 42 (1):59-63.
9. González AU. El maíz y su conservación. México. Trillas; 1995. 399 p.
10. Herrera SR, Hubert JT. Influence of varying protein and starch degradabilities on performance of lactating cows. *J Dairy Sci.* 1989; 72:1477-1483.
11. Juliano BO. A simplified assay for milled-rice amylose. *Cereal Science Today* 1971; Vol.16 (10):334.
12. Technicon Instruments Co. Individual/Simultaneous determination of nitrogen and phosphorous in BD acid digestion. Method no. 114/741 A. Tarrytown, NY. 1976.
13. Landry J, Moureaux T. Distribution and amino acid composition of protein groups located in different histological parts of maize grain. *J Agric Food Chem.* 1980; 28, 1186-1191.
14. Hernandez HL, Bates S. A modified method for rapid tryptophan analysis of maize. *CIMMYT. CIMMYT Research Bulletin* No.13, 1969.
15. Villegas E, Mertz ET. Chemical screening methods for maize protein quality at CIMMYT. *CIMMYT Research, Bull* No. 20, 1971.
16. Salinas MY, Arellano VJ L. Calidad nixtamalera y tortillera de híbridos de maíz con diferente tipo de endospermo. *Rev. Fitotecnia Mexicana.* 1989;12: 129-135.
17. Arámbula-Villa G, Méndez-Albores JA, González-Hernández J, Gutiérrez-Arias E, Moreno-Martínez E. Evaluación de una metodología para determinar características de textura de tortilla de maíz (*Zea mays* L.). *Arch Latinoamer Nutr.* 2004; 54 (2): 216-222.
18. SAS Institute, Inc. SAS/STAT® User's Guide. Versión 6, Cary, NC: SAS Institute Inc. 1989.
19. Salinas MY, Pérez HP, Castillo MJ, Álvarez RLA. Relación de amilosa:amilopectina en el almidón de harina nixtamalizadas de maíz y su efecto en la calidad de la tortilla. *Rev. Fitotecnia Mexicana.* . 2003; 26(2):115-121.
20. Watson SA. Structure and composition. In *Corn: Chemistry and Technology* (eds Watson, S. A. and Ramstad, P. T.), Am. Assoc. Cereal Chemists, St. Paul, MN; 1987. p. 53-82.
21. Sproule AM, Saldivar SO, Bockholt AJ, Rooney LW, Knabe DA. Nutritional evaluation of tortillas and tortilla chips from Quality Protein Maize. *Cereal Foods Worl.* 1988; 32 (2):233-236.
22. Zarkadas CG, Hamilton RI, Yu ZR, Choi VK, Khanizadeh S, Rose NGW, Pattison PL. Assessment of the protein quality of 15 new northern adapted cultivars of quality protein maize using amino acids analysis. *J Agric Food Chem.* 2000; 48:5351-5361.
23. Vivas-Rodríguez NE, Serna-Saldivar SO, Waniska RD, Rooney LW. Effect of tortilla chip preparation on the protein fractions of quality protein maize, regular maize and sorghum. *J Cereal Sci.* 1990;12:298-296.
24. Lending CR, Larkins BA.. Changes in zein composition of protein bodies during maize endosperm development. *Plant Cell,* 1989; 1, 1011-1023.
25. Shewry PR. The major seed storage proteins of spelt wheat, sorghum, millets and pseudocereals. In: *Pseudocereals and less common cereals.* P. S. Belton, y J. R. N. Taylor (eds). Berlin, Germany: Springer; 2002, p 1-23.
26. Baxter G, Blanchard C, Zhao J. Effects of prolamin on the textural and pasting properties of rice flour and starch. *J Cereal Sci.* 2004;40: 205-211.
27. Robles RR, Murray ED, Paredes-Lopez O. Physicochemical changes of Maize starch during the lime-cooking treatment for tortilla making. *Int. J Food Sci Tech.* 1988;23: 91-98.
28. Chen W, Hsu BL, Liao YH, Weng YM. Structural Investigation of edible zein films: Coatings and directly determining their thickness by FT-Raman spectroscopy. *J Agric Food Chem.* 2005;53: 5089-5095.
29. Martínez-Bustos F, Martínez-Flores HE, San Martín-Martínez E, Sánchez-Sinencio F, Chang KY, Barrera-Arellano D, Ríos E. Effect of the components of maize on the quality of masa and tortillas during the traditional nixtamalization process. *J Sci Food Agric.* 2001; 81(15):1455-1462.

Recibido: 21-05-2007

Aceptado: 01-08-2007