

LA DIVERSIDAD Y LA CALIDAD NUTRICIONAL DE LOS ALIMENTOS

Michel Martínez Cruz y Rodobaldo Ortiz Pérez

Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Mayabeque

Introducción

Las principales causas de mortalidad en el mundo de hoy son la desnutrición y las enfermedades relacionadas, que contabilizan más de 30 millones de muertes por año.¹ Las causas primarias de esta crisis de salud yacen en la disfuncionalidad de los sistemas agrícolas, ya que la agricultura es el proveedor primario de alimentos a la humanidad. Desafortunadamente, este vínculo entre la agricultura y la salud humana ha sido en gran parte ignorado por gobiernos y políticos en todas partes y la agricultura nunca ha tenido como objetivo específico mejorar la salud humana.²

La agricultura puede contribuir a mejorar la calidad nutricional de los alimentos de varias maneras para sostener la salud y el bienestar. Sin embargo, se requiere que el sector agrícola entienda primero, la importancia de tal acción para la sociedad y la salud de la humanidad, segundo, cómo puede contribuir a ello, tercero, qué alimentos son los que más preocupan a la comunidad, y cuarto, que deben ser rentable. Además, las políticas de los gobiernos deben hacer su contribución y los consumidores deben entender la importancia de una dieta diversificada y equilibrada para su salud, productividad y bienestar. Aumentar el conocimiento del consumidor sobre el impacto de la malnutrición en la calidad de vida, logro educativo, oportunidades de empleo y salud, debe proporcionar

¹ World Health Organization & Food and Agriculture Organization, 2003. *Joint WHO/FAO Expert Consultation on Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases*. Geneva, Switzerland, World Health Organization. WHO Technical Report Series. 916: 1-149.

² R. M. Welch, Jr. G. F. Combs y J. M. Duxbury, 1997. Toward a "Greener" revolution. *Issues in Science and Technology*14: 50-58.

un estímulo para aumentar la demanda de una mejor calidad y diversidad de los alimentos. Una demanda creciente por parte de los consumidores de mejores y más diversos productos en los mercados podría motivar a los productores a producir alimentos más nutritivos y diversos.

Varias herramientas de manejo podrían utilizarse para mejorar la calidad nutricional de los alimentos de origen agrícola. Falta, sin embargo, la resolución de la comunidad agrícola y de sectores vinculados a la nutrición y salud pública, de sectores privados y oficiales para hacer que la agricultura tenga un rol primario en el alivio de la desnutrición.

La producción de alimentos de procedencia agrícola y ganadera, así como la de alimentos transformados, experimentó un incremento sorprendente de los rendimientos gracias a la implantación de modelos intensivos de elaboración. Estos sistemas productivos derivaron en la llamada producción convencional, intensiva o química. En agricultura, las consecuencias inmediatas del uso de las técnicas y de la implantación generalizada del modelo de producción de alimentos convencionales han sido la intensificación del abonado químico, el empleo de productos fitosanitarios y la necesidad de recursos fitogenéticos adaptados, lo que lleva a la progresiva dependencia de las industrias dedicadas a la fabricación de los productos citados y a la inevitable degradación del ecosistema. En el marco de la ganadería, las consecuencias se centran en el empleo de razas mejoradas, con dependencia de medicamentos y sustancias químicas de síntesis como promotores del crecimiento, hormonas, etcétera. En el área de los alimentos transformados, la intensificación ha conllevado el uso masivo de aditivos químicos que prolongan las condiciones de los alimentos elaborados.

Los resultados conjuntos a largo plazo del uso irracional de los recursos naturales y de la agresión externa, como consecuencia de la utilización de insumos químicos y tecnologías nocivas para los agroecosistemas, han generado una descompensación y deterioro del medio ambiente agrícola y ganadero a través de la contaminación de las aguas, la tierra y el aire, la erosión de los suelos y su consiguiente pérdida de fertilidad, los desequilibrios biológicos, la resistencia de las plagas y enfermedades, la erosión genética, la pérdida de

biodiversidad y la pérdida de calidad nutricional y organoléptica de los alimentos.³

Los desequilibrios provocados por los sistemas agroalimentarios convencionales pueden ser subsanados a través de los modelos ecológicos de producción de alimentos. El sistema de producción ecológico (agrícola y ganadero), también llamado biológico, orgánico, biodinámico o biológico-dinámico, es un sistema productivo cuyo objetivo fundamental es la obtención de alimentos de máxima calidad en todos los aspectos, respetando el medio ambiente y conservando la fertilidad de la tierra y la diversidad de las especies, mediante la utilización óptima de los recursos locales y sin la ayuda de los productos químicos de síntesis, procurando así un desarrollo agrario duradero en equilibrio con el medio.³

La agricultura ecológica asume en primera instancia que la Tierra es una entidad viva y que el éxito productivo debe provenir del cuidado y estimulación de esta vida y no de aportes químicos de síntesis. Es un sistema de gestión y de explotación agraria y ganadera basado en la utilización óptima de los recursos locales y la potenciación de las culturas rurales, los valores éticos del desarrollo social y la calidad de vida, y está orientado hacia la preservación del medio ambiente, el mantenimiento o aumento de la fertilidad del suelo, y el suministro de alimentos que garanticen la seguridad alimentaria.³

La agricultura y ganadería ecológicas engloban todos los sistemas que promueven la producción sana y segura de alimentos y fibras textiles, desde los puntos de vista ambiental, social y económico, respetando las exigencias y capacidades naturales de las plantas, los animales y el paisaje.³

Los principios de la agricultura ecológica, según los define la Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Biológica (IFOAM por sus siglas en inglés), son cuatro: el principio de la salud, el principio ecológico, el principio de la justicia y el principio de la precaución, desarrollados para ser

³ Raigón, M. D. (Ed.), 2007. *Alimentos Ecológicos, Calidad y Salud*. Andalucía, España: JUNTA DE ANDALUCÍA. Consejería de Agricultura y Pesca. Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE).

entendidos de forma conjunta e inspirar las líneas de acción y desarrollo de la agricultura ecológica en el futuro.³

Pérdida de la calidad natural de los alimentos

Las técnicas agrícolas convencionales tienen como objetivos el incremento cuantitativo de la producción y la obtención de un alimento con características exteriores óptimas. Sin embargo, es importante tener conocimiento de cómo las diferentes técnicas agrícolas influyen en las calidades intrínsecas y nutritivas de los productos. El aspecto más evidente es el relativo a los productos tóxicos. El empleo intensivo de productos químicos de síntesis en agricultura determina la presencia de residuos tóxicos en los productos alimenticios.

Los alimentos no sólo están dejando de cumplir su finalidad de nutrir al ser humano, y por tanto de generar salud, sino que además, desde sectores científicos cada vez más amplios, se ha empezado a denunciar los alimentos como causantes de las enfermedades degenerativas modernas.

La alimentación actual está desequilibrada y es origen de innumerables enfermedades. La experiencia demuestra que el uso de abonos químicos aumenta el tamaño de los productos (frutas y hortalizas), haciéndolos más vistosos y más vendibles; pero también favorece la retención de agua por las plantas, con lo cual se consumen y se pagan frutos saturados de agua. Además, existe una pérdida de propiedades organolépticas de los alimentos.

La diversidad agrícola para la alimentación y la agricultura, base para la seguridad alimentaria

En las últimas décadas, la agricultura ha logrado alcanzar un aumento sustancial en la producción de alimentos pero este aumento ha venido acompañado de un uso excesivo de insumos no renovables y de recursos naturales, de una pérdida de la biodiversidad y de la degradación de los ecosistemas. A medida que la agricultura industrial y el transporte a larga distancia han aumentado la disponibilidad y asequibilidad de los hidratos de carbono y de los aceites comestibles, se ha verificado una simplificación general de las dietas y ha aumentado nuestra dependencia de un número limitado de alimentos energéticamente ricos. Los cereales básicos como el arroz, el trigo y el maíz concentran más de la mitad de la

ingesta calórica en el mundo.⁴ Las dietas son cada vez menos variadas pero altas en calorías, lo que contribuye a aumentar los problemas de obesidad y las enfermedades no transmisibles derivadas de la malnutrición o la desnutrición.⁵ Cada vez hay mayor convencimiento de que las proteínas y las calorías no son suficientes, y que una cantidad suficiente de micronutrientes y otros nutrientes importantes son componentes esenciales de una dieta adecuada y de la seguridad alimentaria.

El uso de un número muy limitado de cultivos, variedades y razas de ganado ha dado lugar a una pérdida de diversidad en muchos sistemas de producción, aumentando aún más la necesidad de insumos externos y el uso excesivo de recursos no renovables.

Durante las próximas décadas serán necesarios grandes cambios en los sistemas de producción agrícola si queremos que dichos sistemas sean más productivos, sostenibles y justos, y contribuyan a mejorar la vida en el mundo rural, la nutrición y la salud de los consumidores. Los sistemas tendrán que ser cada vez más flexibles y multifuncionales, capaces de proporcionar servicios múltiples y de hacer frente a los cambios y a la incertidumbre.

La biodiversidad agrícola es la base de la cadena alimentaria y su uso es importante para la seguridad alimentaria y nutricional, como mecanismo de defensa contra el hambre, fuente de nutrientes para una dieta diversa y de calidad, e ingrediente básico para fortalecer los sistemas de alimentación locales y la sostenibilidad del medio ambiente. Más allá de su función nutricional, la biodiversidad agrícola desempeña un papel vital en la generación de ingresos y servicios ambientales.

Se ha demostrado que la falta de diversidad es un problema crucial, sobre todo en los países en desarrollo, donde las dietas consisten principalmente en alimentos ricos en almidón y son pobres en fuentes de nutrientes como las proteínas animales,

⁴ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2006. Secretary-General Says Loss of Biodiversity Should Raise "Loudest of Alarms." Consultado el 12 de diciembre de 2010.

⁵ B. Popkin, 2008. *The World Is Fat: The Fads, Trends, Policies, and Products That Are Fattening the Human Race*. Penguin.

las frutas y las verduras. La diversidad de la dieta es un elemento capital de su calidad. La ingesta de nutrientes esenciales y de otros elementos importantes depende de la variedad en los tipos de alimentos y de la variedad dentro de cada tipo de alimentos que se consume. La investigación científica en esta área ha demostrado una fuerte relación entre la diversidad, la calidad de la dieta y el estado nutricional, por ejemplo, utilizada como medida en el caso de retraso en el crecimiento en el caso de los niños.⁶

También está claro que la diversidad en la dieta determina la cantidad de micronutrientes ingeridos, sobre todo en la alimentación infantil.⁷ Los estudios también han demostrado que la diversidad de la dieta está asociada a la seguridad alimentaria y al estado socioeconómico de la población y el individuo.⁸ La biodiversidad debe ser un elemento importante en los esfuerzos que tratan de garantizar que los alimentos nutricionalmente ricos estén disponibles para asegurar la calidad y la diversidad de la dieta, y para combatir el hambre oculta causada por deficiencias de micronutrientes.

En un mundo donde las dietas están cada vez menos diversificadas, es fundamental empezar a pensar en enfoques sostenibles que mejoren la diversidad y la calidad de la comida y en el papel que juega la productividad agrícola en la diversidad de la dieta y la nutrición. Para ello, la nutrición y el medio ambiente deben estar al frente y en el centro de las estrategias que intentan mejorar la seguridad alimentaria y la productividad, la diversidad agrícola debe ser considerada

⁶ J.H. Rah, N. Akhter, R.D. Semba, S. de Pee, M. W. Bloem, A. A.Campbell, Moench-Pfanner, K. R Sun, J. Badham, and K. Kraemer, 2010. Low dietary diversity is a predictor of childs tunting in rural Bangladesh. *European Journal of Clinical Nutrition* 64: 1393-1398.

⁷ M. Moursi, M. Arimond y K.G. Deweg, 2008. Dietary Diversity Is a Good Predictor of the Micronutrient Density of the Diet of 6 to 23 Month-Old Children in Madagascar. *J. Nutr.* 138: 2448-2453.

⁸ A.L. Thorne-Lyman, Valpiani N, Sun K, Semba RD, Klotz CL, Kraemer K. et al (2010) House hold dietary diversity and food expenditures are closely linked in rural Bangladesh, increasing the risk of malnutrition due to the financial crisis. *J Nutr.* 140: 1825-1885.

como una vía para mejorar la calidad de la dieta, la salud y la restauración de los ecosistemas.⁹

La producción local y la biodiversidad agrícola como fuentes de alimentos y factores importantes en la calidad de la dieta suelen quedar fuera del ámbito disciplinario clásico de la nutrición y, por lo tanto, estos aspectos han sido poco estudiados y desarrollados. Debido a ello, disponemos de escasa información para diseñar acciones en materia de biodiversidad agrícola que puedan aportar mejoras en la salud y en la nutrición. Bioversity International ha estado estudiando cómo la agrobiodiversidad puede contribuir a mejorar la nutrición en diferentes situaciones y actualmente está recopilando evidencias para ver cómo la utilización de la agrobiodiversidad en el sistema alimentario puede reportar beneficios duraderos a la seguridad alimentaria y nutricional.

Todos creemos que una dieta variada es mejor y más saludable, pero para aprovechar mejor la diversidad agrícola, es necesario contar con evidencias a gran escala que demuestren el impacto de dicha diversidad en la salud. También necesitamos saber si sería realista adoptar medidas a largo plazo que utilicen los cultivos tradicionales y locales como base para la diversificación de las dietas. Los cultivos tradicionales suelen describirse como ricos en nutrientes, por su alto contenido en micronutrientes y otros compuestos.

Para muchas poblaciones, los alimentos tradicionales, los frutos silvestres y la biodiversidad en general, particularmente cereales y legumbres poco conocidos, verduras de hoja verde, tubérculos, especies silvestres de cultivos y frutos del bosque desempeñan un papel importante en las dietas tradicionales y son ricos en compuestos nutricionalmente importantes. Sin embargo, poco se sabe aún sobre el valor nutricional de muchas plantas tradicionales, sus patrones de uso y de consumo, su consiguiente impacto en la salud humana y su potencial en la lucha contra la desnutrición crónica, la sobrealimentación y el riesgo de enfermedades no transmisibles. Nuestra falta de conocimiento sobre la variación

⁹ A. Herforth, 2010. Nutrition and the Environment: Fundamental to Food security in Africa. Chapter 7. En: *The African Food System and its Interaction in Human Health and Nutrition*. Ed Per Pinstrup-Andersen. Cornell University Press, New York.

en el contenido nutricional dentro de las especies importantes de alimentos es una carencia importante.

Estudio de Caso. Calidad nutricional del grano de 50 accesiones cubanas de maíz

Para la caracterización de la calidad nutricional del grano, se tomó una muestra de 50 accesiones de la colección de trabajo que tiene, resguarda y utiliza el proyecto PIAL en el INCA, integrada por 24 accesiones de la región occidental (seis procedentes del INIFAT, siete de La Palma y once de Catalina de Güines), 16 de la región central (ocho de Villa Clara y ocho de Sancti Spíritus) y 10 de la región oriental (siete de las Ventas de Casanova, dos de la Empresa de Semillas de Santiago de Cuba y una de Manzanillo). De este modo se garantizó que estuvieran representadas las variaciones que en términos de clima, suelo y condiciones de cultivo existen entre las tres zonas. La mayoría de las accesiones evaluadas provienen de colectas realizadas en fincas de campesinos de las regiones mencionadas, por tanto son accesiones producidas bajo sistemas con bajo uso de insumos agroquímicos.

Para evaluar la calidad nutricional de la muestra se determinaron los caracteres: contenido de nitrógeno total (N), grasa cruda (GC), azúcares solubles (AS), minerales totales (MT), lisina (Lis), triptófano (Trp), contenido de zinc (Zn), hierro (Fe), sodio (Na), calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg) y potasio (K).

La evaluación de los caracteres contenido de nitrógeno total, grasa cruda, azúcares solubles, minerales totales, lisina y triptófano se realizó en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Texcoco, México. Las muestras fueron analizadas utilizando los protocolos para el desarrollo de cultivares de alta calidad proteica. En estos análisis se utilizaron como testigos la variedad estándar¹⁰ TL00A 1440-36 y la variedad de alta calidad proteica NUTRICTA, por presentar

¹⁰ Variedad estándar: Variedad que no es de alta calidad nutricional. Presenta valores estándares (bajos) de los aminoácidos esenciales lisina y triptófano.

ambas contenidos de triptófano conocidos (0,065 y 0,096, respectivamente). Estas muestras fueron tomadas del banco de germoplasma del CIMMYT.

De cada accesión evaluada, fueron examinados 100 granos a través de una mesa de luz, con el objetivo de identificar si estos portan el gen Opaco-2 en su estado homocigótico recesivo (o₂o₂), empleando el grado de opacidad como medida indirecta o característica secundaria de ese genotipo. Todas las accesiones presentaron granos translúcidos.

A partir de los datos obtenidos de las determinaciones anteriores se calculó el índice de calidad (IC), que es la relación triptófano-proteína expresado en porcentaje. Se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Índice de Calidad (IC)} = (100 * \% \text{ triptófano}) / \% \text{ proteína}$$

Las determinaciones de: zinc, hierro, sodio, calcio, fósforo, magnesio y potasio se realizaron en la Escuela Técnica Superior del Medio Rural y Etnología, perteneciente a la Universidad Politécnica de Valencia, España, utilizando los protocolos del Ministerio de la Agricultura, Pesca y Alimentación de España.

Resultados

Se obtuvo como resultado que el contenido de minerales totales de las accesiones evaluadas se ubicó en un rango de 1,15 a 1,63%, el contenido de grasa cruda osciló entre 3,75 y 5,53% y el de azúcares solubles fue desde 3,00 a 8,10%. Estos niveles se encuentran en los rangos informados para variedades estándares y variedades de alta calidad proteica, que oscilan en el caso del contenido mineral total entre 0,80 y 1,70%, en el contenido de grasa cruda entre 4,0 y 7,0% y para el contenido de azúcares solubles entre 3,0 y 7,0%.¹¹

Con respecto al contenido de proteínas, las accesiones evaluadas se ubicaron en un rango de 6,55 a 11,99 % coincidiendo con Sánchez y col. (2007), quienes plantearon que el grano de maíz estándar presenta un contenido de proteínas que varía de 7% a 12%, dependiendo del tipo de

¹¹ C. Sansano, 2008. *Cereales: estructura y composición nutricional*. Alicante, Universidad de Alicante.

maíz, en general los de endospermo suave tienen menor contenido que los de endospermo duro.

Los valores del contenido de lisina se encontraron en el rango de los contenidos de las variedades estándares (0,26 g por 100 g de muestra).¹²

En cuanto al contenido de triptófano, 38 de las accesiones evaluadas mostraron valores numéricos iguales o mayores a la variedad estándar utilizada como testigo, lo que representó el 76% del total de las accesiones (50). Los valores de triptófano que como media presentó la colección estudiada (0,070%), fueron relativamente altos comparados con los resultados obtenidos al evaluar poblaciones de maíz estándar, presentando contenidos de triptófano que oscilaron entre 0,041% y 0,044%.¹³ Igualmente se plantea que las variedades estándares de maíz tienen un contenido de triptófano de alrededor de 0,040% y que las variedades de alta calidad proteica tienen 0,09% como promedio.¹⁴ Este resultado es muy relevante, dado que el porcentaje de triptófano influye directamente en la calidad de la proteína del grano de maíz.

El Índice de Calidad (IC) se mostró relativamente alto en 37 de las 50 accesiones evaluadas (74%). En estas accesiones, el IC siempre tuvo valores mayores que 0,70 y llegó en el caso de la accesión 15 a un valor de 0,984. Los valores del índice de calidad relativamente altos se deben principalmente al elevado contenido de triptófano que poseen estas accesiones.

Al comparar estos resultados con la evaluación de una colección de maíz en Colombia, se puede observar que todas las accesiones cubanas evaluadas tuvieron un índice de calidad numéricamente mayor al de la variedad estándar

¹² P. Pellett y S. Ghosh, 2004. Lysine fortification: Past, present, and future. *Food and Nutr. Bull.*, 25:107-113.

¹³ M. Mendoza, E. Andrio, J. Juarez, C. Mosqueda, L. Latournerie, G. Castañón et al, 2006. Contenido de lisina y triptófano en accesiones de maíz de alta calidad proteica y normal. *Agronomía Mesoamericana*, 22(2): 153-161.

¹⁴ B.S. Vivek, A.F. Krivanek, N. Palacios-Rojas, S. Twumasi-Afriyie y A.O. Diallo, 2008. *Mejoramiento de maíz con calidad de proteína (OPM): Protocolos para generar variedades OPM*. México, D.F. CIMMYT.

utilizada por el autor¹⁵ (ICA V-109), que mostró un IC de 0,52. También es importante destacar que seis de las accesiones cubanas que integran este trabajo tuvieron valores similares o mayores, en cuanto al índice de calidad, que los del grano comercial de la variedad de alta calidad proteica evaluada por Corpoica (2008),¹⁵ que mostró un IC de 0,85. Dichas accesiones fueron: la 13 (P 2284, procedente del INIFAT) con un IC de 0,882, la 35 (P 3014, procedente del INIFAT) con IC de 0,965, la 46 (Criollo, procedente de La Palma) con IC de 0,858, la 47 (Criollo, procedente de La Palma) con IC de 0,898, la 74 (Criollo, procedente de Catalina de Güines), IC de 0,984 y la 215 (Argentino con TGH, procedente de Remedios) con un IC de 0,913.

El alto contenido de triptófano e índice de calidad encontrados en la muestra analizada pudiera indicar una mejor proporción entre las proteínas llamadas “no zeínas” y las “zeínas”; o sea, en el maíz estándar las proporciones de proteína de almacenamiento del endospermo como promedio son: albúminas (3%), globulinas (3%), zeínas (60%) y glutelinas (34%); las llamadas “zeínas” presentan cuatro tipos estructurales distintos: alfa, beta, delta y gamma que son solubles en alcohol, se caracterizan por un volumen alto de glutamina, leucina y prolina, y están esencialmente desprovistas de lisina y triptófano, debido a esto, diluyen la contribución de estos aminoácidos esenciales, provenientes de otros tipos de proteínas del endospermo, llamadas colectivamente “no zeínas”. El fragmento de “no zeínas” contiene además enzimas, polipéptidos estructurales y proteínas asociadas a la membrana.¹⁶

Todas las proteínas consideradas “no zeínas” tienen un contenido equilibrado de aminoácidos y tienen elevado contenido de lisina y triptófano. La disminución de la fracción de “zeínas”, deficiente de lisina y triptófano, sin alterar la

¹⁵ Corpoica, 2008. *CORPOICA TURIPANA H-112. Maíz de alto valor nutritivo*. Consultado el 4 de junio de 2009, de <http://www.turipana.org.co/maizqpm.htm>

¹⁶ J. E. Habben, 1995. Elongation factor 1a concentration is highly correlated with the lysine content of maize endosperm. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 92: 8640-8644.

contribución de otros fragmentos, es una estrategia factible para mejorar el balance de aminoácidos en el grano de maíz.¹⁷

En 1963 se descubrió una mutación natural, designada Opaco-2 (o2o2), la cual provocó que las proteínas del endospermo del grano de maíz fueran casi dos veces más nutritivas que las del maíz estándar, debido a un aumento en la proporción de proteínas "no-zeínas".

El mutante o2o2 tuvo un buen contenido de los dos aminoácidos esenciales, pero presentó efectos pleiotrópicos indeseables, manifestados en la forma suave del endospermo, mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades fungosas y reducción en el rendimiento de grano. Los granos de maíz de las accesiones cubanas, no presentan el genotipo o2o2, porque al ser observados en una mesa de luz no son opacos además, las características indeseables antes mencionadas no se presentan en las accesiones cubanas de maíz evaluadas y la procedencia de las mismas es diversa; provienen tanto de la región occidental, central como de la oriental, por lo que no debe ser una mutación la causa de los altos índices de calidad de dichas accesiones.

Una posible causa del alto índice de calidad encontrado en las accesiones cubanas de maíz evaluadas pudiera ser la presencia de un embrión de mayor tamaño, dado que las proteínas del embrión son de mejor calidad nutricional, que las proteínas del endospermo y están constituidas principalmente por albúminas y globulinas con un buen balance de aminoácidos. El embrión del maíz constituye aproximadamente del 10 al 14% en masa del grano y es un componente con un alto contenido de grasa (15 a 30%), proteína (10 a 18%) y sales minerales.

Se ha establecido que los niveles de nitrógeno en el suelo pueden afectar directamente el contenido de proteínas del grano de maíz;³ en este sentido se plantea que ocurre un incremento lineal en el contenido de proteínas y lisina en variedades de maíz de alta calidad nutricional a medida que se incrementaba la fertilización con nitrógeno.

¹⁷B. M. Prasanna, S. K. Vasal, B. Kassahun y N. N. Singh, 2001. Quality protein maize. *CURRENT SCIENCE*, 81 (10).

Las accesiones estudiadas en el presente trabajo fueron cultivadas sin la aplicación de fertilizantes nitrogenados, sin embargo, el área en que se realizó la siembra fue parte de un sistema de rotación con frijol o soya, cultivos que fijan nitrógeno atmosférico al suelo, donde se aplican fertilizantes orgánicos; además, durante el ciclo del cultivo no se presentaron síntomas visibles de deficiencia de nitrógeno, los cuales se muestran con una clorosis marcada en las hojas más viejas de las plantas, que se encuentran ubicadas debajo de la mazorca principal, las cuales, si la deficiencia es severa, llegan a secarse prematuramente y los contenidos de proteína y lisina (influenciados por la fertilización nitrogenada) se encuentran en el rango de variedades estándares de maíz, por tanto, los altos contenidos de triptófano, encontrados en las accesiones evaluadas, no son producto de las condiciones de cultivo.

Hasta la actualidad, no se han identificado variedades de maíz de alta calidad nutricional, sin la presencia del gen o2o2; los incrementos significativos del contenido de lisina y triptófano, se han asociado hasta el presente, al efecto del mencionado gen mutante;¹⁴ sin embargo, un grupo de accesiones cubanas de maíz, estudiadas en el presente trabajo, mostraron elevados contenidos de triptófano y altos índices de calidad sin la presencia del gen o2o2.

Incrementando la concentración de lisina y triptófano en el endospermo del grano, se puede duplicar el valor biológico de la proteína del maíz. 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.¹⁹ Por tanto, el elevado IC basado en el contenido de triptófano de varias accesiones cubanas de maíz, suministradas adecuadamente en dietas balanceadas, podría contribuir positivamente al estado nutricional de la población cubana, ya sea a través de su consumo directo, como indirectamente, al ser utilizadas en la alimentación animal.

Elementos minerales

El contenido de fósforo (P) en los granos de las accesiones estudiadas, estuvo entre 205,64 mg/100 g y 375,72 mg/100 g, siendo altas las concentraciones de este elemento ($X = 295,19$

mg/100 g) comparadas con las encontradas en la literatura (de 256 mg/100 g. a 310,0 mg/100 g de muestra).¹⁸

El contenido de calcio (Ca) estuvo en un rango comprendido entre los 24,15 mg/100 g y los 64,54 mg/100 g de muestra, estas concentraciones son altas ($X = 42, 99$ mg/100 g) comparado con los informados en la literatura (de 24,0 hasta 39,0 mg/100 g de calcio en granos de maíz).¹⁹

El calcio favorece la elaboración de algunos productos derivados del maíz para el consumo humano, constituyendo un valor añadido. Los altos contenidos de este elemento están influenciados por los también altos contenidos que tiene el suelo donde fueron cultivadas las accesiones de maíz evaluadas, por tanto, es necesario estudiar en otras condiciones o tipos de suelo la acumulación de calcio en el grano de maíz en Cuba.

Los contenidos en magnesio (Mg) fluctuaron entre 34,55 mg/100 g y 88,37 mg/100 g de muestra, con una media $X = 57,33$ mg/100 g; siendo inferiores a las concentraciones encontradas de este mineral en granos de maíz de otras variedades, que oscilaron entre 99,0 mg/100 g y 281,0 mg/100 g.²¹ Los bajos contenidos de estos elementos pudieran estar influenciados por las concentraciones de este nutriente en el suelo.

Los niveles de potasio (K) oscilaron entre 112,45 mg/100 g y 328,61 mg/100 g de muestra en las accesiones cubanas evaluadas; resultados bajos ($X = 214,36$ mg/100 g) comparados con los obtenidos al evaluar variedades de maíz tropical, hallándose concentraciones de potasio en el grano en el orden de los 357,0 mg/100 g a 396,0 mg/100 g.²⁰ En contradicción con estos contenidos bajos en el grano de maíz,

¹⁸I. Elmadfa, D. Fritzsche y H. Diedrich, 1998. *La gran guía de las vitaminas y los minerales*. Barcelona: RBA.

¹⁹M. A. Hussaini, V. B. Ogunlela, A. A. Ramalan y A. M. Falaki, 2008. Mineral Composition of Dry Season Maize (*Zea mays L.*) in Response to Varying Levels of Nitrogen, Phosphorus and Irrigation at Kadawa, Nigeria. *World Journal Agricultural Science* 4 (6): 775-780.

²⁰B. Feil, S. Moser, B. S. Jampatong y P. Stamp, 2005. Mineral Composition of the Grains of Tropical Maize Varieties as Affected by Pre-Anthesis Drought and Rate of Nitrogen Fertilization. *Crop Science* 45.

el suelo donde fueron cultivados presentó alta concentración de este elemento.

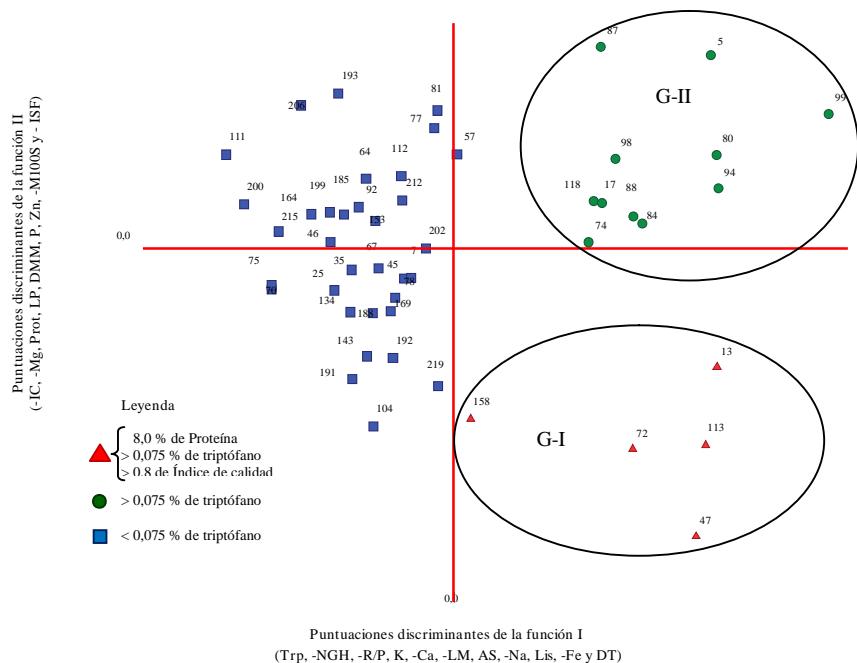
Las concentraciones de sodio (Na) en las 50 accesiones evaluadas estuvieron en el rango de 22,38 mg/100 g a 64,34 mg/100 g de muestra, con una media de 29,73 mg/100 g. Estas concentraciones son bajas en relación a los niveles encontrados al evaluar los efectos de la aplicación de fertilizante nitrogenado en la composición de los elementos en los granos de maíz encontraron valores de sodio entre 59,92 mg/100 g y 133,8 mg/100 g de muestra.²²

Los niveles de hierro (Fe) quedaron ubicados en el rango comprendido entre 0,40 mg/100 g y 3,91 mg/100 g de muestra, con una media de 1,27 mg/100 g, coincidiendo con los estándares medios informados.¹⁸

Las concentraciones de zinc (Zn) en las accesiones evaluadas, tuvo una media de 2,36 mg/100 g) y osciló entre los 1,40 mg/100 g y los 5,69 mg/100 g; resultados que coinciden con la evaluación de la composición mineral de maíces tropicales, encontrándose concentraciones en un rango de 2,18 mg/100 g a 2,40 mg/100 g.²²

En resumen, el contenido de fósforo y calcio fue alto, mientras que el contenido de magnesio, potasio y sodio fue bajo, resultando el de hierro y zinc medio en comparación con los estándares informados en la literatura para este cultivo. Los valores de estos elementos en el grano de maíz son influenciados por las concentraciones presentes en el suelo o adicionadas a través de la fertilización mineral, por lo que las concentraciones de estos elementos pueden ser variables dependiendo del tipo de suelo, de la fertilidad del mismo y las condiciones de cultivo. Por tanto, se recomienda realizar un estudio sobre la variabilidad de las concentraciones de estos elementos en el maíz en Cuba.

A continuación se presenta la Figura 1 que muestra la ubicación gráfica de las 50 accesiones evaluadas nutricionalmente en las funciones discriminantes I y II, en base a los caracteres que tuvieron mayor contribución a la formación de las mismas.



Trp=contenido de triptófano, NGH=número de granos por hilera, R/P=Rendimiento por planta, K=contenido de potasio, Ca=contenido de calcio, Lis=contenido de lisina, Fe=contenido de Hierro, DT=diámetro del tallo, IC=índice de calidad, Mg=contenido de magnesio, Prot=contenido de proteínas, LP=longitud de la planta, DMM=diámetro medio de la mazorca, P=contenido de fósforo, Zn=contenido de zinc, M100S=masa de 100 semillas ISF=incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith) y R/P=rendimiento por planta.

Figura 1. Distribución gráfica de las 106 accesiones en las dos funciones discriminantes.

Las accesiones se agruparon atendiendo a los niveles de calidad nutricional preestablecidos, formándose dos grupos definidos y el resto de las accesiones se ubicaron de forma dispersa. En el primer grupo (G-I) se ubicaron 5 accesiones (Figura 1) que presentaron, dentro de las 50 accesiones, los mayores contenidos de triptófano, potasio, azúcares solubles, lisina, magnesio, índice de calidad proteica, diámetro del tallo, masa de 100 semillas e incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith); y los menores contenidos de proteína, calcio, sodio, hierro, fósforo, zinc, número de granos por hilera, rendimiento por planta, longitud de la mazorca, longitud de la planta y diámetro medio de la mazorca.

El segundo grupo (G-II), conformado por 11 accesiones (Figura 1), se caracterizó por presentar los mayores contenidos de

triptófano, potasio, azúcares solubles, lisina, proteína, fósforo, zinc, diámetro del tallo, longitud de la planta y diámetro medio de la mazorca; presentando los menores índices de calidad proteica, contenido de magnesio, calcio, sodio, hierro, número de granos por hileras, rendimiento por planta, longitud de la mazorca, masa de 100 semillas e incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith).

El resto de las accesiones se caracterizó en general por alto número de granos por hileras, rendimiento por planta, longitud de la mazorca, contenido de calcio, sodio y hierro, siendo bajo el contenido de triptófano, potasio, azúcares solubles, lisina y el diámetro del tallo, caracteres que forman la función I; mientras que en la función II se encuentran dispersos.

Es importante destacar que en los grupos I y II se encontró una fuente de genes favorables respecto a la calidad proteica del maíz, debido a que estos presentaron relativamente los mayores niveles de lisina y triptófano dentro de la colección estudiada, aminoácidos esenciales que se encuentran deficientes en las variedades estándares de maíz. Además el grupo I tuvo los mayores índices de calidad, aunque mostró alta incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith) y los menores rendimientos por planta, coincidiendo con lo planteado de que la calidad nutricional del maíz contrasta con los altos rendimientos y la tolerancia a plagas y enfermedades, por lo cual esto es de vital importancia tener en cuenta estos criterios en futuros programas de mejoras que tengan como objetivo mejorar la calidad proteica del maíz en Cuba.²¹

Selección de posibles progenitores

Dentro de las 50 accesiones evaluadas, cinco superaron los indicadores de calidad nutricional establecidos¹⁴ para ser utilizadas en programas de mejoras destinados a la calidad proteica del maíz (Tabla I): la accesión 13 con 8,68% de proteína, 0,076 % de triptófano y un índice de calidad de 0,882%; la accesión 47 con 8,88%, 0,080% y 0,898% respectivamente; la accesión 72 que presentó 10,01 % de proteína, 0,083% de triptófano y 0,834% de índice de calidad;

²¹A. Esen y D. A. Stetler, 1987. Proposed nomenclature for the alcohol-soluble proteins (zeins) of maize (*Zea mays* L.). *Cereal Science* 5: 117-128.

la accesión 113 con datos de 9,39%, 0,078 y 0,826% respectivamente y por último la accesión 158 que tuvo un 10,17% de proteína, 0,082% de triptófano y un índice de calidad de 0,805%.

Tabla I. Accesiones que superaron los límites establecidos por Vivek y col. (2008)¹⁴ para ser utilizadas en programas de mejoras destinados a la calidad proteica del maíz.

Accesión	Proteína (%)	Triptófano (%)	Índice de Calidad	Procedencia
47	8,9	0,080	0,90	La Palma
13	8,7	0,076	0,88	INIFAT
72	10,0	0,083	0,83	Catalina de Güines
113	9,4	0,078	0,83	Santiago de Cuba
158	10,2	0,082	0,81	Corralillo
Límite	8,0	0,075	0,80	

Además de las antes mencionadas, hubo 11 accesiones que superaron dos de los requisitos establecidos (Tabla II), de las cuales 10 presentaron contenidos de proteína y triptófano mayores que los límites, aunque su índice de calidad fue inferior y una (accesión 74) tuvo elevado contenido de triptófano e índice de calidad, siendo inferior en el contenido de proteínas. Este grupo de accesiones constituyen también una importante fuente de genes a utilizar en programas de mejora destinados a la calidad proteica del grano de maíz.

Tabla II. Accesiones que superaron dos de los límites establecidos¹⁴ para ser utilizadas en programas de mejoras destinados a la calidad proteica del maíz.

Accesión	Proteína (%)	Triptófano (%)	Índice de Calidad	Procedencia
74	7,609	0,075	0,984	Catalina de Güines
94	10,249	0,080	0,777	Manzanillo
88	10,050	0,077	0,764	Catalina de Güines
84	10,010	0,076	0,756	Catalina de Güines
80	10,390	0,077	0,745	Catalina de Güines
118	10,501	0,076	0,723	Ventas de Casanova

99	11,990	0,085	0,713	Ventas de Casanova
98	10,838	0,077	0,707	Ventas de Casanova
17	10,920	0,075	0,683	INIFAT
87	11,250	0,076	0,679	Catalina de Güines
5	11,990	0,078	0,655	INIFAT
<hr/>				
Límite	8,000	0,075	0,800	

Dado estos resultados, se recomienda utilizar estas dieciséis accesiones como posibles progenitores en futuros programas de mejoramiento genético para la mejora de la calidad nutricional del maíz en Cuba. De las accesiones seleccionadas anteriormente, tres proceden del INIFAT, doce son accesiones criollas colectadas en fincas de campesinos cubanos, mientras que la 113 es una variedad comercial (VST-6).