


CONTENIDO DE LISINA Y TRIPTOFANO EN GENOTIPOS DE MAÍZ DE ALTA CALIDAD PROTEICA Y NORMAL

Lysine and tryptophan content in genotypes of normal and high quality protein maize

M Mendoza-Elos , E Andrio-Enríquez, JM Juarez-Goiz, C Mosqueda-Villagómez, L Latournerie-Moreno, G Castañón-Nájera, A López-Benítez, E Moreno-Martínez

(MME)(EAE)(CMV)(LLM) Profesor investigador de la DGEST, Roque, Celaya, Gto y Conkal, Yuc. mmendoza66@hotmail.com
(JMJG) Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Alimentos, Instituto Tecnológico de Celaya. (GCN) Laboratorio de Biotecnología Vegetal, División Académica de Ciencias Biológicas, UJAT. (EMM) Investigador de la FESC-UNAM. (ALB) Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Artículo recibido: 24 de enero de 2006, **aceptado:** 27 de noviembre de 2006

RESUMEN. El objetivo de esta investigación fue medir la humedad, grasa, proteína, ceniza y carbohidratos totales en la semilla completa, y cuantificar la lisina y triptófano en la semilla entera, el endospermo y el germen en cuatro genotipos de maíz QPM (CMSQ993027, CMSQ993037, CMSQ983051, CMSQ983015) y dos testigos (Variedad Roque I, maíz blanco y SBS400, amarillo), además de estimar la digestibilidad *in vitro* de la proteína en la masa. Este trabajo se desarrolló en Celaya, Guanajuato, México, en 2005. El diseño experimental fue completamente al azar con seis tratamientos y tres repeticiones. Para grasa, ceniza y carbohidratos no existió diferencia significativa. La media de proteína en los cultivares de maíz QPM fue de 10.38 y 10.31, y para los cultivares testigos blanco y amarillo fue de 10.93. El contenido de lisina y triptófano en el endospermo del QPM V₆ duplicó el de los maíces testigo. El QPM V₆ presentó el mayor contenido de triptófano. La digestibilidad *in vitro* de la proteína en la masa de maíz testigo y del maíz QPM V₆ fue de 68 y 70 %, respectivamente, y de 78 % en harina de maíz QPM V₆ para "atole".

Palabras clave: Genotipos, semilla, aminoácidos, digestibilidad de proteína.

ABSTRACT. The purposes of this study were to measure the humidity, fat, protein, ash, and total carbohydrates and to quantify the lysine and tryptophan content in the whole seed, the endosperm and the germ seed of four QPM maize genotypes (CMSQ993027, CMSQ993037, CMSQ983051, CMSQ983015) and two controls (Roque I variety, white maize and SBS400, yellow), as well as to estimate the *in vitro* digestibility of the protein in the dough. This study was carried out in Celaya, Guanajuato, Mexico, in 2005. The experimental design was completely random, with six treatments and three replicates. There was no significant difference for fat, ash and carbohydrates. Mean protein in the QPM maize crops was 10.38 and 10.31, whereas for the white and yellow control crops it was 10.93. The lysine and tryptophan content in the QPM V₆ endosperm was twice as much as that of the control varieties. The QPM V₃ had the greatest tryptophan content. The *in vitro* digestibility of the protein of the dough of the control and QPM V₆ maize was 68 and 70 % respectively, and it was 78 % in QPM V₆ maize flour for "atole".

Key words: Genotypes, seed, aminoacids, protein digestibility.

INTRODUCCIÓN

El maíz, *Zea mays* L., después del trigo y arroz, es el tercer cultivo en importancia en el mundo. Se utiliza en la alimentación humana y animal, también tiene uso industrial (Anónimo 2003; Poehlman & Allen 2003). En México, es el cultivo de mayor importancia económica y social, debido a que forma parte de la dieta de la mayoría de los mexicanos, principalmente, los de escasos recursos que

viven en áreas marginales (Reyes 1990). En nuestro país, el consumo *per cápita* es de 330 g d⁻¹, con una aportación a la nutrición de 32 a 55 % de proteína (Hartcamp *et al.* 2000; Anónimo 2003).

A nivel mundial se siembran 150 millones de hectáreas de maíz, con una producción de 550 a 580 millones de toneladas anuales (Vasal 1999; Anónimo 2002a). Dentro de los principales países productores de maíz se encuentran Estados Unidos de América (EUA) y China; México ocupa el sexto lugar,

con una producción de 13 millones de toneladas. En el país, los estados con mayor producción de maíz son Jalisco, México y Chiapas; Guanajuato ocupa el cuarto lugar, con una producción de 1 142 429 t (Anónimo 2002b).

La proteína de maíz, y en general la de los cereales, es de bajo valor nutricional cuando se compara con la proteína de origen animal. Esta deficiencia es el resultado de un desbalance de aminoácidos y de un bajo contenido proteínico (Azevedo *et al.* 2006). En el caso de maíz, la mayor cantidad de la proteína se encuentra en el endospermo (75 a 85 %), y es deficiente en dos aminoácidos esenciales: lisina y triptófano (Huang *et al.* 2004). La actual calidad agronómica y nutricional de los maíces con alta calidad proteínica (Quality Protein Maize, QPM) se debe en gran parte al trabajo realizado por Surinder K. Vasal, genetista del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y a Evangelina Villegas, bioquímica ex investigadora del CIMMYT (Anónimo 2001; Ortega *et al.* 2001). Al comparar de forma visual al maíz QPM con el normal no se observan diferencias en cuánto a: sabor, similar rendimiento por hectárea, idéntica o superior resistencia a plagas y enfermedades. La principal ventaja del maíz QPM, sobre el maíz normal, es que contiene aproximadamente el doble de lisina y de triptófano, aminoácidos esenciales para la nutrición humana y animal (Poehlman & Allen 2003). El uso de este germoplasma por un mayor número de productores de maíz, permitirá elevar el nivel nutricional de la población de África y América, fuertes consumidores de este grano (Espinosa 2000).

Desde primavera-verano 1997 a otoño-invierno 1999-2000, se han conducido cerca de 100 experimentos en diferentes regiones del país, con híbridos y variedades de maíz con endospermo modificado para alta calidad de proteína (QPM), en un esfuerzo de colaboración entre el Instituto Nacional de Investigaciones Forestal Agrícola y Pecuaria (INIFAP), el CIMMYT y otras instituciones de investigación, con el fin de sembrar maíces con mayor calidad nutritiva a nivel nacional (Ortega *et al.* 2001; Preciado *et al.* 2001).

Para lograr la aceptación de los maíces con alto contenido de proteína, se tiene que realizar un trabajo intenso para incrementar su uso (Wall & Paulis, 1985). En países como Brasil, Colombia, EUA y

México (Espinosa 2000), se han iniciado programas de mejoramiento genético de maíz QPM para incrementar la proteína y triptófano, pero existen varios problemas que han impedido su comercialización, al compararlos con los maíces normales. Entre los principales obstáculos se tiene: poca aceptación del maíz QPM por los consumidores debido al aspecto suave del grano, secado lento, susceptibilidad a plagas y enfermedades en almacén, facilidad de contaminación con los maíces normales; el gen recesivo doble $O_2O_2fl_2fl_2$ en una sola variedad, presenta efecto interactivo de los genes (epístasis) que baja la calidad de la proteína, similar a la que contienen los maíces normales (Prasanna *et al.* 2001). No obstante, hoy en día la mayoría de estos problemas han sido resueltos a través de los programas de mejoramiento genético. En contraparte la expresión del gene *opaque-2*, llega a duplicar las cantidades de los aminoácidos lisina y triptófano, y lo convierte en maíz con valor nutritivo superior al maíz normal (Ortega *et al.* 2001).

Por lo anterior, los objetivos del presente estudio fueron: a) Determinar la calidad de maíz QPM con base en el contenido de lisina y triptófano, b) Cuantificar la digestibilidad *in vitro* de la proteína en la masa.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material genético fue proporcionado por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y el Instituto Tecnológico de Roque. Para tener semilla fresca y en cantidad suficiente para las pruebas de laboratorio, se incrementaron los seis cultivares evaluados en este estudio: cuatro QPM (CMSQ993027, CMSQ993037, CMSQ983051, y CMSQ983015) y dos testigos (Variedad Roque I, maíz blanco y SBS400, amarillo). La siembra del germoplasma se hizo en Celaya, Guanajuato, México en 2004, y las pruebas de laboratorio se realizaron en 2005 en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Alimentos del Instituto Tecnológico de Celaya. En muestras de maíz de cada cultivar, se hicieron las determinaciones químicas, cuantificación de humedad (93.02 %), grasa (92.04 %), cenizas (94.21 %), proteínas (95.40 %) y la valoración de carbohidratos por diferencia (Anónimo 1990).

Tabla 1. Análisis proximal por la técnica tradicional con semilla entera de maíz.
Table 1. Maize whole seed proximal analysis by the traditional technique.

Variedad	Humedad	Grasa	Proteína	Ceniza	Carbohidratos
V ₁ *	30.77	4.45	11.17	0.98	52.59
QPMV ₂	30.84	4.38	10.53	0.85	53.39
QPMV ₃	31.34	4.75	10.03	1.33	52.53
V ₄ *	31.72	5.41	10.69	1.23	50.94
QPMV ₅	33.03	4.70	11.05	1.03	50.29
QPMV ₆	32.01	4.36	9.94	1.42	52.24
Media	31.62	4.68	10.57	1.14	52.00
DMS (5%)	3.42	1.88	1.65	0.78	4.77

* V₁ y V₄=Testigos, maíz normal blanco (Variedad Roque I) y amarillo (SBS 400), respectivamente

Tabla 2. Análisis proximal por la técnica en Infrarrojo (NIR) en semilla entera de maíz.
Table 2. Maize whole seed proximal analysis by the Infrared technique (IRN).

Variedad	Humedad	Grasa	Proteína	Ceniza	Carbohidratos
V ₁ *	31.10 b	4.77	11.08 a	1.38	51.68
QPMV ₂	31.37 b	4.71	10.68 ab	1.38	51.86
QPMV ₃	32.08 ab	4.80	10.50 ab	1.38	51.24
V ₄ *	31.93 ab	5.37	10.78 a	1.37	50.65
QPMV ₅	32.60 a	5.05	10.40 ab	1.38	50.57
QPMV ₆	33.11a	4.27	9.65 b	1.45	51.22
Media	32.03	4.83	10.52	1.39	51.20
DMS (5%)	1.14	1.27	1.01	0.10	1.93

* V₁ y V₄=Testigos, maíz normal blanco (Variedad Roque I) y amarillo (SBS 400), respectivamente.

Análisis por reflectancia en infrarrojo cercano (NIR)

Esta prueba se realizó con el analizador por infrarrojo NIR ver. 1.50. Para llevar a cabo la prueba, el maíz se trituro y pasó por una malla # 80, la muestra ya molida se colocó en celdas propias del equipo y se distribuyó homogéneamente, después la muestra fue transferida al porta-celdas para realizar la lectura. Se registraron en una biblioteca los espectros, la humedad, grasa, ceniza, proteína y carbohidratos. Con la anterior información se obtiene la correlación de datos obtenidos con técnicas oficiales de laboratorio de análisis proximal convencional o tradicional (LAB) y por infrarrojo (NIR). La información almacenada en la biblioteca espectral, es útil por el hecho de que pueden hacerse nuevas determinaciones del mismo material estudiado o de alguno diferente sin que sea necesario evaluarlo en laboratorio.

Cuantificación de triptófano

El triptófano se determinó con el método Opienska-Blauth modificado por Hernández & Bates (1969), la muestra fue de 100 mg de maíz, pasada en la malla 80 previamente desgrasada y pulverizada, enseguida es mezclada con una solución de 3 mL de papaína, se incubó por 16 h a 63 ± 2 °C, se enfría y se centrifuga a 2500 rpm por 5 min. Se transfiere 1 mL de hidrolizado en una solución de cloruro férrico y ácido sulfúrico, el hidrolizado se incubó a la temperatura antes mencionada, se dejó enfriar y se realizó la lectura a 560 nm, la cantidad de triptófano se calculó mediante una curva patrón a 100 mg mL⁻¹ y se reportó respecto a la proteína. Es decir, el reactivo A, se disuelven 270 mg de FeCl₃·6H₂O en 0.5 mL de agua destilada. El reactivo B fue ácido sulfúrico a 30N; el reactivo C, fue mezclar A y B volumen a volumen; para la solución de papaína se disuelve la enzima grado comercial 0.12 mcu (1:350) en solución reguladora de acetato de sodio 0.1N (16 mg mL⁻¹) a pH 7.0.

Tabla 3. Análisis proximal por la técnica tradicional en el germen de maíz.
Table 3. Maize germ proximal analysis by the traditional technique.

Método	Humedad	Grasa	Proteína	Ceniza	Carbohidratos
Tradicional	31.62	4.67	10.56	1.14	51.99
Infrarojo	32.03	4.82	10.51	1.39	51.20
DMS (5%)	0.55	0.21	0.41	0.26	0.80

Cuantificación de lisina

La lisina se evaluó por el método de Tsai *et al.* (1975) modificado por Villegas *et al.* (1984) para muestras de maíz. Para ello se utilizó papaína comercial con una concentración de 0.12 mcu (1:350), una solución reguladora de carbonatos a 0.05M con pH de 9.0, una solución de boratos a 0.05M con el mismo pH, una suspensión de fosfato de cobre, una solución de HCl a 1.2N, y una solución de 2-cloro-3,5 DINITROPIRIDINA con la mezcla de aminoácidos y por cada 100 mg de los mismos se debe disolverlos en 10 mL de solución reguladora de carbonatos. El método consistió en preparar un hidrolizado de harina de maíz con papaína a 65 ± 2 °C durante 16 h, una vez fría la muestra, se tomó con una pipeta 1 mL de la solución y se colocó en una solución de carbonatos y fosfato de cobre, se agitó por 5 min y se centrifugó a 2000 rpm por 5 min. Se tomó 1 mL del sobrenadante y se mezcló con 0.1 mL de solución de 2 cloro-3,5 dinitropiridina, se agitó vigorosamente, se dejó reposar por 2 h, agitando cada 30 min, se agregó ácido clorhídrico y se agitó para homogenizar, se agregó solución extractora de acetato de etilo y se mezcló por inversión 10 veces, se extrajo la fase superior, repitiendo el procedimiento por tres veces, se leyó a 390 nm contra un blanco. El contenido de lisina se calculó con base a una curva estándar y se reportó de acuerdo a la proteína estimada.

Prueba de digestibilidad

La digestibilidad *in vitro* esta basada en el método de la digestión multienzimática (Tripsina, peptidasa, quimotripsina Sigma Ch. Co.) de harina de grano ajustada a 6.25 mg de proteína/muestra en medio tamponado por 10 min, se midió el pH final (Maga *et al.* 1973; Rinehart 1975).

Análisis estadístico

El diseño experimental fue un completamen-

te al azar, con tres repeticiones y seis muestras por unidad experimental. Se aplicó una prueba de comparación de medias DMS al 5% de probabilidad como lo señalan Gómez & Gómez (1984) y Little & Hills (1981). Para correr este análisis, se usó el paquete estadístico SAS 8.1.

RESULTADOS

Contenido de proteína en grano, gluten y endospermo

La técnica proximal cuantifica de manera general los macro-componentes del grano, en la humedad los valores oscilan entre 30.77 a 33.03%, para grasa son de 4.36 a 5.41, en ceniza de 0.85 a 1.42 y en carbohidratos de 50.29 a 53.39, se puede observar que entre estos valores la diferencia es muy pequeña. En proteína se encontró una respuesta estadística similar entre las variedades testigo y QPM, con valores entre 10 y 11%. La diferencia entre ambos métodos para la cuantificación de solutos fue semejante, no obstante, la técnica por infrarrojo es más rápida y económica (Tabla 1, 2 y 3).

El porcentaje de proteína en el germen mostró diferencias estadísticas significativas; el genotipo sobresaliente fue QPM V3 con 21.24% y superó en un 12.02% a V1, testigo de endospermo blanco normal (Tabla 4).

En cuanto a proteína en el endospermo se encontró que V1 (testigo blanco normal) fue estadísticamente similar QPM V3, pero superior y diferente al testigo V4 y demás variedades QPM's. El contenido de proteína en el germen es mayor comparado con el grano entero y el endospermo (Tabla 1, 5), éste último ligeramente menor al grano entero (Tabla 1).

Contenido de triptófano en grano, germen y endospermo

Obsérvese que el contenido de triptófano en

Tabla 4. Análisis proximal por la técnica tradicional en el endospermo de maíz.
Table 4. Maize endosperm proximal analysis by the traditional technique.

Variedad	Humedad	Grasa	Proteína	Ceniza	Carbohidratos
V ₁ *	42.98 ab	10.39 a	18.73 d	8.54 bc	19.36 ab
QPMV ₂	45.64 a	9.90 a	20.52 bc	8.95 b	14.99 b
QPMV ₃	40.80 b	8.92 a	21.29 a	10.52 a	18.47 ab
V ₄ *	32.57 c	8.47 a	20.47 bc	8.59 bc	24.90 a
QPMV ₅	44.60 a	12.49 a	20.91 ab	8.45 bc	18.55 ab
QPMV ₆	45.63 a	10.63 a	20.08 c	7.56 c	16.10 ab
Media	42.04	10.13	20.33	8.77	18.73
DMS (5%)	3.16	7.23	0.62	1.21	8.99

* V₁ y V₄=Testigos, maíz normal blanco (Variedad Roque I) y amarillo (SBS 400), respectivamente.

Tabla 5. Contenido de triptófano en maíz testigo y QPM.
Table 5. Tryptophan content in QPM and control maize.

Variedad	Humedad	Grasa	Proteína	Ceniza	Carbohidratos
V ₁ *	20.48 c	1.70	10.36 a	0.50 a	66.98
QPMV ₂	26.75 a	1.50	9.07 b	0.38 ab	62.30
QPMV ₃	23.61 b	0.96	9.95 ab	0.33 ab	65.16
V ₄ *	22.12 bc	2.08	9.41 b	0.38 ab	66.03
QPMV ₅	25.14 ab	0.87	9.26 b	0.20 b	64.53
QPMV ₆	27.03 a	1.15	9.04 b	0.38 ab	62.39
Media	24.19	1.37	9.51	0.36	64.56
DMS (5%)	3.91	1.39	0.91	0.20	5.42

* V₁ y V₄=Testigos, maíz normal blanco (Variedad Roque I) y amarillo (SBS 400), respectivamente.

grano y endospermo de los testigos (V₁ y V₄) fue bajo (0.41 y 0.44 g triptófano/100 g de proteína, respectivamente) y que QPM V₃ superó a ambos en 46 y 73 %. Para la concentración de triptófano en el germen, se encontraron diferencias significativas entre variedades: QPM V₃ mostró el mayor valor (0.91 g), QPM V₂ arrojó el valor más bajo (0.61 g), mientras que los testigos V₁ y V₄ dieron valores intermedios de triptófano en el germen (0.82 y 0.75 g), ver Tabla 6.

Contenido de lisina en grano, germen y endospermo.

En la Tabla 7 se observa que la lisina en el grano de los materiales QPM son superiores desde un 45 hasta un 66 % respecto a los testigos Roque I blanco normal y SBS 400 amarillo (V₁, V₄) y en el endospermo las variedades QPM V₂ y QPM V₆ superan de 30.0 a 64.0 % al testigo V₁, también debe resaltarse que el contenido de lisina en el germen de V₁ es mayor al resto de los materiales evaluados

y particularizando QPM V₆ fue el que presentó el mayor contenido de lisina en endospermo y después de V₁ es el genotipo que contiene mayor cantidad de lisina en el germen.

Digestibilidad de proteína

En las pruebas de digestibilidad de tortillas elaboradas con nixtamal de maíz QPM V₃ y normal, se encontró que el primero fue superior (70.0 %) al segundo (68.0 %).

Evaluación de triptófano y lisina de maíz QPM V₆ tratado.

Para la evaluación de estos dos aminoácidos, la lisina se encuentra en mayor proporción en la harina horneada, al elaborar los atoles. Aquellos hechos con harina de grano cocido y horneado dieron mejor consistencia, ya que presentaron consistencia homogénea, sin embargo, de los resultados que se muestran en la Tabla 8 se infiere al menos para lisina que puede existir diferencias al usar harina

Tabla 6. Contenido de lisina en grano, endospermo y germen en maíz.

Table 6. Lysine content in maize grain, endosperm and germ.

Variedad	g triptófano/100 g de proteína		
	Grano	Endospermo	Germen
V ₁ *	0.41 d	0.24 d	0.82 ab
QPMV ₂	0.64 bc	0.57 c	0.61 c
QPMV ₃	0.76 a	0.88 a	0.91 a
V ₄ *	0.44 d	0.52 c	0.75 b
QPMV ₅	0.72 ab	0.76 b	0.75 b
QPMV ₆	0.61 c	0.79 b	0.74 b
Media	0.59	0.63	0.763
DMS (5 %)	0.092	0.084	0.102

* V₁ y V₄=Testigos, maíz normal blanco (Variedad Roque I) y amarillo (SBS 400), respectivamente.

horneada y grano cocido/horneado para la elaboración de atole.

DISCUSIÓN

Para proteína total resultado estadísticamente similar la variedad Roque I grano blanco y el maíz amarillo SBS400. Un segundo grupo estuvo conformado por tres genotipos QPM's, donde los valores oscilan de 9.65 a 9.17 datos del QPM V₆ y Roque I, respectivamente. Resultados similares reportan Cuevas-Rodríguez *et al.* (2004) quienes describen en su estudio porque la proteína oscila de 9.1 a 13.1%. En este mismo sentido, Fufa *et al.* (2003) encontraron que la proteína varía de 7 hasta 11.8% entre híbridos de alto rendimiento normales y QPM's. Al respecto Martínez *et al.* (1996) encontraron que los QPM's de grano blanco presentan mayor contenido de proteína que los QPM's de color amarillo. Esto significa, que tanto la calidad de la semilla como el rendimiento va a depender en gran medida del origen o de la constitución genética de la población, y esto implica que el fitomejorador debe dirigir su programa de selección de individuos de forma simultánea, es decir, también la elección de los progenitores para la formación de futuros híbridos y variedades comerciales deben ser seleccionados en fases tempranas en el laboratorio y no solo en campo. Por otro lado, por razones de tiempo y economía se recomienda usar la técnica por reflexión

Tabla 7. Triptófano y lisina en tres procesos diferentes de maíz QPM V₆.

Table 7. Tryptophan and lysine in three different processes of QPM V₆ maize.

Variedad	g triptófano/100 g de proteína		
	Grano	Endospermo	Germen
V ₁ *	2.05 c	1.69 c	7.73 a
QPMV ₂	3.75 a	4.13 a	5.62 b
QPMV ₃	3.58 ab	2.41 b	5.48 bc
V ₄ *	1.64 c	1.91 bc	5.68 b
QPMV ₅	2.46 bc	4.01 a	4.78 c
QPMV ₆	2.30 bc	4.68 a	6.11 b
Media	2.63	3.14	5.90
DMS (5 %)	1.27	0.66	0.80

* V₁ y V₄=Testigos, maíz normal blanco (Variedad Roque I) y amarillo (SBS 400), respectivamente.

tancia en infrarrojo debido a que no se encontraron diferencias significativas entre ambos métodos.

Para la proteína en el germen se determinó que la V₃ cultivar QPM fue superior al resto de los cultivares (21.29). Estas evidencias coinciden con los resultados de Bantte & Prasanna (2004). En el resto de los parámetros evaluados no se encontró evidencia marcada de superioridad de los QPM's con respecto a los maíces normales usados como testigos (Roque I y SBS400). Otros resultados reportados por Poey (1978) y Anónimo (1993) mencionan que si se deja la capa de aleurona durante el análisis, ésta influye sobre el contenido de proteína. Robinson (1991) indicó que la cantidad de proteína de los cereales depende del genotipo, de los factores ambientales y las condiciones del cultivo; lo que altera el contenido de nitrógeno del grano, sobre todo la riqueza en prolaminas y glutelinas. Por lo anterior, este genotipo se recomienda que sea incorporado en los programas de mejoramiento genético de maíz con la finalidad de mejorar la calidad del grano o semilla y en consecuencia sus derivados.

Para el caso del aminoácido triptófano existió variación tanto en genotipos, como en el grano y endospermo, y la alta cantidad se debe a que genéticamente estos cultivares QPM's llevan un gen para esta variable. Al respecto, Poey (1978) encontró 0.85 g de triptófano en 100 g de proteína en maíz QPM y 0.45 g en el testigo usado en su estudio. Por su parte, Bantte & Prasanna (2004) reportan que

Tabla 8. Triptófano y lisina en granos de maíz QPM V6 mediante tres procesos diferentes.
Table 8. Tryptophan and lysine in QPM V6 maize kernels through three different processes.

Aminoácido	Harina Horneada	Grano tostado	Grano cocido/horneado
Triptofano	0.80*	0.82	0.79
Lisina	4.68*	3.27	2.75

* g/100 g proteína

los genotipos QPM's fueron mejor en el contenido de proteína y que existió alta significancia para lisina y triptófano entre QPM's versus maíz normal. Al igual que el triptófano, la cantidad de lisina en el endospermo fue superior en la V6 QPM, según Anónimo (1991) el germen es el que proporciona el 60 % de los requerimientos diarios. Es decir, las proteínas del germen son de mayor calidad, poseen mayor contenido de triptófano y lisina que el resto del grano, esto se debe a que están constituidas casi en su totalidad por albúminas y globulinas (Ramírez 2001), mientras que el contenido de prolaminas (zeínas) es mínimo y, de ésta manera, restringe la acción del gene O₂ en el germen, lo que se expresa en la zeína del endospermo que representa el 85 % del grano (Zarcadas 1997). En este sentido, Martínez *et al.* (1996) reportan en maíz QPM amarillo y blanco una similitud estadística para lisina en grano completo y gluten. Por su parte, Cuevas-Rodríguez *et al.* (2004) reportan que la lisina disponible entre maíces QPM's varió de 4.2 a 5.67 g de lisina/100 g de proteína. En su caso, Fufa *et al.* (2003) concluyen que los maíces QPM's contienen entre 30 y 82 % mas de lisina que el maíz normal, asimismo, valores mas altos de arginina, triptófano, histidina, treonina, cisteína y valina.

La digestibilidad de tortillas elaboradas con nixtamal de maíz QPM V3 y normal, se encontró que el primero fue ligeramente superior (70.0 %) al segundo (68.0 %), los resultados de este estudio son similares a los reportados por Wolzak *et al.* (1981)

y Bressani *et al.* (1990). Otro reporte, lo emiten Cuevas-Rodríguez *et al.* (2004) quienes encontraron entre 83.6 y 78.5 % de la digestibilidad de la proteína en maíz. Por otro lado, al elaborar los atoles con harina de grano cocido y horneado dieron mejor consistencia debido a su homogeneidad, sin embargo, con estos resultados se puede inferir al menos para lisina que hay diferencias al usar harina horneada y grano cocido/horneado para la elaboración de atole. Zarkadas *et al.* (2000) mencionan que los genotipos QPM's pueden suplir en un 70.2 a 72.6 % los requerimientos de proteína que necesita el humano comparado con el 55 a 63 % que aporta la avena y el 59 a 60.3 % de la cebada.

Debido a que estos cultivares están probados agrónomicamente para rendimiento y demás componentes (Anónimo 2001; Anónimo 2005); entonces de este estudio se puede inferir que estos maíces QPM tienen mayores ventajas que los maíces normales, por lo tanto, son una buena opción para mejorar el nivel nutricional de los habitantes de zonas marginales de México y del mundo. Aunque existe una correlación negativa entre el rendimiento y la calidad (proteína) (Anónimo 2003), a través de varios años se ha corregido esta limitante trabajando con el fitomejoramiento convencional y la biotecnología (Anónimo 2001). Actualmente, los resultados son satisfactorios en México y otros países, hoy en día se comercializan cultivares QPM's con rendimientos similares a los maíces de endospermo normal (Anónimo 2005).

LITERATURA CITADA

- Anónimo (1990) Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C). Official Methods of Analysis. 15^a Edition. 1049 pp.
- Anónimo (1991) "Protein Quality Evolution". Report of a joint FAO/WHO expert consultation. FAO Food and nutrition. Paper 51. 66 pp.
- Anónimo (1993) El maíz en la Nutrición Humana. Alimentación y Nutrición No. 25. La ONU para la Agricultura y la Alimentación FAO. Roma. 114 pp.

- Anónimo (2001) The Quality Protein Maize Revolution. CIMMYT. México. 8 pp.
- Anónimo (2002a) Producción. FAO. 79 pp.
- Anónimo (2002b) Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. SAGARPA. México. 847 pp.
- Anónimo (2003) El maíz en la nutrición humana. www.fao.org/docrep/T03955s/T0395S02.htm. Fecha de consulta: 18 noviembre 2003.
- Anónimo (2005) Maíz de Alta Calidad Proteínica. <http://www.inifap.conacyt.mx>. Fecha de consulta: 18 de enero 2005.
- Azevedo RA, Lancien M, Lea PJ (2006) The aspartic acid metabolic pathway, an exciting and essential pathway in plants. *Amino Acids* 30: 143-162.
- Bantte K, Prasanna BM (2004) Endosperm protein quality and kernel modification in the quality protein maize inbred lines. *Journal of the Plant Biochemistry and Biotechnology* 13(1): 57-60.
- Bressani R, Benavides V, Acevedo E, Ortiz MA (1990) Changes in selected nutrient contents and in protein quality of common and quality-protein maize during tortilla preparation. *Journal of the Cereal Chemistry*. 67(6): 515-518.
- Cuevas-Rodríguez EO, Milan Carrillo J, Mora-Escobedo R, Cardenas-Valenzuela OG, Reyes-Moreno C (2004) Quality protein maize (*Zea mays* L) tempeh flour through solid state fermentation process. *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie* 37(1): 59-67.
- Espinosa CA (2000) Premio Mundial de Alimentación a una Mexicana. El maíz de Calidad Proteínica: Elevará el Nivel Nutricional de Millones de Personas. *Aleph Zero* 20, www.aleph.cs.buap.mx. Fecha de consulta: 27 enero 2004.
- Fufa H, Akalu G, Wondimu A, Taffesse S, Gebre T, Schlosser K, Noetzold H, Henle T (2003) Assessment of protein nutritional quality and effects of traditional processes: a comparison between Ethiopian quality protein maize and five Ethiopian adapted normal maize cultivars. *Ethiopian Health and Nutrition Research Institute* 47(4): 269-273.
- Gómez KA, Gómez AA (1984) *Statistical Procedures for Agricultural Research*. 2nd Edition. Editorial John Wiley & Sons, New York. 680 pp.
- Hartcamp AD, White JW, Rodríguez-Aguilar A, Bänzinger M, Hernández G, Bates L A (2000) Modified method for rapid tryptophan analysis in maize. *CIMMYT Research Bulletin* 13: 3-6.
- Hernández HH, Bates LS (1969) A modified method for rapid tryptophan analysis of maize CIMMYT. *Research Bulletin* 13: 3-7.
- Huang S, Whitney RA, Zhou Q, Kathleen PM, Dale AV, Jan A, Alan LK, Luethy MH (2004) Improving nutritional quality of maize proteins by expressing sense and antisense zein genes. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 52(7): 1958-1964.
- Little TM, Hills FJ (1981) *Métodos Estadísticos para la Investigación en la Agricultura*. Traducido de la segunda reimpresión en Inglés por Crespo, A. P. Tercera reimpresión. Ed. Trillas, México. 270 pp.
- Maga JA, Lorenz K, Onayemi O (1973) Digestive acceptability of proteins as measured by the initial rate in-vitro proteolysis. *Journal. Food Science*. 38(1): 173-174.
- Martinez BF, Sevilla PE, Bjarnason M (1996) Wet milling comparison of quality protein maize and normal maize. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 71(2): 156-162.
- Ortega CA, Cota AO, Vasal SK, Villegas ME, Córdoba OH, Barreras SMA, Wong, PJJ, Reyes MCA, Preciado ORE, Terrón IA, Espinoza CA (2001) H-441C, H-442C y H-469C, híbridos de maíz de calidad proteínica mejorada para el Noroeste y subtrópico de México. Ed. INIFAP. Folleto Técnico No. 41: 4-15.
- Poehlman JM, Allen SD (2003) Mejoramiento genético de las cosechas. Traducido por Guzmán, O. M. 2da edición. Ed. LIMUSA. México, D. F. 509 pp.
- Poey DFR (1978) Mejoramiento Integral del Maíz: Rendimiento y Valor Nutritivo; Hipótesis y Métodos. Tesis Doctoral, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México. 206 pp.
- Prasanna BM, Vasal SK, Kassahun B, Singh NN (2001) Quality protein maize. División of Genetics, Indian Agriculture Research Institute, New Delhi, India. *Current Science* 81(10): 1308-1319.

- Preciado E, Córdoba H, Terrón A, Cervantes E, Betanzos E, Ortega A, Gómez N, Reyes C, Vallejo H, Erazo M (2001) Adaptación y rendimiento de híbridos de alta calidad de proteína en regiones tropicales y subtropicales de México. *Agronomía Mesoamericana* 12(1): 33-39.
- Ramírez MH (2001) Análisis fisicoquímico y caracterización molecular de progenitores de maíz normal y QPM. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Celaya. 84 pp.
- Reyes CP (1990) El maíz y su cultivo. Primera edición. AGT Editor. México. 640 pp.
- Rinehart DA (1975) Nutritional characterization of distillers grain protein concentrates. MS. Thesis. U. Nebraska Lincoln. 120 pp.
- Robinson DS (1991) Bioquímica y valor nutritivo de los alimentos. Editorial Acirbia. España. 641 pp.
- Tsai CY, Dalby A, Jones RA (1975) Lysine and tryptophan increases during germination of maize seed. *Cereal Chem.* 52: 356-360.
- Vasal SK (1999) Quality Protein Maize Story. Improving Human Nutrition Through Agriculture: The Role of International Agricultural Research. CIMMYT. Mexico. 16 pp.
- Villegas E, Ortega E, Bauer R (1984) Chemical methods used at CIMMYT for determining protein quality in cereal grains. Mexico: CIMMYT. México. 35 pp.
- Wall JS, Paulis JW (1985) Evaluación química y biológica de la calidad proteínica del maíz: Asuntos y problemas actuales. In: *Maíz de alta calidad proteínica*. CIMMYT-Purdue. Editorial LIMUSA, México. pp. 305-313.
- Wolzak A, Bressani R, Gómez-Brenes R (1981) A comparison of in vivo and in vitro estimates of protein digestibility of native and thermally processed vegetable proteins. *Plant Foods Human Nutr.* 31: 31-43.
- Zarkadas CG (1997) Assessment of the protein quality of native white flouy maize, designated IAPO-13, by amino acid analysis. *Journal of Agricultural and Foods Chemistry* 5(4): 1062-1067.
- Zarkadas CG, Hamilton RI, Yu ZR, Choi VK, Khanizadeh S, Rose NG, Pattison PL (2000) Assessment of the protein quality of 15 new norteen adapted cultivars of quality protein maize using amino acid análisis. *Journal of Agricultural and Foods Chemistry* 48(11): 5351-5361.

