Separado de *Turrialba* Vol. 23, Nº 4, págs. 462-470. Trimestre Octubre-Diciembre 1973

BIBLIOTECA

Relaciones entre algunas características físicas, químicas y nutricionales de maíces latinoamericanos normales y con el gen Opaco-2 y Harinoso-2*1/

R. GOMEZ BRENES**, J. A. NETTLETON***, E. I. NUÑEZ****, M. J. OLIVARES****, F. POEY*****, R. BRESSANI**

ABSTRACT

Differences in the distribution of physical fractions and of nitrogen in maize samples of normal genetic composition, as well as in Opaque-2 and Floury-2 maize are reported. The results indicate that Opaque-2 maize contains a larger germ than normal maize, and that it contributes greater amounts of nitrogen. This, together with a greater content of lysine and tryptophan in the endosperm of Opaque-2 maize than in the normal grain, may explain the significantly higher quality value of the protein of Opaque-2 in comparison with that of the normal samples. Floury-2 maize also has a large germ, which is probably the responsible factor for the higher protein content of the kernel, although not as significant as that found in Opaque-2 maize.

A fast chemical methodology useful to detect differences between normal and Opaque-2 maize requiring only small amounts of samples is also presented. The study revealed that a nitrogen fraction, at present called "non protein nitrogen fraction" and free lysine are contained in significantly greater amounts in Opaque-2 than in normal maize.

Biological tests carried out in rats confirmed the greater PER values of Opaque-2 maize in comparison with those of normal and Floury-2 samples. Likewise, those animals fed maize, had slightly lower blood urea levels when Opaque-2 was administered than when normal or Floury-2 maize were used as rations. However, at present this method is not sufficiently sensitive to use as a screening tool for the selection of varieties of improved nutritive value. — The authors.

* Recibido para su publicación el 10 de setiembre de 1973.

1/ Este trabajo fue parcialmente presentado en la XIX Reunión del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios (PCCMCA) que se llevó a cabo en San José, Costa Rica, del 5 al 8 de marzo de 1973.

** Científico y Jefe de la División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, respectivamente.

*** Becaria de la Universidad de Cornell, Ithaca, N.Y., quien llevó a cabo su trabajo de tesis en la citada División, en 1967, previo a obtener el título de Economista del Hogar.

**** Estudiante del Curso de Posgrado de Ciencias de Alimentos y Nutrición Animal, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala/INCAP, y estudiante de último año de la Escuela de Nutrición, INCAP/Universidad de San Carlos de Guatemala. El Sr. Olivares realiza su trabajo de tesis en la División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos como requisito para obtener el título de Nutricionista en el grado de Licenciado.

***** Director de Investigaciones de "Semillas Poey, S. A." con sede en México, D.F., México.

Publicación INCAP E-701.

Introducción

La importancia del maíz en la dieta de las poblaciones latinoamericanas y del Africa está bien documentada (2). Ello aplica también a las características nutricionales superiores del maíz con gen Opaco-2 (3, 6, 11), variedad que podría contribuir en forma más efectiva a la nutrición proteínica de esas poblaciones.

Se ha informado ya sobre las características físicas y químicas del maíz Opaco-2 en comparación con las del maíz normal (13, 15, 16, 19). Sin embargo, todavía hay necesidad de caracterizar más a fondo estas diferencias, así como de desarrollar una metodología química y biológica rápida y eficiente que permita seleccionar los materiales de mejor valor proteínico, medios

éstos que ayudarían a los genetistas y agrónomos en la introducción de estas selecciones tan pronto como ello sea posible.

En este artículo se presentan datos comparativos entre maíces normales y maíces con gen Opaco-2 y con gen Harinoso-2. También se proporciona información sobre una metodología que podría ser de mucho valor en el desarrollo de programas genéticos que persiguen el mejoramiento de la calidad de los cereales. Las inferencias hechas con base en los resultados obtenidos no pueden generalizarse a todos los maíces latinoamericanos, ya que las muestras estudiadas no corresponden a un muestreo adecuado de todos los tipos disponibles. Por otra parte, tampoco puede descartarse la posibilidad de que el número desigual de muestras de los tipos estudiados haya influido en la interpretación de los hallazgos.

Materiales y métodos

El presente estudio se llevó a cabo con 4 grupos de muestras de maíces, latinoamericanos en su mayoría, las cuales se enumeran en los Cuadros 1, 2 y 3. El primer grupo estuvo formado por un total de 30 muestras, de las cuales 6 contenían el gen Opaco-2, y una el gen Harinoso-2. El segundo grupo consistió de 24 muestras, de las cuales solamente una contenía el gen Opaco-2. El tercer grupo lo integraron 15 muestras: 4 de ellas contenían el gen Opaco-2, y 4 el gen Harinoso-2, siendo las 7 restantes selecciones de maíces normales cultivadas en México, excepto una, con el gen Opaco-2. Finalmente, el último grupo consistió de 13 muestras, 9 de las cuales eran maíces con el gen Opaco-2, y 4, maíces normales.

El primer grupo de muestras sirvió para estudios sobre la distribución de fracciones físicas del grano y del nitrógeno en esas fracciones. Para estos propósitos se tomaron 100 granos de cada muestra, pesándolos en una balanza semianalítica. Después de pesados, los granos de maíz fueron fraccionados previa inmersión durante 12 horas en agua destilada, fría, para facilitar la separación del pericarpio. El fraccionamiento se llevó a cabo manualmente con la ayuda de pinzas y un bisturí, separándose el pericarpio, germen y endospermo, de cada grano. Las tres fracciones así obtenidas se desecaron en un horno de aire a 65°C durante 12 horas, y luego se pesaron. Seguidamente, cada fracción fue molida en un molino micro-Wiley, provisto de un tamiz Nº 40. Todas las fracciones fueron analizadas para determinar su contenido de nitrógeno por el método de Kjeldahl (1); además, el endospermo fue analizado por su contenido de proteína soluble en alcohol etílico y solución de hidróxido de sodio, así como también para establecer su contenido de triptófano. Para determinar el contenido de proteína soluble en alcohol y en hidróxido de sodio, se tomaron 10 g del endospermo molido, tratándose con 100 ml de etanol al 70 por ciento durante 30 minutos y a una temperatura de 4°C, para luego centrifugar durante 15 minutos, a 3.500 rpm. Esto se repitió dos veces más con 100 y 50 cc, respectivamente. El residuo fue entonces extraído con 50 ml de 0,02 por ciento de NaOH agitando por 30 minutos a 4°C. Después de centrifugar se realizó una segunda y tercera extracción con 50 y 25 cc de la solución de hidróxido de sodio. El volumen total de la solución alcohólica, así como del hidróxido de sodio,

Cuadro 1.—Selecciones de maíces de Guatemala y México.

Nombre o selección	Procedencia
Tastal	Guatemala (Quezaltenango)
Criollo	Guatemala (Quezaltenango)
Ppl	Guatemala (Quezaltenango)
Criollo	Guatemala (Totonicapán)
Amarillo	Guatemala (Nahualá)
Cuarenteño	Guatemala (Chuarrancho)
Cuarenteño	Guatemala (Chuarrancho)
Caracum	Guatemala (Mixco Viejo)
Joveño	Guatemala (Mixco Viejo)
Salvadoreño	Guatemala (Mixco Viejo)
Toro seco	Guatemala (Mixco Viejo)
Doveño	Guatemala (Pixcayá)
Negro	Guatemala (Sta. María Cauqué)
Amarillo	Guatemala (Sta. María Cauqué)
Blanco	Guatemala (Sta. María Cauqué)
Rojo	Guatemala (Sta. María Cauqué)
Opaco-2	Guatemala (Cali, Colombia)*
Opaco-2	Guatemala (San Ant. Pachalí)
Opaco-2	Guatemala (San Ant. Pachalí)
(Eto x Mix)O_2	Guatemala (San Ant. Pachalí)
Oaxaqueño	Guatemala (Patulul)
Amarillo dorado	Guatemala (San Ant. Pachalí)
Opaco-2	Guatemala (San Ant. Pachalí)
Ceroso chalqueño	Guatemala (San Ant. Pachalí)
Pepitilla x O_2	México (Chapingo)
Bolitax x O_2	México (Chapingo)
Tuxpeño - Grano duro	México (Chapingo)
SRU 65A	México (Chapingo)
Salpor	Guatemala
Harinoso Fl_2 x Fl_2	México (Semillas Poey)
Salpor	Guatemala

* Cultivado en Guatemala, pero proveniente de Cali, Colombia.

Cuadro 2.—Selecciones de maíz.

Sweet corn-burpee snowcross	Rocol H-251
Sweet corn-white cross bantam	Taveron
Poey T-33	Corn sambu
Barretal	Compalizada Nº 39
Cornelli	Opaco-2
Cornelli	Corn paya
Rocol H-201	Maíz 503
Semilla Poey T-66	Tiquisate dorado
Amarillo salvadoreño	Rocol V-101
Venezuela 1	Corn morti
Cuyuta 63	Maíz 142-48
Rocamex V 5200	Semilla de la azotea

Cuadro 3.—Selecciones de maíz.

Maíz normal	Con gen Opaco-2	Con gen Harinoso-2
Maíz negro	Poey Opaco-2 blanco	J 6961# Fl_2 Fl_2
Amarillo azotea	Opaco-2 modificado-Poey	J 7080 x 7070 Fl_2 Fl_2
Blanco pequeño	Poey Opaco-2 blanco	J-7103 x 7070 Fl_2 Fl_2
Amarillo Tecpán	Opaco-2 cultivado en Finca Experimental del INCAP	I-1861# Fl_2 Fl_2
J 5762# Cortazar	Poey mezclado amarillo/blanco Opaco-2, Finca Experimental del INCAP	
J-5701# Cafime	Opaco-2 compuesto mexicano	
Poey T-25	Opaco-2 tropical mexicano	
J 3111# Mex. Gpo. 10	Opaco-2 highland mexicano	
J 5710# Bolocho	I-1891# O_2 O_2/wxwx	
J-4043# F-3#	J 1101# Chalqueño O_2 O_2	
	I-3401# C 9 O_2 O_2	

se midió y analizó para establecer su contenido de nitrógeno. El triptófano se obtuvo de hidrolizados alcalinos (16 N NaOH) usando *Lactobacillus arabinosus* y medios Difco.

Algunas muestras de este grupo fueron sometidas a ensayos de evaluación biológica de la proteína usando caseína como referencia. Para el estudio se utilizó una dieta basal que contenía 4 por ciento de minerales, 5 por ciento de aceite refinado de algodón, 1 por ciento de aceite de hígado de bacalao y 5 ml de solución vitamínica del complejo B (10). A esta dieta se le adicionó 90 por ciento de harina de maíz, y en aquellos casos en los que el maíz contenía niveles más altos de proteína (Opaco-2 y Harinoso-2) que el maíz normal, las cantidades agregadas a la dieta basal fueron menores para reducir el nivel de proteína en la dieta a la concentración del maíz normal. En estos casos se usó almidón de maíz para ajustar las dietas a 100 por ciento. Se utilizaron 8 ratas por dieta, alojándose en jaulas individuales de tela metálica con fondos levadizos. Los animales fueron distribuidos según su peso y sexo, de tal manera que el peso inicial y el número de machos y hembras fuesen iguales en todos los grupos. Las ratas recibieron alimentación *ad libitum*, y disponían de agua todo el tiempo. El estudio duró 28 días y, a partir del alimento consumido, de la proteína determinada en la dieta Nº 1 y del aumento en peso, se calculó el índice de eficiencia proteínica (IEP).

Las muestras del segundo grupo también se fraccionaron en sus partes físicas como se indicó antes; sin embargo, sólo se utilizó el endospermo. Este fue deshidratado, molido y desgrasado. Luego el endospermo molido fue estudiado de acuerdo al proceso descrito en la Figura 1 para obtener la cantidad de zeína, así como la cantidad de una fracción nitrogenada, que —hasta tanto no sea identificada— será denominada nitrógeno no proteínico (NNP). Según se dijo, las determinaciones de nitrógeno se hicieron por medio del método de Kjeldahl. La lisina en el endospermo se obtuvo de

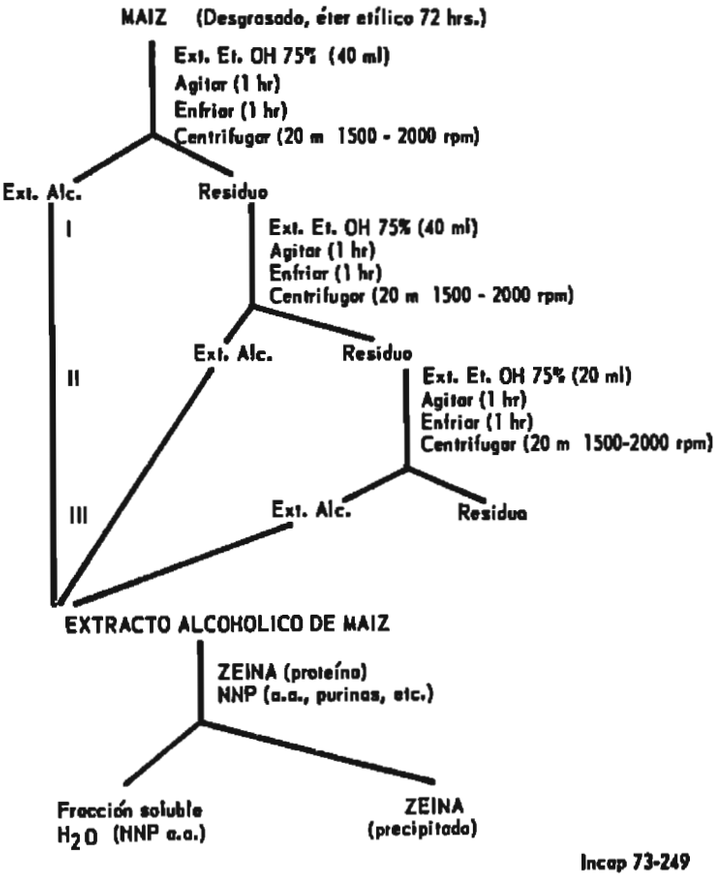

Fig. 1.—*Extracción y fraccionamiento nitrogenado.*

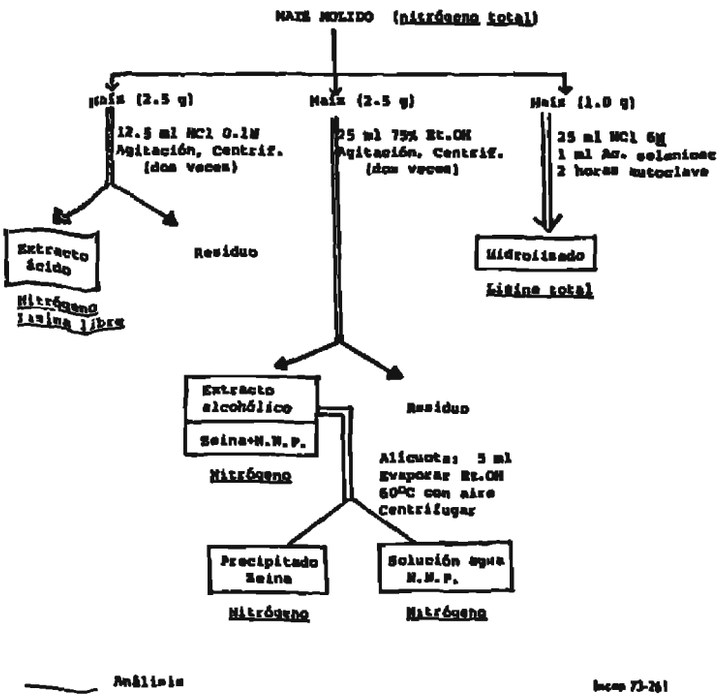

Fig. 2.—*Esquema del fraccionamiento nitrogenado del maíz.*

hidrolizados ácidos con *Leuconostoc mesenteroides* y medios Difco.

Las muestras del tercer grupo no fueron fraccionadas en sus componentes físicos, y los análisis se efectuaron en el grano entero molido. La extracción de zeína y de nitrógeno no proteínico se llevó a cabo en el maíz seco, molido y desgrasado con éter etílico, procedimiento que duró 72 horas.

El método utilizado para determinar la zeína y el nitrógeno no proteínico fue el mismo que se indica en la Figura 1. Estas muestras fueron analizadas por su contenido de triptófano, y la lisina por las técnicas desarrolladas por Gómez Brenes y Bressani (9).

Las muestras también fueron sujetas a ensayos biológicos de eficiencia proteínica en ratas en la forma ya descrita. Ajeno a ello, se trató también de establecer si el nivel de urea sanguínea de estos animales podría servir como medida discriminatoria de calidad proteínica. Para estos fines, al término del estudio de eficiencia proteínica se acostumbró a los animales a comer una cantidad determinada de alimento en un tiempo fijo. Dos horas después de haber consumido esa ración fueron sacrificados y se recolectó sangre sin anticoagulante, determinándose en el suero el nivel de urea usando reactivo Nessler. Como controles se utilizaron, además de las 15 muestras, una de maíz Opaco-2 y una de maíz normal, sólo o suplementado con varios niveles de lisina y triptófano.

El último grupo de muestras fue sometido al análisis descrito esquemáticamente en la Figura 2, con miras a determinar su contenido de nitrógeno total, zeína, nitrógeno no proteínico, lisina libre y lisina total, usando los métodos químicos descritos anteriormente.

Resultados

En el grupo de 30 muestras se estudió la distribución de las fracciones físicas del grano y la distribución del nitrógeno en cada una de ellas. Los datos referentes a las fracciones físicas se resumen en el Cuadro 4, donde se nota que el peso de 100 granos de maíz con el gen Harinoso-2 es menor que el del grano normal, o el del Opaco-2, aunque el peso de este último es ligeramente menor que el del maíz normal.

El pericarpio del maíz Opaco-2 representó 11,16 por ciento del peso total del grano, seguido del Harinoso-2 con 9,75 y 7,60 por ciento para los maíces normales. El germen del Harinoso-2 constituyó 17,07 por ciento del peso total, mientras que el germen del Opaco-2 y del normal fue de 13,21 y 12,19 por ciento del peso total del grano, respectivamente. Por el contrario, el endospermo del maíz normal representó el 80,24 por ciento del peso del grano, en comparación con 75,63 y 73,17 por ciento para el Opaco-2 y el Harinoso-2, en ese orden.

En el Cuadro 5 se resumen los datos relativos a la distribución del nitrógeno. Estos muestran que el pericarpio y el germen del Opaco-2 contribuyen más al nitrógeno total que las mismas fracciones físicas en el caso del maíz normal y del Harinoso-2.

En cambio, el endospermo de estos dos últimos aporta más nitrógeno que el del maíz Opaco-2.

Los valores promedio de triptófano, nitrógeno soluble en alcohol, y nitrógeno soluble en solución alcalina de este grupo de muestras de maíz, se exponen en el Cuadro 6. Según puede notarse, el maíz con el gen Opaco-2 contiene en el grano entero y en el endospermo mayores niveles de triptófano que en los maíces normales o en el que tiene el gen harinoso. El endospermo de estos dos tipos acusa una mayor concentración de zeína que el Opaco-2 y menor cantidad de proteína soluble en solución alcalina.

Algunas de las selecciones usadas para los estudios cuyos resultados se describen en los párrafos precedentes fueron sometidos a evaluación biológica de su proteína. Los resultados a este respecto se resumen en el Cuadro 7. Como puede apreciarse, tanto el maíz normal como el Harinoso-2 y el maíz salpor dieron índices de utilización proteínica similares entre ellos y más bajos que los maíces con el gen Opaco-2 cuando el nivel proteínico de la dieta era de alrededor de 8 a 8,5 por ciento. El aumento del nivel del maíz Harinoso-2 en la dieta para que ésta contuviese más proteína, indujo un incremento en el aumento ponderal de las ratas y en el índice de utilización proteínica, pero sin alcanzar nunca los valores obtenidos con el maíz Opaco-2 aun cuando el nivel proteínico usado con fines comparativos era menor. El maíz Opaco-2 dio un crecimiento equivalente a 85 por ciento del aumento observado con caseína, y un índice de eficiencia proteínica equivalente a 93 por ciento del obtenido con la caseína.

Datos sobre el contenido de zeína, nitrógeno no proteínico y de lisina en el endospermo de otro grupo

Cuadro 4.—Distribución de fracciones físicas del grano de diferentes muestras de maíz.

Fracción física	Maíces		
	Normal	Opaco-2	Harinoso-2
Peso 100 granos, g	31,67 ± 1,61*	33,49 ± 3,84*	20,50
Peso pericarpio, g	2,74 ± 0,27	3,72 ± 0,56	2,00
% del total	7,60 ± 0,45	11,16 ± 0,74	9,75
Peso germen, g	4,01 ± 0,39	4,39 ± 0,67	3,50
% del total	12,19 ± 0,59	13,21 ± 0,93	17,07
Peso endospermo, g	26,62 ± 1,32	23,15 ± 2,33	15,00
% del total	80,25 ± 0,81	75,63 ± 1,05	73,17
n	23	6	1

* Error Estándar.

Cuadro 5.—Contenido y distribución de nitrógeno en fracciones físicas de diferentes muestras de maíz.

Fracción física	Maíces		
	Normal	Opaco-2	Harinoso-2
Grano entero, % N	1,31 ± 0,05*	1,61 ± 0,06	1,83
Pericarpio, % N	0,89 ± 0,02	1,11 ± 0,06	1,29
% del N total	5,16 ± 0,33	7,57 ± 0,52	6,33
Germen, % N	2,46 ± 0,09	3,33 ± 0,21	2,94
% del N total	22,22 ± 1,03	26,58 ± 1,96	25,23
Endospermo, % N	1,22 ± 0,05	1,42 ± 0,05	1,86
% del N total	72,61 ± 1,08	65,85 ± 1,72	68,44
n	23	6	1

* Error Estándar.

Cuadro 6.—Contenido de triptófano en el grano entero y en el endospermo, y de nitrógeno soluble en alcohol y solución alcalina, de las diversas muestras de maíz analizadas.

	Maíces					
	Normal		Opaco-2		Harinoso-2	
	Entero	Endospermo	Entero	Endospermo	Entero	Endospermo
Triptófano, mg/g N	35,0	39,0	52,0	54,0	45,0	45,0
N soluble en alcohol, %	—	43,2	—	30,2	—	44,9
N soluble en álcali	—	31,5	—	37,5	—	17,7

Cuadro 7.—Valor proteínico de varias selecciones de maíz (en ratas).

Maíz	Proteína en dieta %	Aumento en peso promedio g*	Indice de eficiencia proteínica
Normal	8,5	28	1,27
Harinoso-2	8,0**	27	1,26
Harinoso-2	10,8***	64	1,76
Opaco-2	8,4****	73	2,40
Opaco-2	9,6***	102	2,52
Salpor	6,6	24	1,42
Caseína	9,8	120	2,71

* Peso promedio inicial: 46 g. Duración: 28 días.
** Harinoso-2: 63 g/100 g de dieta.
*** Con 90% de maíz en la dieta.
**** Opaco-2: 73 g/100 g de dieta.

Cuadro 8.—Contenido de nitrógeno, zeína, nitrógeno no proteínico y de lisina en el endospermo de las muestras de maíz analizadas.

	Maíces	
	Normal	Opaco-2
Nitrógeno total, %	1,39 ± 0,03	1,31
Zeína, % del N total	30,8 ± 1,05	16,3
NNP, % del N total	2,4 ± 0,10	10,2
Lisina, g/g N total	0,13 ± 0,003	0,22
n	23	1

de maíces en comparación con el Opaco-2 se presentan en el Cuadro 8. Como en casos anteriores, el contenido de zeína y el de lisina es menor en el endospermo del maíz normal que en el del Opaco-2. Por el contrario, la cantidad de nitrógeno no proteínico es mayor en el maíz con el gen Opaco-2.

En el Cuadro 9 se dan a conocer datos relativos a otro grupo de muestras, una de las cuales era un maíz con gen Harinoso-2 que demostró contener más nitrógeno total que el normal o que el Opaco-2. Según se determinó, las cantidades de NNP, lisina y triptófano en el maíz con el gen Opaco-2 fueron mayores que en los normales y que en el Harinoso-2, mientras que la zeína se encontró de nuevo en mayor cantidad en estos últimos que en el Opaco-2. En promedio, el índice de eficiencia proteínica fue más alto en el caso del maíz con el gen Opaco-2 y similar en los otros tipos de maíz.

Se calcularon varias regresiones entre los parámetros medidos en estas últimas muestras con los resultados que se resumen en el Cuadro 10. Como puede apreciarse, el contenido de zeína guarda una relación negativa con el contenido de lisina, triptófano y con el índice de eficiencia proteínica. Según se constató, este último tiene relación positiva con el contenido de lisina y triptófano.

El Cuadro 11 resume los resultados del fraccionamiento analítico (descrito en la Figura 2) del último grupo de muestras. Como los datos lo revelan, tanto la cantidad de nitrógeno extraído con 0,1 N HCl como el contenido de lisina libre, fueron mayores en el Opaco-2 que en el maíz normal. El fraccionamiento con alcohol etílico al 75 por ciento en agua, indicó también mayores cantidades de zeína en los maíces normales que en los opacos, así como cantidades más altas de nitrógeno no proteínico en estos últimos que en los normales, corroborando así los resultados dados a conocer en Cuadros anteriores. Finalmente, y como era de esperar, se encontró un mayor contenido de lisina en los maíces opacos que en los normales.

Discusión

Los resultados del presente trabajo confirman hallazgos publicados por otros autores (13, 15, 16) en cuanto al establecimiento de diferencias entre los maíces de composición genética normal y aquellos que contienen los genes Opaco-2 o Harinoso-2. Sin embargo, el estudio aquí descrito también aporta nueva información que permite distinguir químicamente los maíces Opaco-2 de los normales.

Varios son los resultados de interés que conviene subrayar. Por ejemplo, el germen del maíz Opaco-2 acusa un mayor peso con respecto al grano entero, que esta misma fracción física en los maíces normales o en los que contienen el gen Harinoso-2, hallazgo del cual ya se ha informado (18). Asimismo, el germen del Opaco-2 aporta más nitrógeno al grano entero que el germen del maíz normal (14, 17, 18).

Generalmente, los efectos en la proteína del Opaco-2 y del Harinoso-2 se atribuyen a los cambios que ocurren sólo en el endospermo, y por esta razón muchos investigadores únicamente estudian esta fracción del grano.

Cuando se analiza el grano entero, las diferencias en proteína total tienden a desaparecer, y en ciertos casos se han notificado mayores contenidos de proteína en los maíces Opaco-2 que en los normales (1). Por consiguiente, los materiales de este estudio permiten explicar el aumento en proteína total como consecuencia del mayor tamaño del germen en los maíces con gen Opaco-2. Bien puede ser que ese mayor tamaño del germen contribuya también al mejor valor proteínico del maíz Opaco-2, en contraste con el del maíz normal (4, 12).

Se ha indicado que el aumento en calidad proteínica del maíz Opaco-2 —en comparación con el del maíz normal— se debe indudablemente, al aumento en lisina y triptófano en el maíz Opaco-2, así como al mejor

Cuadro 9.—Contenido de nitrógeno, zeína, nitrógeno no proteínico, lisina y triptófano e índice de eficiencia proteínica de muestras de maíz.

	Maíces		
	Normal	Opaco-2	Harinoso-2
Nitrógeno total, %	1,58 ± 0,05	1,60 ± 0,08	1,77 ± 0,03
Zeína, % N total	37,3 ± 1,3	20,0 ± 1,46	32,4 ± 0,3
NNP, % N total	2,3 ± 0,2	4,1 ± 0,2	1,9 ± 0,3
Lisina, g/16 g N	3,31 ± 0,20	4,72 ± 0,08	3,90 ± 0,25
Triptófano, g/16 g N	0,42 ± 0,02	1,37 ± 0,06	0,81 ± 0,09
Urea sanguínea mg/100 ml	19,7 ± 0,68	18,7 ± 0,66	20,5 ± 2,89
Indice de eficiencia proteínica	1,06 ± 0,10	2,35 ± 0,11	1,69 ± 0,15
n	7	4	4

Cuadro 10.—Correlaciones entre varios parámetros químicos y el índice de eficiencia proteínica (IEP).

	Regresión	Correlación
% de zeína (IEP)	Y = 33,13 — 1,12 X	—0,82
Triptófano, mg/100 g (IEP)	Y = 0,02 + 0,07 X	+0,66
Lisina, mg/100 g (IEP)	Y = 0,21 + 0,12 X	+0,87
Lisina, mg/100 g % de zeína	Y = 290,00 — 0,008X	—0,78

Cuadro 11.—Resultados del fraccionamiento nitrogenado de los maíces Opaco-2 y normal.

	Opaco-2	Normal
Nitrógeno total, g %	1,487 ± 0,060	1,488 ± 0,061
Extracción con HCl 0,1 N		
Extracto g N/100 g	0,323 ± 0,014**	0,188 ± 0,007
% del N total del maíz	21,86 ± 1,046**	12,68 ± 0,421
Lisina libre mg/100 g	26,76 ± 2,805**	10,34 ± 1,028
Extracción con Et. OH 75%		
Extracto g N/100 g	0,247 ± 0,018**	0,0338 ± 0,010
% del N total del maíz	16,51 ± 0,701**	22,76 ± 0,594
Zeína g N/100 g	0,121 ± 0,015**	0,242 ± 0,012
% del N total del maíz debido a zeína	8,01 ± 0,824**	16,25 ± 0,400
NNP g N/100 g	0,144 ± 0,012**	0,082 ± 0,011
% del N total del maíz debido a NNP	9,66 ± 0,734**	5,54 ± 0,807
Hidrólisis con HCl 6 N		
Lisina total g/100 g	0,453 ± 0,031**	0,268 ± 0,012

** Significativamente diferente ($P<0,01$) entre el grupo de maíces normal y Opaco-2.

NNP = Nitrógeno no proteínico.

balance de aminoácidos esenciales que éste contiene, por ejemplo, la mejor relación isoleucina/leucina. Sin embargo, es posible que este mejor valor proteínico se deba también en parte al mayor tamaño de su germen y al hecho de que este último proporciona mayor cantidad de proteína de buena calidad que el del maíz normal. Se ha reconocido que la proteína del germen es de alta calidad biológica (7), y existe información demostrativa de que el valor proteínico del endospermo del maíz Opaco-2 es tan solo un poco mejor que la calidad de la proteína del endospermo del maíz normal (5).

Estas diferencias, al igual que otras, no pueden adjudicarse únicamente al efecto de los genes Opaco-2 o Harinoso-2, según el caso, ya que las muestras de cada tipo que incluyó el estudio corresponden a materiales genéticos diferentes, cosechados en un medio ambiente también diferente. Estas fuentes de variación pueden ocasionar cambios en las estructuras físicas y en los valores proteínicos del grano, independientes de los debidos exclusivamente a los efectos del gen Opaco-2 o del Harinoso-2.

Otros estudios, sin embargo, demuestran que el endospermo del maíz Opaco contiene más del doble de los aminoácidos esenciales lisina y triptófano, que el endospermo del maíz normal (13, 15, 16).

La importancia del contenido de proteína en el maíz en relación a su valor proteínico se demuestra en los resultados de los ensayos biológicos (Cuadro 4). Por ejemplo, el maíz Harinoso-2, cuyo contenido de proteína es igual al del normal, se traduce en un valor proteínico similar, lo que no sucede cuando la proteína en la dieta aumenta. Este efecto requiere investigación más a fondo, ya que el aumento es relativamente mayor del que se observa con el maíz Opaco-2 o con maíces normales de bajo contenido proteínico, como en el caso del maíz salpor (Harinoso).

Nuevos hallazgos de interés dados a conocer en esta comunicación lo constituyen los valores de nitrógeno —aquí denominado nitrógeno no proteínico (NNP)— el cual se encontró en cantidades consistentemente más altas en los maíces Opaco-2 que en los normales o que en el Harinoso-2. Esta fracción, soluble en agua, que se obtiene al precipitar la zeína extraída, no ha sido identificada, y es probable que contenga proteína, péptidos y aminoácidos libres. Otro hallazgo de interés fue el hecho de haberse encontrado que los maíces Opaco-2 tienen más lisina libre que los normales. Estos dos resultados podrían ser muy útiles en programas de selección genética, rápidos y de fácil ejecución usando pequeñas cantidades de muestra. El hallazgo concerniente a la lisina libre —además de su utilidad como parámetro de selección— tiene otras implicaciones, principalmente de carácter nutricional, que deben ser evaluadas ya que el maíz se cocina de diversas maneras antes de su consumo, y es muy probable que se pierda durante esta operación, aunque las cantidades perdidas por este medio son relativamente pequeñas.

Vale la pena mencionar, asimismo, que según se ha informado, entre los resultados químicos y biológicos existe a veces cierta discrepancia, por lo que recientemente se ha propuesto como medida fundamental, la necesidad de hacer una evaluación biológica de los materiales seleccionados. Esta evaluación es de relativa larga duración y exige una alta disponibilidad de grano. Como un aporte a la solución de este problema, en nuestro estudio se trató de utilizar el nivel de urea sanguínea como un índice rápido, ya que esta última permite una discriminación en lo referente a la calidad de proteína; así, cuando la proteína es de baja calidad, los valores de urea sanguínea son altos (8). Esto puede notarse en los resultados del presente estudio, ya que el maíz Opaco-2 dio un valor de 16 mg/100 ml, en comparación con el maíz normal, que acusó un valor de 23 mg (Cuadro 12). Aunque el agregado de lisina y triptófano redujo los niveles de urea plasmática e incrementó el índice de eficiencia proteínica, el cambio no fue tan apreciable como era de esperarse, y esto merma sensibilidad al método. Puede ser que ello se haya debido a que las muestras de sangre se obtuvieron al finalizar los 28 días requeridos para determinar el índice de eficiencia proteínica, lapso durante el cual puede haber ocurrido una adaptación del animal al patrón de aminoácidos esenciales, lo cual suele suceder. Es posible que se habrían obtenido mayores diferencias si la prueba se hubiera realizado en períodos más cortos.

Cuadro 12.—Niveles de urea sanguínea de ratas alimentadas con maíces de diferente composición genética.

Maíces	Urea mg/100 ml	Indice de eficiencia proteínica
Opaco-2	16	1,88
Normal*	23	0,55
Normal + 0,1 L-lis. + 0,02 trip.	17	1,65
Normal + 0,2 L-lis. + 0,04 trip.	16	2,17
Normal + 0,03 L-lis. + 0,06 trip.	17	1,88
Normal + 0,4 L-lis. + 0,08 trip.	16	2,06
Normales (promedio)	20**	1,22
Harinoso-2	23**	1,37
Opaco-2 (promedio)	19**	2,19

* Maíz del altiplano de Guatemala.

** Las diferencias no son significativas.

Resumen

Se informa sobre diferencias en cuanto a la distribución de fracciones físicas y de nitrógeno de muestras de maíz de composición genética normal, y aquéllas con el gen Opaco-2 y el Harinoso-2. Los resultados de este estudio indicaron que el maíz Opaco-2 contiene un germen de mayor tamaño que el maíz normal y que aporta mayores cantidades de nitrógeno. Este hecho, además del mayor contenido de lisina y triptófano que

acusa el endospermo del maíz Opaco-2 en contraste con el maíz normal, puede explicar el valor proteínico significativamente mayor del maíz Opaco-2 en comparación con el del maíz normal. El Harinoso-2 también tiene un germen grande, el cual puede que sea responsable de los valores proteínicos más altos que presenta este maíz, aunque no son tan apreciables como el que se encuentra en el Opaco-2.

También se presenta una metodología química, rápida, que requiere el uso de lotes de muestras pequeñas (1,0 g) para detectar diferencias entre los maíces normales y el Opaco-2. El nitrógeno denominado por ahora "nitrógeno no proteínico" y la lisina libre constituyen uno de los valores de mayor significancia. Estos dos parámetros se encuentran en mayor concentración en el maíz Opaco-2 que en el maíz normal. Las pruebas biológicas en ratas, orientadas a determinar el índice de eficiencia proteínica confirmaron el mayor valor de la proteína en los maíces Opaco-2 que en los normales; lo mismo se aplica al nivel de urea sanguínea, aunque ésta no tiene la sensibilidad requerida para fines selectivos.

Literatura citada

1. ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. Official Methods of Analysis of the A.O.A.C. 9th ed. Washington, D.C., The Association, 1960. 832 p.

2. BRESSANI, R. La importancia del maíz en la nutrición humana en América Latina y otros países. *In:* Mejoramiento Nutricional del Maíz. (Ricardo Bressani, J. Edgar Braham y Moisés Béhar, eds.). Memorias de una Conferencia de nivel internacional celebrada en el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), ciudad de Guatemala, del 6 al 8 de marzo de 1972. Guatemala, C.A., Talleres Gráficos del INCAP, octubre de 1972. pp. 5-30.

3. ————, ALVARADO, J. y VITERI, F. Evaluación, en niños, de la calidad de la proteína del maíz Opaco 2. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 19:129-140. 1969.

4. ————, ELIAS, L. G. y GOMEZ BRENES, R. Protein quality of Opaque-2 corn: evaluation in rats. Journal of Nutrition 97:173-180. 1969.

5. CHAVEZ, J. F. Composición del maíz Opaco-2 venezolano. Análisis y calidad biológica de la arepa de Opaco-2 y de maíz corriente. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 22:147-160. 1972.

6. CLARK, H. E., ALLEN, P. E., MEYERS, S. M., TUCKETT, S. E. y YAMAMURA, Y. Nitrogen balances of adults consuming Opaque-2 maize protein. American Journal of Clinical Nutrition 20:825-833. 1967.

7. DUTRA DE OLIVEIRA, J. E. y DE SOUZA, N. El valor nutritivo de productos de la molienda del maíz, de la suplementación con aminoácidos y de mezclas de maíz común y de Opaco-2. *In:* Mejoramiento Nutricional del Maíz. (Ricardo Bressani, J. Edgar Braham y Moisés Béhar, eds.). Memorias de una Conferencia de nivel internacional celebrada en el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), ciudad de Guatemala, del 6 al 8 de marzo de 1972. Guatemala, C. A., Talleres Gráficos del INCAP, octubre de 1972. pp. 209-215.

8. EGGUM, B. O. Blood urea measurement as a technique for assessing protein quality. British Journal of Nutrition 24:983-988. 1970.

9. GOMEZ BRENES, R. y BRESSANI, R. Un método para la determinación de aminoácidos aplicable a problemas de suplementación, fitomejoramiento y bioquímica nutricional. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 1973. En prensa.

10. MANNA, L. y HAUGE, S. M. A possible relationship of vitamin B_{12} to orotic acid. Journal of Biological Chemistry 202:91-96. 1953.

11. MERTZ, E. T., BATES, L. S. y NELSON, O. E. Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm. Science 145:279-280. 1964.

12. ————, VERON, O. A., BATES, L. S. y NELSON, O. E. Growth of rats fed on Opaque-2 maize. Science 148:1741-1742. 1965.

13. POEY, F. R. Comparación de los efectos de los genes Opaco-2 y Harinoso-2 en el peso, volumen y densidad del grano en maíces tropicales. Agrociencia (México) 4:47-65. 1970.

14. ————. Efectos de los genes Opaco-2 y Harinoso-2 en el contenido de proteína y triptófano del endospermo de maíces tropicales. Agrociencia (México) 4:67-68. 1970.

15. ————. Desarrollo y utilización del maíz con los genes Opaco-2 y Harinoso-2. *In:* Recursos Proteínicos en América Latina. (Moisés Béhar y Ricardo Bressani, eds.). Memorias de una Conferencia de nivel latinoamericano celebrada en el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), ciudad de Guatemala, del 24 al 27 de febrero de 1970. Guatemala, C. A., Talleres Gráficos del INCAP, agosto de 1971. pp. 259-267.

16. ————. Situación del maíz opaco en América Latina. *In:* Mejoramiento Nutricional del Maíz. (Ricardo Bressani, J. Edgar Braham y Moisés Béhar, eds.). Memorias de una Conferencia de nivel internacional celebrada en el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), ciudad de Guatemala, del 6 al 8 de marzo de 1972. Guatemala, C. A., Talleres Gráficos del INCAP, octubre de 1972. pp. 36-45.

17. ———— y VILLEGAS, E. Effects of o_2 and fl_2 mutants on endosperm protein and tryptophan content of tropical maize. Abstracts of the American Society of Agronomy 61. 1969.

18. SREERAMBULU, C., BAUMAN, L. F. y ROTH, G. Effect of out crossing on protein quality, kernel weight and related characters in Opaque-2 and Floury-2 maize (*Zea mays*, L.). Crop Science 10:235-236. 1970.

19. WATSON, S. A. Comparison of the wet milling properties of Opaque-2 maize and normal dent corn. *In:* Proceedings of the High Lysine Corn Conference held in Lafayette, Indiana, June 21-22, 1966. Washington, D. C., Corn Industries Research Foundation, a Division of Corn Refiners Association, Inc., 1966. pp. 117-120.