

# CARACTERIZACIÓN NUTRICIONAL DEL GRANO DE 50 ACCESIONES DE MAÍZ CUBANO

M. Martínez<sup>✉</sup>, Natalia Palacios y R. Ortiz

**ABSTRACT.** A nutritional quality analysis was performed to 50 yellow maize accessions collected in some farms from three regions of Cuba (western, center and east). Thus, the following characters were tested: ash, oil, total sugar, nitrogen, lysine and triptophan contents (%), at the International Breeding Center of Maize and Wheat (CIMMYT) in Mexico. As a result, standard values of ash, oil, sugar and lysine were obtained; however, with regard to sugar content, three accessions were notable. Concerning triptophan content, 76 % accessions have shown relatively high values, even when compared to some high-quality protein maize (QPM), which explains that 74 % of the overall population evaluated has a relatively high quality index surpassing a standard variety used as control, and even seven accessions overcome QPM evaluative reports in another region. This is an encouraging result, since it permits to draw up several strategies for improving the nutritional quality of some accessions, to be further applied to feed target populations and animals of interest. Also, significant correlations were recorded at the population studied. On the other hand, accessions were scattered when a Main Component analysis was made, so that accessions splitted up from others according to the characters having a decisive influence on maize nutritional quality.

*Key words:* maize, quality, nutritive value, triptophan, lysine

**RESUMEN.** En este trabajo se realizó un análisis de la calidad nutricional a 50 accesiones de maíz amarillo, colectadas en fincas de agricultores de las tres regiones de Cuba (occidente, centro y oriente). Para ello, se examinaron los caracteres siguientes: contenidos (%) de ceniza, aceite, azúcares totales, nitrógeno, lisina y triptófano, en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en México. Como resultado se obtuvieron valores normales de ceniza, aceite, azúcares y lisina; sin embargo, en el contenido de azúcares, se destacan tres accesiones. En cuanto al contenido de triptófano, el 76 % de las accesiones muestran valores relativamente altos, incluso comparados con algunos maíces de alta calidad proteica (QPM), lo que tributa a que el 74 % de la población total evaluada tenga un índice de calidad relativamente alto, que supera a la variedad normal usada como testigo e incluso siete accesiones superan a los reportes de la evaluación de un QPM en otra región. Este resultado es alentador, dado que permite trazar estrategias para elevar la calidad nutricional de algunas accesiones y utilizarlas en la alimentación de poblaciones meta y animales de interés. También se mostraron correlaciones interesantes en la población estudiada. Además, se demostró que existe dispersión en las accesiones cuando se realiza un análisis de componentes principales, existiendo accesiones que se separan de otras atendiendo a caracteres que influyen decisivamente en la calidad nutricional del maíz.

*Palabras clave:* maíz, calidad, valor nutritivo, triptófano, lisina

## INTRODUCCIÓN

La importancia de los cereales en la nutrición de millones de personas de todo el mundo es ampliamente reconocida. Debido a su ingesta relativamente elevada en los países en desarrollo, no se les puede considerar solo una fuente de energía, sino que además suministran proteínas. Los granos de cereal tienen una baja concentración de proteínas y la calidad de estas se halla limitada por la deficiencia de dos aminoácidos esenciales: lisina y triptófano. Ejemplo clásico de ello es el maíz, pues otros cereales presentan limitaciones iguales pero menos evidentes (1).

Ms.C. M. Martínez, Investigador y Dr.C. R. Ortiz, Investigador Titular del departamento de Genética y Mejoramiento Vegetal, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba, CP 32 700; Dra. Natalia Palacios, Investigadora del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), México.

✉ mmacruz@inca.edu.cu

El valor nutritivo del maíz es muy similar al de otros cereales, siendo algo superior al del trigo y solo ligeramente inferior al del arroz (2). Estos tres cereales son los que más se consumen en el mundo. El problema del maíz radica en la dieta de la que forma parte, que es muy deficiente en el tipo de alimentos complementarios, necesarios para mejorar los elementos nutritivos ingeridos con cantidades relativamente grandes de maíz. Los consumidores de maíz tendrían un mejor estado nutricional si el maíz que ingieren poseyera buena calidad proteica, o si lo consumiesen junto con una cantidad suficiente de alimentos proteicos como legumbres, leche, soja, semillas y hojas de amaranto (1).

El maíz se caracteriza, generalmente, por poseer una baja calidad de las proteínas, debido al bajo contenido de los aminoácidos esenciales: lisina y triptófano. En Cuba, nunca se ha realizado con profundidad una caracterización del contenido nutricional de una amplia diversidad de maíz, que permita evaluar la calidad nutritiva de este

cereal en nuestras condiciones. Aunque el contenido de estos elementos puede variar dependiendo del tipo de variedad, las condiciones de cultivo y ambientales específicas, así como los métodos de selección utilizados por los productores (1, 3), la variabilidad de los compuestos químicos es de origen genético y, por consiguiente, se pueden modificar mediante la manipulación adecuada (4).

En general, este grano es ampliamente consumido por la población en dos épocas del año: primavera y verano; además, debido a los programas sociales que lleva a cabo el gobierno cubano, es suministrado de manera masiva y dirigida a poblaciones metas de interés para la nación, como son los ancianos (hogar de ancianos), estudiantes (escuelas primarias, secundarias, preuniversitarios y universidades), niños (círculos infantiles) y enfermos (hospitales y policlínicos). También llega de manera dirigida a otras dependencias, como son las instituciones, los centros de trabajo, etc.

En Cuba, a pesar de que existe una amplia diversidad de maíz cultivado en condiciones tropicales de bajos insumos y consumido de una manera u otra por casi la totalidad de la población, no hay una caracterización del cultivo en el país, en cuanto a calidad nutritiva; además, no se han introducido variedades mejoradas para tal fin (*QPM* o biofortificadas).

Dada dicha situación, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la calidad nutritiva de una amplia diversidad de maíz cubano.

## MATERIALES Y MÉTODOS

*Caracterización general de las condiciones de cultivo y almacenamiento de las semillas.* En abril del 2007, se sembró la colección de maíz en el área central del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). La siembra se realizó sobre un suelo Ferralítico Rojo (5). Durante el ciclo del cultivo se realizaron cuatro riegos. El campo no se fertilizó y se controlaron las malezas por medio de la tracción animal, ya que no se aplicó ningún herbicida ni plaguicida químico. Las semillas cosechadas en agosto del 2007 fueron secadas al sol y conservadas en pomas plásticas, posteriormente colocados en un local donde la temperatura se controla con el uso de un acondicionador de aire y la humedad se regula a través de dos deshumificadores.

*Caracterización de la calidad nutricional de 50 accesiones de maíz provenientes de diferentes zonas de Cuba.* Para dicha caracterización, las muestras fueron de semillas cosechadas en agosto del 2007 en el INCA. Se tomó una muestra de 100 g de semillas totalmente sanas y libres de patógenos. Los caracteres evaluados fueron los contenidos (%) de nitrógeno, aceite, azúcares totales, ceniza, lisina y triptófano. No se realizaron repeticiones de los análisis. Se seleccionaron estas 50 accesiones, debido a que provienen de las tres regiones del país: occidente, centro y oriente (Tabla I). Además, es objetivo de

este trabajo caracterizar las accesiones criollas, colectadas generalmente en las fincas de los campesinos.

Las accesiones contempladas del número 7 al 25, a pesar de que los campesinos las llamen solo como criollas, son diferentes (6) y así fueron consideradas.

Este trabajo se realizó en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Texcoco, México. Las muestras se analizaron utilizando los protocolos para el desarrollo de cultivares QPM (7).

*Preparación de las muestras.* Las muestras no se trataron con ningún producto químico ni biológico que haya influido en los resultados de los análisis realizados; estas se molieron en un molino *Tecator* usando un tamiz de acero inoxidable de 0.5 mm, envueltas en un papel de filtro comercial (10 x 11 cm) y desengrasadas con 300 mL de hexano en un extractor continuo *Soxhlet-type* por seis horas. Posteriormente, se secaron al aire para eliminar el exceso de hexano.

*Determinaciones de los elementos evaluados.* Las determinaciones se hicieron de acuerdo al método correspondiente: las cenizas totales por el AACC (8), el extracto etéreo y el nitrógeno total por el AOAC (9), mientras que los azúcares totales por el antrona (10); el contenido de lisina por el método de Tsai (11) modificado (12) y el triptófano por el método colorimétrico basado en ácido glioxílico (7).

El contenido de proteína se calcula a través de la siguiente fórmula:

% proteína = % nitrógeno x 6.25 (factor de conversión para maíz)

A partir de los datos obtenidos de las determinaciones anteriores, se calculó el índice de calidad (*IQ*, por sus siglas en inglés), que es la relación triptófano-proteína expresada en porcentaje y se calcula de la siguiente manera:

$$IQ = (100 * \% \text{ triptófano}) / \text{proteína}$$

Se utilizaron como testigos una muestra de maíz normal (variedad: TL00A 1440-36) y un *QPM* (variedad: NUTRICTA) con contenido de triptófano conocido. Estas muestras se tomaron del banco de germoplasma del CIMMYT. Dichas variedades han sido cultivadas en los campos experimentales de este instituto, donde se utiliza un paquete de fertilización alto.

Se realizó un análisis de componentes principales a las 50 accesiones evaluadas, conformándose tres componentes. Se realizó un análisis de conglomerados, determinando las distancias euclidianas en los caracteres siguientes: contenidos de nitrógeno, proteínas, triptófano, aceites y azúcares. Se excluyó el contenido de cenizas, debido a que no tiene un aporte significativo en las componentes.

Con el objetivo de conocer las correlaciones existentes entre las variables evaluadas en esta población, se realizó un análisis estadístico de correlaciones por el método de *Pearson*. Estos análisis se realizaron utilizando el programa estadístico *SPSS* versión 11.5 para *Windows*.

**Tabla I. Nombre y procedencia de las accesiones colectadas**

Código	Nombre	Procedencia
1	P 876 acb	Holguín
2	P 820 acb	Holguín
3	P 2284	Ciudad Habana
4	P 2089 act	Granma
5	P 156	Pinar del Río
6	Tayuyo Rojo	Holguín, Jíbara
7	Criollo	La Palma, Pinar del Río
8	Criollo	La Palma, Pinar del Río
9	Criollo	La Palma, Pinar del Río
10	Criollo	La Palma, Pinar del Río
11	Criollo	La Palma, Pinar del Río
12	Criollo	La Palma, Pinar del Río
13	Criollo	La Palma, Pinar del Río
14	Criollo	Catalina de Güines, La Habana
15	Criollo	Catalina de Güines, La Habana
16	Criollo	Catalina de Güines, La Habana
17	Criollo	Catalina de Güines, La Habana
18	Criollo	Catalina de Güines, La Habana
19	Criollo	Catalina de Güines, La Habana
20	Criollo	Catalina de Güines, La Habana
21	Criollo	Catalina de Güines, La Habana
22	Criollo	Catalina de Güines, La Habana
23	Criollo	Catalina de Güines, La Habana
24	Criollo	Catalina de Güines, La Habana
25	Criollo	Oriente, Manzanillo
26	Canilla	Laguna Blanca
27	Tayuyo Tuzón	Bungo 5
28	Tayuyo Diente Caballo	Laguna Blanca.
29	P 7928	Frigorífico
30	Diente de Caballo	Montería, Ventas Casanova
31	VST-6	Frigorífico
32	Tayuyo	Baguá, Ventas Casanova
33	Tuzón	Bungo 5
34	Tayuyo Blanco	El Salado
35	maíz criollo	Batey Manga Larga. Corralillo
36	maíz argetino y morado	Manga Larga Corralillo
37	maíz blanco y morado	Guillermo Yabre. Corralillo
38	maíz rojo	Las Cruces. CPA "Victoria de Girón" Corralillo
39	maíz criollo de paja blanca	Aguada, Mayajigua, Yaguajay. SS. CCS "Manuel Montaña"
40	maíz criollo	Garita, Yaguajay. Santi Spiritus
41	maíz paja blanca	San José de las Marianitas. CCS "Antonio Maceo". Jaguajay. SS
42	maíz blanco	Jarahueca, Yaguajay. SS. CPA "Agusthino Neto"
43	maíz balanco y argentino, tusa gorda	Finca "Las Mercades" Carrillo, Remedios. VC
44	maíz argentino	La Guinea, CCS "Frank País" Vueltas Camajuaní
45	maíz morado	Aguada de Moya, CPA "Fructuoso Rodríguez". Vueltas Camajuaní
46	maíz victoria	CCS "Niceto Pérez" Cabaiguan. SS
47	maíz mantequilla (descendiente de victoria)	CCS "Horacio González" Cabaiguan
48	maíz paja blanca y morada	Monte Rubio, Ranchuelo, CAI "10 de octubre"
49	maíz argentino y TGH	Carrillo, Remedios, VC
50	maíz gallego	San Juan de los Yeros, Ranchuelo. CCS "Segimundo Delgado"

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

*Caracterización de la calidad nutricional de 50 accesiones de maíz.* En la Tabla II se muestran los resultados de las variables evaluadas: contenidos (%) de ceniza, aceite, azúcares, nitrógeno, proteína, triptófano y lisina en las accesiones estudiadas.

El bajo valor nutritivo del maíz es debido a que el contenido proteínico del grano está representado principalmente por zeínas y glutelinas insolubles en alcohol, las cuales constituyen más del 50 % de la proteína total (13) y son deficientes en los aminoácidos esenciales lisina y triptófano (14).

Como muestra la tabla anterior, el contenido mineral total (ceniza %) de las accesiones evaluadas se ubica en un rango de 1,15 a 1,63 %, el de aceite oscila entre 3,75 y 5,53 % y el de azúcares va desde 3,00 a 8,10 %. Estos rangos se encuentran en los estándares reportados tanto en variedades normales como en *QPM*, que en el caso del contenido mineral total oscilaban entre 0,80 y 1,70 %, en el de aceite entre 4,0 y 7,0 % y en el de azúcares entre 3,0 y 7,0 % (2, 4, 15, 16, 17).

Para el contenido de proteínas (%), las accesiones evaluadas se ubican en un rango de 6,65 a 11,99 % (18), que plantea que el grano de maíz presenta un contenido que varía de 7 a 12 %, dependiendo del maíz de que se trate; en general, los del endospermo suave tienen menor contenido que los de endospermo duro.

Resultados similares describen en su estudio que la proteína del maíz oscila entre 9,1 y 13,1 % (19). En este mismo sentido, se ha encontrado que la proteína varía de 7,0 a 11,8 % entre híbridos de altos rendimientos normales y *QPM* (20).

Se plantea que el porcentaje de proteínas en los maíces de alta calidad proteica es generalmente inferior al de las variedades normales (3, 21). Por el contrario, en los resultados de este trabajo existen 17 (34 %) accesiones de maíz normal, que muestran datos similares e incluso menores numéricamente que la variedad *QPM* utilizada como testigo (8,63 %).

El valor de un alimento como fuente de proteína depende no solo de la cantidad que contenga, sino del contenido específico en aminoácidos. Las proteínas por sí solas no son esenciales como nutrientes, pero contienen aminoácidos esenciales y nitrógeno (16).

Se debe destacar que el contenido de proteínas está directamente influido por la fertilización nitrogenada que se le realice al cultivo, aunque resulta determinante la información genética que tiene cada accesión (22). En el caso de las accesiones sembradas en el INCA, el relativamente bajo contenido de proteínas está definido, en gran parte, por la no utilización de fertilizantes nitrogenados en su ciclo, mientras que tanto la variedad normal como el *QPM* utilizados como testigos, sí se fertilizaron durante su cultivo en los campos experimentales del CIMMYT.

En cuanto al contenido (%) de triptófano, ninguna de las accesiones es numéricamente igual o mayor que el valor del *QPM* utilizado como testigo; sin embargo, 38 de

las accesiones evaluadas muestran valores iguales o mayores a la variedad normal utilizada como testigo, lo que representa el 76 % del total de ellas. Los valores de triptófano que como media presenta la población estudiada (0,075 g por cada 100 g de muestra) son relativamente altos en comparación con resultados anteriores (4), que al evaluar poblaciones de maíz normal obtuvieron contenidos que oscilan entre 0,041 y 0,044 %. Igualmente, se plantea que las variedades normales de maíz tienen un contenido de triptófano de alrededor de 0,040 % y que el mutante opaco 2 de alta calidad proteica tiene 0,09 % (7).

Al respecto, se encontraron 0,085 g de triptófano por cada 100 g de muestra en maíz *QPM* y 0,045 g en el testigo normal utilizado en el estudio (23). Por otra parte, se informa que los genotipos *QPM* fueron mejores en el contenido de proteínas y existieron diferencias significativas entre *QPM* y el maíz normal (24).

Al comparar los resultados del estudio de la calidad de los granos de accesiones cubanas con otros obtenidos anteriormente (25), se observa que solo dos accesiones: 29 (0,050 %) y 49 (0,053 %), tienen valores menores a la variedad normal (0,059 %), utilizada por el contenido de triptófano (25), mientras que el resto de las 48 accesiones presentan valores mayores o iguales a esta variedad, lo que significa un 96 % de la población total evaluada.

Este resultado tiene relevancia, dado que el porcentaje de triptófano influye directamente en la calidad de la proteína del grano de maíz. Siguiendo algunos criterios (21), es el triptófano, no la lisina, el principal aminoácido limitante de las proteínas del maíz, lo cual puede ser cierto en el caso de algunas variedades con una concentración elevada de lisina, o para productos de maíz que hayan sido sometidos a algún tipo de elaboración. Sin embargo, muchos han coincidido en que la adición simultánea de lisina y triptófano mejora considerablemente la calidad de las proteínas del maíz, como se ha demostrado experimentalmente con animales.

Es interesante saber que las accesiones cubanas muestran valores relativamente altos comparados con otras variedades, a pesar de que nunca han convivido con variedades de alta calidad proteica y, además, no se han ejecutado programas de mejora dirigidos a tal efecto.

El valor biológico de la proteína se estima basado en la fracción del nitrógeno absorbido que es retenido por el organismo para su mantenimiento y crecimiento. Este valor está estrechamente relacionado con la calidad de la proteína, que en el caso del maíz está muy limitado por las bajas concentraciones de los aminoácidos lisina y triptófano (7).

La fertilización nitrogenada aumenta el contenido de proteínas en el grano de maíz y en otros cultivos, pero lo hace a costa de disminuir su valor biológico, es decir, disminuye, en el caso del maíz, la calidad de la proteína al aumentar el porcentaje de nitrógeno y permanecer inalterable el contenido de aminoácidos esenciales, en específico lisina y triptófano; por consiguiente, el índice de calidad también disminuye (16). Por tanto, las prácticas campesinas cubanas basadas en el uso limitado de fertilizantes nitrogenados en la producción de maíz están influyendo positivamente en su calidad nutricional.

**Tabla II. Valores de los contenidos (%) de ceniza, aceite, azúcares, nitrógeno, proteína, triptófano, lisina y el índice de calidad en las 50 accesiones evaluadas y los testigos utilizados**

Código Unidad de medida	Cenizas (%) g/100 g de muestra	Aceite (%) g/100 g de muestra	Azúcares (%) g/100 g de muestra	Proteína (%) g/100 g de muestra	Triptófano (%) g/100 g de muestra	Lisina (%) g/100 g de muestra	Índice de calidad (%)* en porcentaje
Normal	-	-	6,4	10,63	0,065	0,354	0,61
<i>QPM</i>	-	-	-	8,63	0,097	0,383	1,12
1	1,61	4,01	5,6	<b>11,99</b>	<b>0,078</b>	0,317	0,655
2	1,16	4,65	5,4	8,38	<b>0,069</b>	0,231	<b>0,828</b>
3	1,36	5,43	5,7	8,68	<b>0,076</b>	0,309	<b>0,882</b>
4	1,27	4,20	5,8	<b>10,92</b>	<b>0,075</b>	0,303	0,683
5	1,27	4,08	4,1	<b>10,75</b>	<b>0,071</b>	0,257	0,660
6	1,28	4,52	4,8	6,64	0,064	0,260	<b>0,965</b>
7	1,28	4,45	5,4	9,35	<b>0,068</b>	0,286	<b>0,724</b>
8	1,22	5,08	5,4	6,83	0,059	0,237	<b>0,858</b>
9	1,18	4,28	<b>6,6</b>	8,88	<b>0,080</b>	0,291	<b>0,898</b>
10	1,17	4,33	<b>6,2</b>	9,57	<b>0,068</b>	0,277	<b>0,715</b>
11	1,41	4,55	<b>6,8</b>	10,52	<b>0,074</b>	0,303	<b>0,704</b>
12	1,25	4,24	5,2	10,03	<b>0,074</b>	0,289	<b>0,733</b>
13	1,27	3,92	<b>6,0</b>	9,52	<b>0,068</b>	0,303	<b>0,718</b>
14	1,56	4,60	5,7	10,01	<b>0,083</b>	0,289	<b>0,834</b>
15	1,31	4,73	5,0	7,61	<b>0,075</b>	0,240	<b>0,984</b>
16	1,21	4,92	5,2	7,27	0,062	0,289	<b>0,848</b>
17	1,49	3,89	3,8	10,23	<b>0,071</b>	0,274	0,695
18	1,63	5,53	4,9	8,57	<b>0,068</b>	0,314	<b>0,795</b>
19	1,44	4,33	<b>8,1</b>	10,39	<b>0,077</b>	0,303	<b>0,745</b>
20	1,16	4,56	3,4	9,27	<b>0,072</b>	0,291	<b>0,776</b>
21	1,44	4,16	5,2	10,01	<b>0,076</b>	0,323	<b>0,756</b>
22	1,30	4,59	3,7	<b>11,25</b>	<b>0,076</b>	0,329	0,679
23	1,35	3,75	3,8	10,05	<b>0,077</b>	0,326	<b>0,764</b>
24	1,21	5,44	4,9	8,02	0,061	0,280	<b>0,763</b>
25	1,34	4,22	4,4	10,25	<b>0,080</b>	0,300	<b>0,777</b>
26	1,25	4,31	4,7	<b>10,84</b>	<b>0,077</b>	0,286	<b>0,707</b>
27	1,52	4,13	4,8	<b>11,99</b>	<b>0,085</b>	0,306	<b>0,713</b>
28	1,34	4,47	4,3	8,92	0,064	0,286	<b>0,714</b>
29	1,16	4,26	5,1	8,89	0,050	0,246	0,567
30	1,28	4,64	4,8	9,95	0,060	0,283	0,608
31	1,32	4,28	4,0	9,39	<b>0,078</b>	0,286	<b>0,826</b>
32	1,31	4,31	4,7	10,50	<b>0,076</b>	0,294	<b>0,723</b>
33	1,40	4,11	4,4	10,07	<b>0,068</b>	0,297	0,678
34	1,42	4,38	5,1	10,38	<b>0,074</b>	0,343	<b>0,710</b>
35	1,40	4,35	5,1	10,17	<b>0,072</b>	0,331	<b>0,708</b>
36	1,47	4,73	4,7	10,17	<b>0,082</b>	0,331	<b>0,805</b>
37	1,39	4,47	4,7	9,84	<b>0,072</b>	0,337	<b>0,731</b>
38	1,15	4,06	4,4	8,64	<b>0,070</b>	0,300	<b>0,813</b>
39	1,42	5,28	3,8	6,55	0,060	0,229	<b>0,913</b>
40	1,41	4,31	4,1	8,67	<b>0,066</b>	0,289	<b>0,761</b>
41	1,31	4,36	4,8	8,63	0,064	0,274	<b>0,737</b>
42	1,30	4,37	3,3	8,58	<b>0,071</b>	0,294	<b>0,824</b>
43	1,39	4,42	4,0	9,31	<b>0,067</b>	0,314	<b>0,723</b>
44	1,61	4,21	3,5	10,22	<b>0,074</b>	0,334	<b>0,724</b>
45	1,56	4,23	3,0	9,95	0,059	0,326	0,588
46	1,50	4,29	3,4	10,20	<b>0,072</b>	0,326	<b>0,711</b>
47	1,45	4,54	3,4	<b>10,63</b>	0,059	0,294	0,556
48	1,43	4,22	5,8	9,65	<b>0,065</b>	0,303	0,676
49	1,28	4,63	<b>6,3</b>	8,08	0,053	0,240	0,661
50	1,58	4,53	4,8	10,23	<b>0,071</b>	0,343	0,695

\* IQ = (100\* % triptófano)/proteína

El contenido (%) de lisina no muestra datos relevantes, pues sus valores se encuentran por debajo del de la variedad normal utilizada como testigo y está en el rango de los contenidos (0,26 g por cada 100 g de muestra) que tienen las variedades normales, mientras que el mutante de alta calidad proteica opaco 2 presenta un contenido de lisina de 0,42 g por cada 100 g de muestra (7, 26).

Por otra parte, se informa que la lisina disponible entre maíces *QPM* varió de 0,42 a 0,57 g por cada 100 g de muestra (19). Otros concluyen que los maíces *QPM* contienen entre 30 y 82 % más de lisina que el maíz normal, así como valores más altos de arginina, triptófano, histidina, treonina, cisteína y valina (20).

Generalmente existe una relación aproximada de 3:1 entre el contenido de lisina y triptófano en las variedades de alta calidad proteica (*QPM*) (22). Esta relación no ocurre en las accesiones evaluadas en este trabajo con alto índice de calidad, por lo que estos resultados podrían deberse a otro tipo de modificación que presentan las accesiones estudiadas.

El índice de calidad se muestra relativamente alto en 37 de las 50 accesiones evaluadas. En estas accesiones, que representan el 74 % de la población total evaluada, el *IQ* siempre tiene valores mayores que 0,7 y llega en el caso de la accesión 15 a un valor de 0,984. Los valores relativamente altos del índice de calidad se deben principalmente al alto contenido de triptófano que tienen estas accesiones.

Cuando se comparan estos resultados con otros anteriores (25), se puede observar claramente que todas las accesiones cubanas evaluadas tienen un índice de calidad numéricamente mayor al de la variedad normal utilizada por los autores (ICA V-109), que muestra un *IQ* de 0,52. También es importante destacar que siete de las accesiones que integran este trabajo: la 3 con *IQ*=0,88, la 6 con *IQ*=0,96, la 8 con *IQ*=0,86, la 9 con *IQ*=0,90, la 15 con *IQ*=0,98, la 16 con *IQ*=0,85 y la 39 con *IQ*=0,91, tienen valores similares o mayores del índice de calidad que los de grano comercial del *QPM* evaluado (25) que muestra un *IQ*=0,85.

Los límites aceptables para seleccionar genotipos y utilizarlos en programas de mejoras destinados a la calidad proteica del maíz se muestran en la Tabla III.

**Tabla III. Contenidos mínimos de proteína, triptófano e índice de calidad para seleccionar genotipos**

Variable	Contenido (%)
Proteína	≥ 8,0
Triptófano	> 0,075
Índice de calidad	> 0,8

De las 50 accesiones evaluadas en el presente trabajo, cinco cumplen con los contenidos mínimos de las tres variables: accesión 3 con 8,68 % de proteína, 0,076 % de triptófano y un índice de calidad de 0,882 %; accesión 9 con 8,88 %, 0,080 % y 0,898 % respectivamente; acce-

sión 14 con 10,01 %, 0,083 % y 0,834 % respectivamente; accesión 31 con 9,39 %, 0,078 % y 0,826 % respectivamente y, por último, accesión 36 con 10,17 %, 0,082 % y 0,805 % respectivamente. Dado este resultado, se recomienda utilizar estas cinco accesiones en futuros programas de mejoramiento genético, para mejorar la calidad nutricional del maíz en Cuba.

*Análisis de las correlaciones entre los caracteres evaluados.* La Tabla IV muestra las correlaciones de Pearson existentes entre los caracteres: contenidos (%) de ceniza, aceite, azúcares, nitrógeno, triptófano y lisina de la población estudiada en este trabajo.

Como se aprecia en dicha tabla, existen varias correlaciones interesantes entre las variables evaluadas en las 50 accesiones. El contenido de ceniza tiene correlación muy significativa y positiva con los contenidos de nitrógeno y lisina. El contenido de aceite tiene correlación muy significativa y negativa con el de nitrógeno. El contenido de azúcares no tiene correlación significativa con el resto de las variables.

El contenido de nitrógeno, además de las correlaciones ya mencionadas anteriormente con los contenidos de ceniza y aceite, tiene correlación muy significativa y positiva con los de triptófano y lisina. El contenido de triptófano tiene correlación muy significativa y positiva con el de lisina.

Es importante destacar que el contenido de los dos aminoácidos esenciales, que determinan en gran medida la calidad proteica del maíz, tienen una correlación muy significativa y positiva entre sí en esta población, lo que implica que el aumento en el contenido de uno de los dos aminoácidos equivale directamente al aumento del otro y viceversa; de esta manera, la calidad de la proteína aumenta o disminuye considerablemente.

La otra correlación interesante es la que se produce de manera muy significativa y positiva entre el contenido de nitrógeno y los de lisina y triptófano, de forma tal que un aumento en el porcentaje de proteínas viene dado también por un aumento en los contenidos de lisina y triptófano.

También se debe destacar la correlación negativa y muy significativa que se manifiesta entre el contenido de aceite y el de nitrógeno, demostrando así que disminuyendo el contenido de aceite de esta población, se provoca un aumento del de nitrógeno y, por consiguiente, un aumento también en los contenidos de triptófano, lisina y ceniza.

Las correlaciones que se manifestaron en la población estudiada permiten seleccionar o mejorar indirectamente algunos caracteres, basados en la selección o mejora de otros que están directamente correlacionados con estos.

*Análisis de la diversidad y dispersión de las accesiones evaluadas.* La Tabla V muestra la varianza total explicada (%) en las tres componentes principales, conformadas por la agrupación de los siete caracteres evaluados: contenidos de ceniza, aceite, azúcares, nitrógeno, proteína, lisina y triptófano.

**Tabla IV. Correlaciones de Pearson (r) entre los contenidos (%) de ceniza, aceite, azúcares, nitrógeno, triptófano y lisina**

		Aceite	Azúcar	Nitrógeno	Triptófano	Lisina
Ceniza	Correlación	-0,034	-0,165	0,413(**)	0,239	0,530(**)
	Sig. (bilateral)	0,814	0,252	0,003	0,095	0,000
Aceite	Correlación	1	0,091	-0,565(**)	-0,271	-0,262
	Sig. (bilateral)	.	0,528	0,000	0,057	0,066
Azúcar	Correlación		1	-0,022	0,130	-0,152
	Sig. (bilateral)			0,881	0,369	0,291
Nitrógeno	Correlación			1	0,555(**)	0,617(**)
	Sig. (bilateral)			.	0,000	0,000
Triptófano	Correlación				1	0,428(**)
	Sig. (bilateral)				.	0,002

\*\*La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral)

**Tabla V. Varianza total explicada en las tres primeras componentes principales en los contenidos (%) de ceniza, aceite, azúcares, nitrógeno, proteína, lisina y triptófano**

Componente	Varianza total explicada (%)
1	49,848
2	66,789
3	80,971

Método de extracción: análisis de componentes principales

Las primeras tres componentes principales explican el 80,971 % de la varianza total. La Tabla VI muestra la distribución de las siete variables en las tres componentes principales conformadas y el aporte de cada variable en estas componentes.

**Tabla VI. Distribución de los contenidos (%) de ceniza, aceite, azúcares, nitrógeno, proteína, lisina y triptófano en las tres componentes principales**

	Componentes		
	I	II	III
NIT	0,946	0,122	-0,076
PROT	0,945	0,124	-0,077
TRIP	0,666	0,297	0,271
LIS	0,769	-0,296	0,198
CEN	0,554	-0,550	0,425
ACE	-0,593	-0,284	<b>0,636</b>
AZU	-0,087	0,772	<b>0,533</b>

Como se observa en la tabla anterior, las variables que más aportan a la componente I son los contenidos (%) de nitrógeno, proteína, lisina y triptófano. En la componente II, la variable que más aporta es el contenido (%) de azúcares y en la componente III son los contenidos (%) de aceite y azúcares.

En la Figura 1 se muestra la ubicación gráfica de las 50 accesiones, atendiendo a las distancias euclidianas en los contenidos de nitrógeno, proteínas, triptófano, aceites y azúcares.

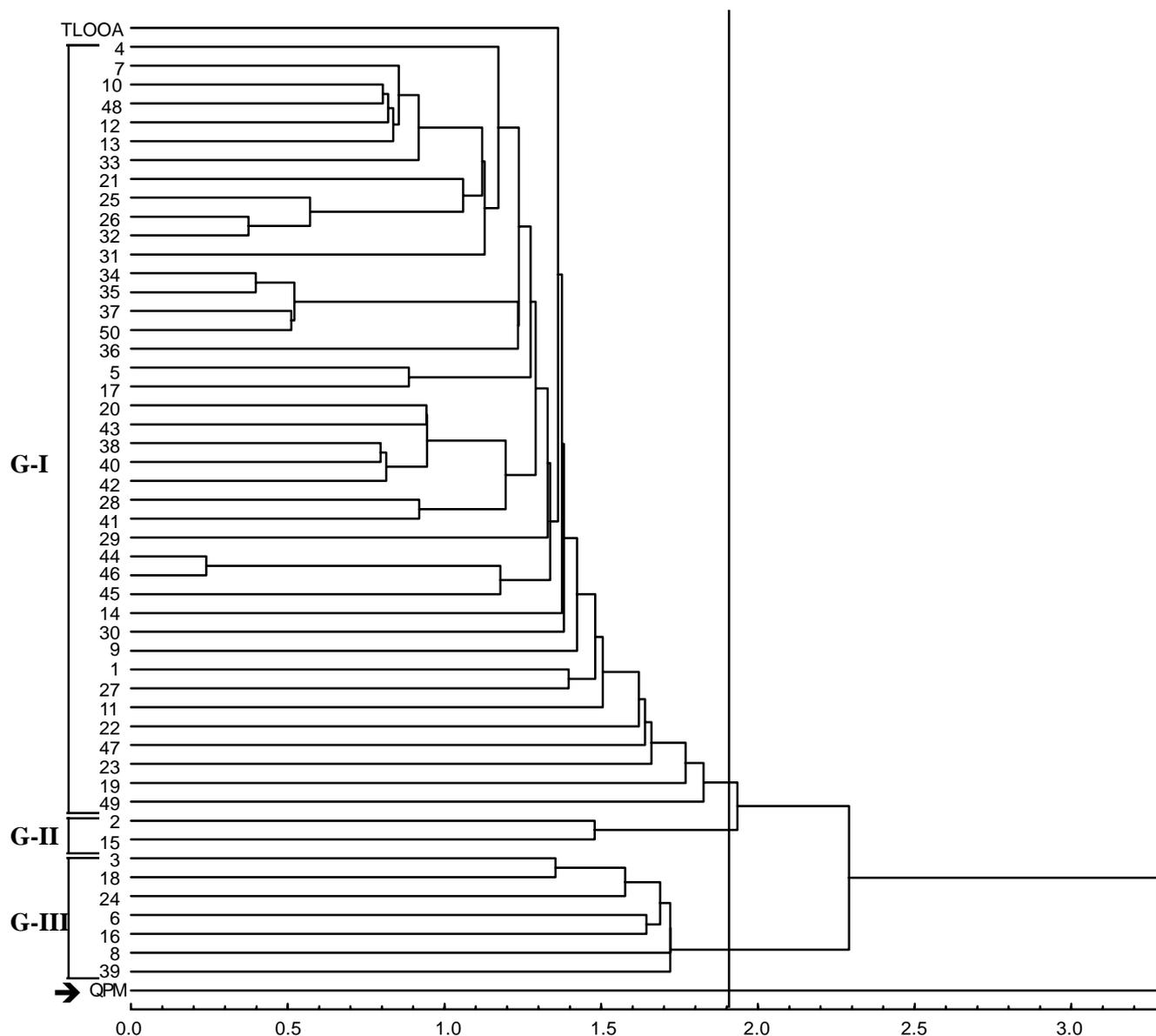
Como se observa en la figura, dadas las distancias euclidianas se conforman tres grupos definidos: primer grupo (G-I) conformado por 41 accesiones de las evaluadas más la variedad normal utilizada como testigo; segundo (G-II) integrado por dos accesiones (2 y 15) y tercero (G-III) integrado por siete accesiones (3, 18, 24, 6, 16, 8 y 39). La variedad QPM utilizada como testigo no es parte de ningún grupo.

El G-III se conforma con las accesiones que presentan los menores contenidos de triptófano, inferiores siempre a 0,070, excepto la accesión 3 que tiene 0,076; además, las accesiones que componen dicho grupo evidencian los más bajos contenidos de nitrógeno, inferiores a 1,40, por tanto de proteína, inferiores a 8,70. Este grupo mantiene índices de calidad elevados. El G-II se conforma con las accesiones que poseen los menores contenidos de lisina, además de presentar también relativamente bajos contenidos de nitrógeno y proteínas. Las accesiones que se ubican en los grupos mencionados no poseen un origen común y proceden de diferentes zonas del país.

De manera general, los resultados de este trabajo demuestran que el 74 % de las accesiones evaluadas tienen un alto índice de calidad, basado en el alto contenido (%) de triptófano que tienen el 76 % de ellas. Además, se ha podido comprobar la formación de tres grupos caracterizados por algunos rasgos específicos que los distinguen entre sí.

Este resultado permite decir que en Cuba existen accesiones de elevada calidad proteica en relación con otros reportes (27), que indican que las variedades normales tienen bajos contenidos de triptófano y lisina, aminoácidos esenciales que determinan la calidad de la proteína del maíz.

Las variedades normales presentan un porcentaje de triptófano menor o igual a 0,06 %, mientras que un alto porcentaje (76 %) de las 50 accesiones evaluadas en este estudio tienen valores superiores (13).



**Figura 1. Distancias euclidianas entre las 50 accesiones evaluadas basadas en los contenidos (%) de ceniza, aceite, azúcares, nitrógeno, proteína, lisina y triptófano**

La proteína del maíz a medida que tiene una mayor calidad, es más asimilable por el cuerpo humano; de esta manera, una población que se alimente con maíz de alta calidad proteica logra una mayor retención de las proteínas que aporta el cereal (16, 17). Por tanto, determinar qué accesiones de maíz en Cuba poseen mayor calidad de la proteína resulta útil, para poder utilizarlas en programas dirigidos a la alimentación de sectores priorizados de la población cubana, que necesitan aumentar los niveles de asimilación de proteínas, por ejemplo, los ancianos, enfermos y niños.

## REFERENCIAS

1. El maíz en la nutrición humana. Colección FAO: Alimentación y nutrición, N° 25. Roma, 1993. ISBN 92-5-303013-5.
2. Sansano C. A. Cereales: estructura y composición nutricional. Universidad de Alicante, 2008.
3. Wilson, L. M., Sherry, A., Whitt, R. B., Ibañez, A. M., Torbert, C., Rocheford, R., Major, D., Goodman, M. E. y Buckler, E. S. Dissection of maize kernel composition and starch production by candidate gene association. *The Plant Cell*, 2004, vol. 16, p: 2719–2733. Disponible en: <http://www.plantcell.org>.
4. Mendoza-Elos, M.; Andrio-Enríquez, E.; Juárez-Goiz, J. M.; Mosqueda-Villagómez, C.; Latournerie-Moreno, L.; Castañón-Nájera, G.; López-Benítez, A. y Moreno-Martínez, E. Contenido de lisina y triptófano en genotipos de maíz de alta calidad proteica y normal. *Universidad y Ciencia*, 2006, Vol. 22, No. 2, p. 153-161.
5. Hernández, A.; Morell, F.; Ascanio, M. O.; Borges, Y.; Morales, M. y Yong, A. Cambios globales de los suelos ferralíticos rojos lixiviados (Nitisoles Ródicos Eútricos) de la provincia La Habana. *Cultivos Tropicales*, 2006, vol. 27, no. 2, p 41-50.

6. Martínez, M.; Ortiz, R. y Ríos, H. Caracterización y evaluación participativa de maíz colectado en la localidad de Catalina de Güines, La Habana. *Cultivos Tropicales*, 2003, vol. 24, no. 4, p. 69-75.
7. Vivek, B. S.; Krivanek, A.F.; Palacios-Rojas, N.; Twumasi-Afriyie, S. y Diallo, A. O. Breeding quality protein maize (QPM): Protocols for developing QPM cultivars. México, D.F. CIMMYT, 2008.
8. AACC. 1995. Approved methods of analysis. St Paul: Ninth Ed. Am. Assoc. Cereal Chem.
9. AOAC. 1975. Official methods of analysis. Ed. Washington D.C: 47021. 927 p.
10. Morris, D. L. Quantitative determination of carbohydrates with Dreywood's anthrone reagents. *Science*, 1984. vol. 107, p. 254-255.
11. Tsai, C. Y.; Dalby, A., Jones, R. A. Lysine and triptophan increases during germination of maize seed. *Cereal Chem.*, 1975, vol. 52, p. 356-360.
12. Villegas, E., Ortega, E. y Bauer, R. Chemical methods used at CIMMYT for determining protein quality in cereal grains. México: CIMMYT. 1984. 35 p.
13. Azevedo, R. A.; Lancien, M. y Lea, P. J. The aspartic acid metabolic pathway, an exciting and essential pathway in plants. *Amino Acids*, 2006, vol. 30, p. 143-162.
14. Huang, S.; Whitney, R. A.; Zhou, Q.; Kathleen, P. M.; Dale, A. V.; Jan, A.; Alan, L. K. y Luethy, M. H. Improving nutritional quality of maize proteins by expressing sense and antisense zein genes. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 2004, vol. 52, no. 7, p. 1958-1964.
15. Méndez-Montealvo, G., Solorza-Feria, J., Velázquez del Valle, M., Gómez-Montiel, N., Paredes-López, O. y Bello-Pérez L A. Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivadas en México. *Agrociencia*, 2005, vol. 39, p. 267-274.
16. Alimentos ecológicos, calidad y salud. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE), 2007.
17. ILSI Argentina. Maíz y nutrición. Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal. Recopilación de ILSI Argentina, 2006. Serie de informes especiales, vol. II.
18. Salinas, M. Y.; Arellano, V. J. L. y Martínez, B. F. Propiedades físicas, químicas y correlaciones de maíces híbridos precoces para Valles Altos. Comparación de métodos para medir dureza del maíz (*Zea mays*, L.). *Arch. Latinoamer. Nutr.*, 1992, vol. 42, no. 1, p. 161-167.
19. Cuevas-Rodríguez, E. O.; Milán-Carrillo, J.; Mora-Escobedo, R.; Cárdenas-Valenzuela, O. G. y Reyes-Moreno, C. Quality protein maize (*Zea mays*, L.) tempered through solid state fermentation process. *Lebensmittel-Wissenschaftund-Technologie*, 2004, vol. 37, no. 1, p. 59-67.
20. Futa, H.; Akalu, G.; Wondimu, A.; Taesse, S.; Gebre, T.; Schlosser, K.; Noetzold, H. y Henle, T. 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*, 2003, vol. 47, no. 4, p. 269-273.
21. El Siglo. Panamá. El maíz, granos de oro para la salud. Disponible en <http://www.elsiglo.com/siglo2/Salud.php?fechaz=06-032008&idnews=57605>. Consultado el 3 de junio de 2008.
22. Krivanek, A. F.; De Groote, H.; Gunaratna, N. S.; Diallo, A. O. y Friesen, D. Breeding and disseminating quality protein maize (QPM) for Africa. *African Journal of Biotechnology*, 2007, vol. 6. p. 312-324.
23. Poey, D. F. R. Mejoramiento integral del maíz, rendimiento y valor nutritivo; hipótesis y métodos. Tesis Doctoral, Colegio de Posgraduados, Chapingo. México. 1978, 206 p.
24. Bantte, K., Prasanna, B. M. Endosperm protein quality and kernel modification in the quality protein maize inbred lines. *Journal of the Plant Biochemistry and Biotechnology*, 2004, vol. 13, no. 1, p. 57-60.
25. CORPOICA-CIMMYT, 2001. CORPOICA-TURIPANÁ H-112. Maíz de alto valor nutritivo. Disponible en <http://www.turipana.org.co/maizqpm.htm>. Consultado el 3 de junio de 2008.
26. Pellett, P. L. y Ghosh, S. Lysine fortification: Past, present and future. *Food and Nutrition*, 2004, vol. 25, p. 107-113.
27. Ortega-Alemán, E. C.; Coulson-Romero, A. J. y Ordóñez-Argueta, L. I. Efectos de la ingesta de maíz de alta calidad de proteínas vs. maíz normal en el crecimiento y desarrollo físico de niños de 1 a 5 años de edad. Centro de Desarrollo Infantil Mildred. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua. Abauza. Septiembre-diciembre, 2005.

Recibido: 7 de julio de 2008

Aceptado: 15 de mayo de 2009