

POTENCIAL PRODUCTIVO, PROPIEDADES FÍSICAS Y VALOR NUTRIMENTAL DE HÍBRIDOS DE MAÍZ DE ALTA CALIDAD PROTEÍNICAS*

PRODUCTIVE POTENTIAL, GRAIN PHYSICAL CHARACTERISTICS AND NUTRIMENTAL VALUE IN QUALITY PROTEIN MAIZE HYBRIDS

José Luis Melesio Cuéllar¹, Ricardo Ernesto Preciado Ortiz^{2§}, Arturo Daniel Terrón Ibarra², María Gricelda Vázquez Carrillo³, Pedro Herrera Macías⁴, Carlos Abel Amaya Guerra⁴ y Sergio Othón Serna Saldívar⁵

¹Sistemas Alternativos de Producción, Instituto Tecnológico de Roque No. 33. Celaya, Guanajuato, km 8 carretera Celaya-Juventino Rosas, Apartado Postal 508, C. P. 3811. ²Programa de Maíz, Campo Experimental Bajío, INIFAP. ³Programa de Maíz, Campo Experimental Valle de México, INIFAP. ⁴Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. ⁵Departamento de Biotecnología e Ingeniería de Alimentos, ITESM-Campus Monterrey, §Autor para correspondencia: inifapreciado@prodigy.net.mx

RESUMEN

Los híbridos de maíz de alto potencial productivo y calidad proteínica constituyen una alternativa para beneficiar a la población mexicana que depende de la tortilla como su principal fuente de alimentación. Con el objetivo de comparar el potencial de rendimiento, la respuesta agronómica las propiedades físicas y nutrimentales de los granos, en el Campo Experimental Bajío (Celaya, Guanajuato, México) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), se sembraron en 2003, 14 híbridos de maíz blanco de alta calidad proteínica (ACP) y dos testigos de endospermo normal. Las variables evaluadas fueron rendimiento, peso hectolítrico, peso de 1 000 cariósides, textura del endospermo, forma del grano, contenido de proteína, aminoácidos, albúminas/globulinas y zeínas. El rendimiento medio fue de 11.1 t ha⁻¹. Los genotipos de ACP: HEC-424973, HEC-864276, HEC-774986, HEC-867342, HEC-734286 y HEC-864542, rindieron en promedio 12.6 t ha⁻¹, mientras que los testigos H-358 y Lince, 11.5 t ha⁻¹. Los testigos superaron a los genotipos de ACP en peso hectolítrico (77.4 vs 76.5 kg hL⁻¹); peso de 1 000 cariósides (327 vs 307 g); textura del endospermo (2.5 vs 1.8); y contenido de proteína (10 vs 8%); pero tuvieron menor calidad proteínica y contenido de aminoácidos esenciales. Los genotipos ACP promediaron 49% de lisina,

47% de triptofano y 36% de albúminas/globulinas más que los testigos. La mejor combinación de potencial productivo, propiedades físicas del grano y calidad proteínica se encontró en los híbridos experimentales HEC-424973, HEC-774986 y HEC-734286.

Palabras clave: *Zea mays* L., aminoácidos, calidad física y proteínica del grano, rendimiento.

ABSTRACT

High yield potential maize hybrids with better quality protein might benefit Mexican population who depends highly of tortilla as the main source of feeding. With the objective to comparing yield potential, agronomic performance, grain physical characteristics and protein quality, at Bajío Experiment Station (Celaya, Guanajuato, Mexico), belonging to the Mexican Forestry, Agriculture and Husbandry National Institute (INIFAP) during summer 2003, 14 white quality protein maize (QPM) hybrids and two normal endosperm controls were planted. Harvest grains were tested for bushel weight, 1 000 kernel weight, endosperm texture, grain shape, protein content, amino acid

* Recibido: Octubre de 2006
Aceptado: Enero de 2008

acids, albumin/globulins and zeins patterns. Average grain yield was 11.1 t ha⁻¹. QPM genotypes HEC-424973, HEC-864276, HEC-774986, HEC-867342, HEC-734286 and HEC-864542 had a mean grain yield of 12.6 t ha⁻¹ while the controls H-358 and Lince mean were 11.5 t ha⁻¹. When compared with the controls, QPM genotypes had lower test weight (77.4 vs 76.5 kg hL⁻¹) and 1 000 kernel weight (327 y 307 g), softer endosperm texture (2.5 vs 1.8, where 1= soft, 2 intermediate and 3 hard endosperm), lower protein content (10 vs 8%) and better quality protein and essential amino acids content. When compared with the controls QPM genotypes had mean increments of 49% of lysine, 47% of tryptophan and 36% of albumin/globulins. The better combination of yield potential, agronomic performance, grain physical characteristics and protein quality were found in the experimental QPM hybrids HEC-424973, HEC-774986 y HEC-734286. The response of these genotypes support the possibility to release as new commercial hybrids. Therefore QPM hybrids with better potential used for commercial planting, will benefit farmers and consumers.

Key words: *Zea mays* L., amino acids, grain yield, physical and protein grain quality.

INTRODUCCIÓN

No obstante que la producción mundial de alimentos ha aumentado más rápidamente que la población, los problemas de malnutrición entre los habitantes de países en desarrollo aún persisten. Okezie (1998) reporta que más de 800 millones de habitantes tienen una subalimentación crónica; de éstos más de 200 millones de niños sufren deficiencias nutricionales (FAO/WHO, 1992). Además, la malnutrición contribuye a la muerte de 6.6 millones de niños menores de cinco años anualmente. En México la UNICEF reporta que aproximadamente 43% de la población sufre algún problema relacionado con la desnutrición.

El maíz (*Zea mays* L.) es el cereal de mayor producción mundial y es el sustento de cientos de millones de personas. En 2004 se produjeron 721 millones de toneladas a nivel mundial (FAO, 2006). En México, Centro América algunos países asiáticos y africanos el maíz, es consumido tanto en fresco como en diversas formas industrializadas, constituye la principal fuente de energía y proteínas de la población. En América Latina, el maíz es canalizado principalmente a la industria nixtamalizadora para la elaboración de tortillas y productos derivados. Sin embargo, el maíz contiene

bajas cantidades de los aminoácidos esenciales lisina y triptofano, lo que afecta negativamente la alimentación. Por su alto consumo, las tortillas de maíz de alta calidad proteínica enriquecidas con minerales y vitaminas (hierro, zinc y vitaminas A, D, E y B₁₂) pueden ser una alternativa para disminuir el problema de malnutrición proteínica y de micronutrientes en México (Serna-Saldivar *et al.*, 1988; Sproule *et al.*, 1988; Amaya-Guerra *et al.*, 2004). Desde que se descubrió el maíz opaco-2 en la década de 1960, muchos fitomejoradores, especialmente asociados al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), han enfocado sus esfuerzos a mejorar la calidad proteínica del maíz. Como resultado se han liberado líneas y poblaciones de alta calidad proteínica (ACP) adaptadas a regiones tropicales y subtropicales del mundo, las cuales han sido aprovechadas para generar variedades e híbridos altamente adaptados a los agrosistemas específicos de diversos países (Vasal, 2001).

Las albúminas y globulinas están compuestas de agregados biológicamente activos como enzimas, proteínas de membrana y nucleoproteínas; un contenido alto de ellas y/o bajo de prolaminas, es un excelente indicador para detectar materiales de alta calidad proteínica, ya que la primera fracción es rica en aminoácidos esenciales como la lisina y el triptofano, y la segunda carece de estos aminoácidos. Teóricamente los materiales de ACP contienen cantidades mayores de albúminas/globulinas y menores de prolaminas (Sproule *et al.*, 1988; Vivas Rodriguez *et al.*, 1990)

Con respecto a algunas propiedades físicas de los granos, el peso hectolítrico indica que la relación de endospermo vítreo vs suave es mayor. El peso hectolítrico óptimo para maíces grado alimenticio que se canalizan a la industria nixtamalizadora debe ser mayor a 72 kg hL⁻¹ (Rooney *et al.*, 1995; Rooney y Suhendro, 2001); el peso de 1 000 cariósidos está directamente relacionado con la proporción de pericarpio-germen vs endospermo (Rooney y Suhendro, 2001); la textura del endospermo también es factor importante en la industria nixtamalizadora, ya que los granos de textura suave tienden a sobrecocerse y por lo tanto a producir masa pegajosa y tortillas que pierden textura rápidamente después del horneado (Serna-Saldivar *et al.*, 1990); además los de textura dura pierden menos materia seca durante la nixtamalización y es más fácil controlar su cocción (Jackson *et al.*, 1988; Serna Saldivar *et al.*, 1990).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el potencial productivo, la respuesta agronómica, las propiedades físicas

y la calidad proteínica-nutrimental de 14 híbridos de maíz de alta calidad proteínica, en comparación con dos testigos de endospermo normal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Potencial productivo de híbridos de alta calidad proteínica

En el Campo Experimental Bajío (Celaya, Guanajuato, México) del INIFAP, durante el ciclo primavera-verano 2003 se sembraron 14 híbridos de maíz de alta calidad proteínica, seleccionados por su amplia adaptación y alto potencial de rendimiento mostrado en ensayos preliminares conducidos a través de años y localidades en diversas regiones maiceras de México (Preciado-Ortiz *et al.*, 2006) y dos testigos locales de endospermo normal (Cuadro 1). Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con dos repeticiones, con parcelas de cuatro surcos de 5 m de largo y 0.75 m de ancho, para tomar datos en los dos surcos centrales. Se sembró con una densidad de población de 80 000 plantas ha⁻¹ y se aplicó la dosis de fertilización: 250-60-60 kg ha⁻¹. El experimento se condujo en condiciones de riego rodado, con la aplicación de un riego de siembra y dos de auxilio; el resto de los requerimientos de humedad del cultivo fueron cubiertos por el agua de lluvia. Al asumir que el carácter de alta calidad proteínica está determinado por genes recesivos y éstos pueden ser modificados por el polen de un maíz con endospermo normal, en los surcos laterales de cada material se polinizaron manualmente las plantas de cada parcela, para asegurar la confiabilidad en el análisis de grano de los genotipos evaluados. Se determinaron los caracteres días a emisión de polen (floración masculina) y a emisión de estigmas (floración femenina), altura de planta y de mazorca, número de plantas y de mazorcas, porcentaje de grano respecto a la mazorca y rendimiento de grano.

Propiedades físicas de los granos

Las variables evaluadas para determinar las propiedades físicas de los genotipos fueron: peso hectolítrico de acuerdo con el método 14-40 de la American Association of Cereal Chemistry (AACC, 2000), índice de flotación (Salinas *et al.*, 1992), en donde para calificar la textura del grano se utilizó la siguiente escala: los índices de flotación en un rango de 0 y 12%, se les considera maíces muy duros; de 13 a 37%, duros; de 38 a 62%, intermedios; y mayor de 62%, suaves, (Gómez, 1993). El peso de 1 000 granos, calculado

Cuadro 1. Genealogía, tipo de híbridos y de endospermo de los genotipos evaluados en Celaya, Guanajuato. Primavera-verano 2003. INIFAP-Campo Experimental Bajío.

No.	Genotipo	Tipo de híbrido a	Endospermo
1	HEC-768642	CT, experimental	ACP
2	HEC-457642	CT, experimental	ACP
3	HEC-424973	CT, experimental	ACP
4	HEC-768649	CT, experimental	ACP
5	HEC-864276	CT, experimental	ACP
6	HEC-774986	CT, experimental	ACP
7	H-469 C	CS, comercial	ACP
8	HEC-867342	CT, experimental	ACP
9	H-143 EC	CT, experimental	ACP
10	HEC-734286	CT, experimental	ACP
11	HEC-864542	CT, experimental	ACP
12	H-365 C	CT, comercial	ACP
13	H-368 C	CS, comercial	ACP
14	H-374 C	CT, comercial	ACP
15	H-358	CS, comercial	Normal
16	Lince	Comercial	Normal

^a CS= cruza simple; CT= cruza trilineal; ACP= alta calidad proteínica.

a partir del peso de 100 cariósides seleccionados al azar y multiplicado por 10; la forma del cariósido fue calificada subjetivamente.

Determinación de proteína, albúminas-globulinas y zeínas

El contenido proteínico se determinó por el método Kjeldhal, utilizando un factor de conversión a proteína de 6.25 (método 46-13 de la AACC, 2000). Después de la extracción de las proteínas solubles en agua salina (0.5 M) de acuerdo a la técnica de Vivas Rodriguez *et al.*, (1990), se procedió a la determinación de las albúminas/globulinas y zeínas. Para la extracción de las zeínas (prolaminas), al residuo libre de albúminas y globulinas se le trató con alcohol terbutílico. En cada solvente se determinó la proteína solubilizada a través del método Kjeldhal (AACC, 2000).

Análisis de aminoácidos

Hidrólisis de las muestras

El perfil de aminoácidos de las muestras de maíz molidas y pesadas se determinó mediante la técnica de hidrólisis ácida

con HCl 6 N. por 24 h en un matraz. Se procedió a evaporar la mitad del volumen del ácido en un sistema de calentamiento con reflujo en parrilla en preparación a la hidrólisis ácida por 24 h. Los hidrolizados fueron evaporados a sequedad para remover la solución ácida en un rotavapor a 37 °C. Posteriormente se realizaron dos lavados con agua bidestilada y rotaevaporación para remover residuos de ácido. Finalmente la muestra obtenida se aforó a 100 mL con buffer de citrato pH 2.2, se filtró y almacenó a -20 °C (AOAC, 1995).

Análisis por HPLC

Preparación del estándar. De la solución del estándar hidrolizado de los aminoácidos se tomaron 10 mL a los que se les agregaron 70 mL del reactivo *Buffer* de borato, se agitaron los contenidos en un vórtex y posteriormente se agregaron 20 mL del reactivo AccQ•Fluor, se agitó por un min más antes de colocarlo en un baño termostado regulado a 55 °C por 10 min.

Derivatización de la muestra. De la muestra se tomaron 20 mL, a los que se agregaron 60 mL del reactivo *Buffer* de borato, se agitaron en un vórtex y posteriormente se agregaron 20 mL del reactivo AccQ•Fluor, se agitó por un minuto y se incubó en baño termostado a 55 °C por 10 min.

Derivatización del blanco. Del reactivo *Buffer* de borato se tomaron 80 mL, se agitaron en un vórtex y posteriormente se agregaron 20 mL del reactivo AccQ•Fluor y se agitaron por un min.

Condiciones de operación del equipo

La caracterización de los aminoácidos se realizó mediante un HPLC Waters 717 Plus (Milford, MA., EUA.), equipado con detector de fluorescencia Waters 2475 (Milford, MA., EUA.) y un arreglo de fotodiodos Waters PDA 2996 (Milford, MA., EUA.). El detector de fluorescencia se ajustó con una longitud de onda de excitación de 350 nm, longitud de onda de emisión de 395 nm, filtro 0.5 y grano 100. La separación se llevó a cabo con una columna cromatográfica AccQ•Tag (3.9 x 150 mm con tamaño de partícula de 4 mm) (Milford, MA., EUA.). Se utilizaron dos fases móviles consistentes en agua HPLC al 10% (v/v) del Eluyente A (fase A) y acetonitrilo al 60% (v/v) (fase B). El flujo se mantuvo a 1 ml min⁻¹ a 37 °C, iniciando con 100% de la fase A y

posteriormente de 0-0.5 min, 98% A; 0.5-15 min, 93% A; 15-19 min, 90% A; 19-32 min, 67% A; 32-33 min, 67% A; 33-34 min, 0% A; 34-37 min, 0% A; 37-38 min, 100% A; 38-50 min, 100% A (AOAC, 1995).

Análisis de triptófano

El triptófano se cuantificó con el método colorimétrico de Opienska-Blauth, modificado por Hernández y Bates (1969), el cual se basa en la reacción de Hopkins-Cole, por medio de la cual una molécula de ácido glioxílico y dos de triptófano forman un complejo colorido con un máximo de absorción de 560 nm. Los resultados se expresan en g de aminoácido por 100 g de proteína, correspondientes a muestras desengrasadas y libres de humedad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Potencial productivo

Los genotipos HEC-424973, HEC-774986 y HEC-734286 fueron estadísticamente más precoces a la floración que el testigo Lince (Cuadro 2). Sin embargo, al momento de la cosecha, el contenido de humedad del grano de los materiales evaluados no presentaron diferencias significativas, por lo que se puede interpretar que su ciclo vegetativo es similar al Lince. Otros caracteres agronómicos importantes del maíz son altura de planta y altura de mazorca. Se sabe, por un lado, que una mayor altura de planta y de mazorca tiene una alta relación con problemas de acame, y por el otro, que alturas menores de planta y de mazorca permiten incrementar la densidad de población. Los resultados obtenidos en estas variables indicaron que la altura de planta en 10 de los híbridos ACP evaluados fue similar estadísticamente al testigo Lince, y la altura de mazorca en seis híbridos de ACP fue similar estadísticamente al testigo Lince.

Al comparar las variables número de plantas con número mazorcas por parcela útil se observó que el híbrido experimental HEC-424973 presentó el mayor número de plantas prolíficas, lo cual se vio reflejado directamente en mayor rendimiento de grano (13 865 t ha⁻¹). No hubo diferencia significativa ($p < 0.05$) entre el rendimiento de la mayoría de los híbridos experimentales ACP y el del testigo de endospermo normal H-358. Los híbridos comerciales H-469 C y H-368 C y el experimental de Valles Altos H-143 EC, tuvieron el menor rendimiento.

Cuadro 2. Valores medios de las características agronómicas y rendimiento de genotipos de maíz de alta calidad proteínica y testigos comerciales de endospermo normal evaluados en Celaya, Guanajuato. Primavera-verano 2003. INIFAP-Campo Experimental Bajío.

No.	Genotipo	Días a floración		Altura (m)		Número		%		Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)
		Masculina	Femenina	Planta	Mazorca	Plantas	Mazorcas	Humedad	Grano	
1	HEC-768642	76.5	76.5	2.99	1.58	61.00	66.50	24.55	82.41	12.499
2	HEC-457642	78.5	79.5	3.11	1.84	65.00	67.50	25.55	80.71	11.373
3	HEC-424973	73.0	73.0	2.70	1.28	62.50	79.50	23.75	83.51	13.865
4	HEC-768649	74.5	75.5	2.79	1.32	67.00	62.50	24.40	84.86	10.037
5	HEC-864276	74.5	75.5	2.97	1.59	61.00	62.50	24.60	82.67	11.884
6	HEC-774986	72.0	73.0	2.67	1.45	62.50	69.00	21.30	82.59	12.235
7	H-469 C	74.5	75.5	2.83	1.49	62.00	57.00	25.65	81.82	9.340
8	HEC-867342	73.0	74.0	2.73	1.41	63.00	71.50	23.25	81.53	12.203
9	H-143 EC	77.5	78.5	2.83	1.45	56.50	54.50	19.55	81.19	7.587
10	HEC-734286	72.0	73.0	2.71	1.38	62.50	66.50	21.80	83.30	13.292
11	HEC-864542	77.0	78.0	3.02	1.64	56.00	62.00	24.30	81.35	11.982
12	H-365 C	77.0	77.0	2.75	1.35	59.50	66.50	26.05	85.67	10.944
13	H-368 C	75.5	76.5	2.79	1.55	58.50	63.50	25.40	82.86	7.129
14	H-374 C	75.0	76.0	2.81	1.42	60.00	62.00	21.80	80.86	10.948
15	H-358	79.0	80.5	3.14	1.75	60.50	66.00	24.75	82.42	11.167
16	Lince	76.0	77.0	2.64	1.17	60.50	61.50	24.00	84.39	11.895
MEDIA		75.34	76.19	2.84	1.48	61.125	64.91	23.79	82.63	11.149
DMS (0.05)		3.15	3.25	0.258	0.262	4.403	9.997	2.936	3.520	2.215

Propiedades físicas de granos

Todos los genotipos mostraron un peso hectolítrico superior a 74.0 kg hL⁻¹, (Cuadro 3), valor considerado normal en las especificaciones de la norma NMX-FF034 (2002), para fines de comercialización de maíz blanco para consumo humano y que se encuentran dentro del rango óptimo para la industria de nixtamalización. No hubo diferencias en los valores medios del peso hectolítrico de los maíces ACP con los de endospermo normal.

El peso de 1 000 cariósides de los genotipos HEC-768642, HEC-867342, HEC-734286, HEC-864542, H-365C y H-374C de ACP y de los testigos de endospermo normal fue mayor al considerado como óptimo en maíces grado alimenticio para producción de tortillas (> 300 g 1 000⁻¹ cariósides (Rooney y Suhendro, 2001). El bajo peso de 1 000 cariósides registrado

para el resto de los genotipos se relaciona con un menor tamaño del grano y por consiguiente con una mayor proporción pericarpio-germen vs endospermo.

El 30% de los híbridos ACP tuvieron una textura muy dura; el 64%, dura; y únicamente el híbrido experimental HEC-424973, que fue el de mayor rendimiento (13.9 t ha⁻¹), tuvo una textura intermedia, y un valor de índice de flotación 42%, que es superior al 40%.

Las formas de cariósides de los materiales evaluados fueron de semidentado a dentado; los granos más dentados correspondieron a los genotipos HEC-457642, HEC-424973, HEC-867342, HEC-864542 y el testigo comercial Lince. El maíz ACP experimental HEC-864542 fue el que mostró la textura de endospermo más suave y por lo tanto más desfavorable para la nixtamalización. Los genotipos HEC-

457642, HEC-424973, HEC-774986, H-469C, HEC-734286, H-365 C y H-368 C mostraron una textura suave-intermedia, que es la que más se aproxima a lo que demanda la industria productora de harinas nixtamalizadas. Los genotipos de ACP HEC-768642, HEC-768649, HEC-864276, HEC-867342, H-143 EC mostraron valores inferiores a los dos testigos comerciales H-358 y Lince. Solamente el maíz ACP H-374 C tuvo una textura de endospermo similar a la de los dos testigos. Estos maíces son los preferidos por la industria nixtamalizadora, debido a que pierden menos materia seca durante la nixtamalización y es más fácil controlar su cocción (Jackson *et al.*, 1988; Serna-Saldivar *et al.*, 1990).

Composición de la proteína, albúminas-globulinas, zeínas y aminoácidos

Los contenidos de albúminas/globulinas en los genotipos ACP evaluados fueron superiores en 10% a los dos

testigos de endospermo normal. Solamente en los genotipos HEC-424973 y H-368C se registraron valores inferiores al 40% (Cuadro 4). Vivas Rodríguez *et al.*, (1990) reportan un contenido de albúminas/globulinas en un genotipo ACP superior en 8.4% a un maíz de endospermo normal y Sproule *et al.*, (1988) en 14.7%. El contenido de prolaminas en el genotipo ACP fue 12%, mientras que en el maíz de endospermo normal fue de 28%. Los genotipos ACP con mejor relación albúmina-globulina:prolaminas fueron: HEC-768642, HEC-424973, HEC-864276 y H-143 EC. La relación albúmina-globulina:prolaminas en el testigo H-358 y el material ACP HEC-864542 con una relación menos favorable.

El contenido de lisina en los materiales ACP fue intermedio en comparación con las mejores variedades de este tipo en el mundo (Sproule *et al.*, 1988; Vasal,

Cuadro 3. Propiedades físicas de genotipos de maíz ACP y testigos comerciales de endospermo normal cosechados en Celaya, Guanajuato. INIFAP-Campo Experimental Bajío. Primavera-verano 2003.

No.	Genotipo	Peso hectolítrico (kg hL ⁻¹)	Peso 1000 granos (g)	Textura de endospermo ^a	Índice de flotación (%)	Textura ^b	Tipo de cariósides ^c
1	HEC-768642	77.4	305	2	18	D	2
2	HEC-457642	76.5	280	1.75	19	D	3
3	HEC-424973	74.7	290	1.75	42	I	3
4	HEC-768649	77.7	265	2	24	D	2.5
5	HEC-864276	77.7	300	2.25	8	MD	2
6	HEC-774986	76.4	270	1.75	24	D	2.5
7	H - 469 C	78.4	265	1.75	7	MD	2
8	HEC-867342	76.3	330	2	19	D	3
9	H - 143 EC	76.6	240	2	30	D	2
10	HEC-734286	77.0	340	1.75	12	MD	2
11	HEC-864542	76.8	310	1.5	22	D	3
12	H-365 C	77.9	305	1.75	13	D	2
13	H-368 C	77.0	255	1.75	27	D	2
14	H-374 C	77.8	315	2.5	11	MD	2.5
15	H-358	79.6	305	2.5	7	MD	2.5
16	Lince	75.1	350	2.5	38	D	3
	NMX-FF-034 (2002)	> 74.0	—	—	< 40	—	—
	Media ACP	77.0	290.7	1.9	20	—	2.5
	Media normal	77.4	327.5	2.5	23	—	2.8
	DMS	2.2	30.6	—	35.2	—	—

^aPromedio de dos observaciones. Determinada subjetivamente donde 1= textura suave o harinosa; 2= textura intermedia (50% dura: 50% suave); 3= textura dura o córnea; ^bMD= muy duro; D= duro; I= intermedio; ^cPromedio de dos observaciones. Determinada subjetivamente donde 1= cariósides córneas; 2= cariósides semidentadas; 3= cariósides dentadas.

Cuadro 4. Contenido de albúminas/globulinas y zeínas en genotipos de maíz de alta calidad proteínica y testigos comerciales de endospermo normal de granos cosechados en Celaya, Guanajuato. Primavera-verano 2003. INIFAP-Campo Experimental Bajío.

No.	Genotipo	Proteína (%)	Albúminas y globulinas (%)	Zeínas (%)	Proteína residual (%)	Relación Albúminas-globulinas: Prolaminutoa
1	HEC-768642	8.45	44.14	23.08	32.78	1.91
2	HEC-457642	8.49	40.99	23.56	35.45	1.74
3	HEC-424973	9.21	34.09	18.13	47.77	1.88
4	HEC-768649	8.68	42.74	26.27	30.99	1.63
5	HEC-864276	9.07	42.56	21.94	35.50	1.94
6	HEC-774986	8.37	45.04	25.93	29.03	1.74
7	H-469 C	7.72	48.57	27.59	23.83	1.76
8	HEC-867342	8.00	45.13	25.50	29.38	1.77
9	H-143 EC	8.43	44.96	23.13	31.91	1.94
10	HEC-734286	7.49	48.46	27.37	24.17	1.77
11	HEC-864542	8.33	40.57	27.49	31.93	1.48
12	H-365 C	7.31	46.10	27.36	26.54	1.68
13	H-368 C	8.73	38.14	24.63	37.22	1.55
14	H-374 C	7.6	43.16	26.84	30.00	1.61
15	H-358 (testigo)	10.13	34.45	25.67	39.88	1.34
16	Lince (testigo)	7.77	31.02	18.40	50.58	1.69

^aPromedio de dos observaciones.

2001; Amaya-Guerra *et al.*, 2004). Quizás el ambiente de producción en particular o las condiciones fenotípicas de alto rendimiento propiciaron que estos materiales no tuvieran la calidad proteínica esperada. Un buen maíz ACP debe contener de 3.8 a 4 g lisina/100 g de proteína y 1 g triptófano/100 g proteína, lo que representa el doble del contenido en variedades o híbridos normales (2.2 g lisina/100 g proteína o 0.5 g triptófano/100 g proteína). Las cantidades de lisina y triptófano en la mayoría de los genotipos ACP fueron mayores que las de los dos testigos de endospermo normal (Cuadro 5).

En términos generales, el promedio de lisina de los genotipos ACP fue 1 g/100 g de proteína, mayor que la de los testigos de endospermo normal. Esto se traduce en un mejoramiento de aproximadamente 18% de la calidad proteínica cuando se expresa en concentración de lisina/requerimiento para un infante. Los genotipos ACP con peor calidad proteínica fueron HEC-864276, HEC-774986 y HEC-864542. El contenido de triptófano, considerado como el segundo aminoácido limitante en el maíz, de todos los genotipos ACP, fue 0.72 g/100 g

de proteína en promedio, mientras que los dos testigos de endospermo normal tuvieron 0.52 g/100 g proteína. Esto se traduce en un mejoramiento de aproximadamente 20% de la calidad proteínica cuando se expresa en concentración de triptófano/requerimiento para un infante (Cuadro 5). Los genotipos ACP con mejor contenido de triptófano fueron HEC-768642, HEC-768649, HEC-864542 y H 374C. Ningún híbrido ACP tuvo las cantidades de lisina y triptófano máximas esperadas y reportadas por otros autores (Sproule *et al.*, 1988; Vasal, 2001; Amaya-Guerra *et al.*, 2004).

Los mejores híbridos ACP en términos de rendimiento, calidad proteínica y potencial para uso industrial fueron: HEC-424973, HEC-768649, HEC-867342 HEC-734286 y H-365 C; también mostraron buenas combinaciones la mejor combinación de potencial de rendimiento, características agronómicas, y de los granos para la nixtamalización, y el mejor potencial para su cultivo comercial y utilización industrial. Estos materiales se podrían canalizar a la industria de nixtamalización para elaborar tortillas con mayor valor nutricional.

Cuadro 5. Contenido de aminoácidos (g/100 g proteína) en genotipos de maíz de alta calidad proteínica y testigos comerciales de endospermo normal de granos cosechados en Celaya, Guanajuato. Primavera-verano 2003. INIFAP-Campo Experimental Bajío.

No.	Genotipo	Tirosina	Valina	Lisina	Iso-leucina	Leucina	Fenilalanina	Triptofano	Treonina	Lisina / requerida ^a (%)	Triptofano/ requerido ^b (%)
1	HEC-768642	3.73	5.13	2.87	2.93	8.33	3.19	0.86	4.50	53	86
2	HEC-457642	3.63	5.22	3.19	3.30	8.89	4.36	0.71	4.16	59	71
3	HEC-424973	3.81	5.07	3.08	3.36	9.29	4.57	0.75	4.21	57	75
4	HEC-768649	4.32	5.49	3.04	3.52	9.85	5.45	0.82	4.83	56	82
5	HEC-864276	4.58	5.59	2.48	3.34	9.21	4.46	0.76	5.10	46	76
6	HEC-774986	4.70	5.60	2.63	3.45	9.97	5.26	0.74	5.24	48	74
7	H-469 C	4.11	5.92	2.87	3.33	9.36	3.72	0.73	4.94	53	73
8	HEC-867342	4.68	5.51	3.01	3.09	8.80	2.85	0.74	4.53	55	74
9	H-143 EC	9.87	3.95	3.10	2.47	7.53	11.78	0.72	6.85	57	72
10	HEC-734286	9.80	3.43	3.02	2.36	6.63	12.48	0.79	6.81	56	79
11	HEC-864542	4.93	5.23	2.33	3.35	9.58	5.37	0.87	5.27	43	87
12	H-365 C	3.76	5.16	3.46	3.20	9.06	4.26	0.79	3.96	64	79
13	H-368 C	3.93	5.84	3.08	3.65	9.72	4.73	0.79	4.49	57	79
14	H-374 C	3.91	5.06	2.72	2.96	8.50	4.09	0.85	4.35	50	85
15	H-358 (testigo)	4.42	4.05	1.84	2.79	9.76	3.86	0.51	3.32	34	51
16	Lince (testigo)	4.62	4.98	2.09	3.55	12.51	5.26	0.54	4.42	38	54

^aContenido de lisina del grano/5.44 (requerimiento para un niño de edad preescolar) x 100; ^bcontenido de triptofano del grano/1.0 (requerimiento para un niño de edad preescolar) x 100.

CONCLUSIONES

Los genotipos de alta calidad de proteína HEC-424973, HEC-768649, HEC-867342 HEC-734286 y H-365 C fueron los de mayor rendimiento y mayor contenido de aminoácidos esenciales en comparación con los dos testigos de endospermo normal. En las condiciones en las que se condujo el experimento, estos materiales produjeron hasta cinco veces más que el promedio nacional de rendimiento de maíz en 2005 (2.5 t ha⁻¹, FAO, 2006).

Ninguno de los híbridos estudiados tuvo el valor proteínico de los mejores genotipos de ACP comerciales. Aunque varios de ellos tuvieron calidad proteínica intermedia entre un maíz de endospermo normal y uno ACP. El uso de estos híbridos ACP con niveles elevados de lisina y triptofano

por la industria nixtamalizadora, es una alternativa para beneficiar a los mexicanos que dependen de la tortilla como el sustento principal.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue patrocinada por el Fondo Sectorial CONACyT-Guanajuato (GTO-2002-C01-6256) y la cátedra de investigación (CAT-005) del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey-Campus Monterrey.

Parte de la información de este artículo fue presentada por el primer autor como requisito parcial para obtener el título de Licenciado en Sistemas Alternativos de Producción, en el Instituto Tecnológico de Roque No. 33.

LITERATURA CITADA

- Amaya-Guerra, C.; Alanis-Guzman, M. G. y Serna-Saldivar, S. O. 2004. Effects of soybean fortification on protein quality of tortilla based diets from regular and quality protein maize. *Plant Foods & Human Nutr.* 59(2):45-50.
- American Association of Cereal Chemistry (AACC). 2000. Approved methods of the AACC, 10th ed. The Association: St. Paul, MN., USA.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1995. Amino acid profile without tryptophan (AAP-T). AOAC official Method 982.3 E (a,b), Chp. 45.3.05.
- Food and Agricultural Organization (FAO)/ World Health Organization (WHO), Rome Italy. 1992. International Conference on Nutrition. Nutrition and Development-A Global Assessment.
- Food Agriculture Organization (FAO) 2006. Statistics. Rome, Italy. <http://apps.fao.org/>.
- Gómez, E. J. 1993. Métodos comparativos para determinar dureza en maíz (*Zea mays* L.) y su influencia en el tiempo de nixtamalización. Tesis profesional Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 88 p.
- Hernández, H. H. and Bates, L. S. 1969. A modified method for rapid tryptophan analysis of maize. *In: International Maize and Wheat Improvement Center. CIMMYT Mexico, D. F., Mexico. Bulletin.* 13:1-7.
- Jackson, D. S.; Rooney, L. W.; Kunze, O. R. and Waniska, R. D. 1988. Alkaline processing properties of stress cracked and broken corn (*Zea mays* L.). *Cereal Chem.* 65:133-137.
- Okezie, B. O. 1998. World food security: The role of postharvest technology. *Food Technology.* 52(1):64-69.
- Norma mexicana para maíces destinados al proceso de nixtamalización (NMX-FF-034-2002-SCFI-Parte-1). 2002. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-cereales-maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado-especificaciones y métodos de prueba. Especificaciones y métodos de prueba. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Dirección General de Normas. México, D. F. 18 p.
- Preciado-Ortiz R.; Guerrero, R.; Ortega, A.; Terrón, A.; Crossa, F.; Cordova, H.; Reyes, C.; Aguilar, G.; Tut C.; Gómez, N. and Cervantes, E. 2006. Identification of superior quality protein maize hybrids for different mega-environments using the biplot methodology. *Maydica*, Vol. 3, 2006 (en prensa).
- Rooney, L. W.; Almeida-Domínguez, H. D.; Suhendro, E. L. and Bockholt, A. J. 1995. Critical factors affecting the food quality of corn. *In: 49th. Annual corn and sorghum research conference of the american seed trade association, Dec. 7-8, 1994, Chicago, IL, USA.* p. 80-96.
- Rooney, L. W. and Suhendro, E. L. 2001. Food quality of corn. *In: Lusas, E. and Rooney, L. W. (eds.) Snack foods processing.* Technomic Publishing. Lancaster, PA, USA. p. 37-72.
- Salinas, M. Y.; Arellano, V., J. L.; y Martínez, B. F. 1992. Propiedades físicas, químicas y correlaciones de maíces híbridos precoces para Valles Altos. *Arch. Latin. Nutr. (ALAN).* 42(2):161-167.
- Serna-Saldivar, S. O.; Knabe D. A.; Rooney L. W.; Tanksley T. D. and Sproule A. M.. 1988. Nutritional value of sorghum and maize tortillas. *J. Cereal. Sci.* 7:83-94.
- Serna-Saldivar, S. O.; Gomez, M. H. and Rooney, L. W. 1990. The chemistry, technology and nutritional value of alkaline-cooked corn products. *In: Pomeranz, Y. (ed.) Advances of cereal science and technology.* Am. Ass. Cereal Chem. St. Paul, MN. 10:243-307.
- Sproule, A. M.; Serna-Saldivar, S. O.; Bockholt, A. J.; Rooney, L. W. and Knabe, D. A. 1988. Nutritional evaluation of tortillas and tortilla chips from quality protein maize. *Cereal Foods World.* 33(2):233-236.
- Vasal, S. K. 2001. High quality protein corn. *In: Hallauer, A. R. (ed.) Speciality corn.* 2nd. ed. CRC Press, Boca Raton, FL., USA. p. 85-129.
- Vivas Rodriguez, N. E.; Serna-Saldivar, S. O.; Waniska, R. D. and Rooney, L. W. 1990. Effect of tortilla chip preparation on the protein fractions of quality protein maize, regular maize and sorghum *J. Cereal Sci.* 12:289-296.