

Asociación entre Calidad Proteica de Grano y Poliembriónía en Población Braquítica de Maíz Enano

Epifanía Lizbeth Valdez Lara^{1*}, José Espinoza Velázquez¹, María de la Luz Reyes Vega², Aída E. García Valdés³, Humberto de León Castillo¹ y Antonio Francisco Aguilera Carbó¹.

¹Instituto Mexicano del Maíz, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah., México. E-mail: lvaldezlara@yahoo.com.mx (*Autor responsable). ²Facultad de Ciencias Químicas en la Universidad Autónoma de Coahuila.

³Centro de Investigación en Química Aplicada.

Abstract

High frequency polyembryony (PE) belonging to a dwarf maize population (BAP), could be associated to the essential aminoacids content in the grain. The objective of this assay was to establish the probable relation between polyembryony of a population of braquitic maize, and the grain content of lysine, tryptophan and raw protein. The following variables were evaluated: relation between PE and raw protein levels (PC), lysine (LI), and tryptophan (TR). The chemical determinations of these variables, in four generations of selection, were compared (1994; 1997; 2000, and 2003) of BAP, and two witnesses; one of a high protein quality (QPM), and another one representing the common maize. The PC was determined by the Kjeldhal method; LI and TR were quantified via gas chromatography. The data of the treatments, and witnesses, were analyzed under a completely randomized design, with two replications; average comparison via Tukey test ($P < 0.05$) and a linear simple regression analysis to detect possible relations between protein quality and cycles of selection for a high PE. The treatments showed differences ($P < 0.01$) attributable to the genetic diversity, and the changes that the PE has undergone in this population due to the selection. For PC, the material QPM did not overcome the different cycles from BAP groups; whereas generation 2003 was equal to material QPM in the content of LI and approximated like the one of TR. Polyembryony showed a significant and positive relation in the content of LI and TR but not with PC; the gain per generation in aminoacids, LI, and TR was of 1.09 and 0.1 g respectively. The PE in this population turned out to be an alternative route to increase the protein quality of the maize grain.

Key words: *Zea mays* L., braquitic, lysine, selection, tryptophan.

Resumen

La poliembriónía (PE) en alta frecuencia correspondiente a una población de maíz enano (BAP), podría estar asociada al contenido de aminoácidos esenciales en el grano. El objetivo de este trabajo fue establecer la probable relación entre la poliembriónía, de una población de maíz braquítico y el contenido de lisina, triptófano y proteína cruda en el grano. Se evaluaron las siguientes variables: relación entre PE y niveles de proteína cruda (PC), lisina (LI), y triptófano (TR). Se compararon las determinaciones químicas de estas variables en cuatro generaciones de selección (1994; 1997; 2000 y 2003) de BAP y dos testigos, uno de alta calidad proteica (QPM) y otro representando al maíz común. La PC se determinó por el método Kjeldhal; LI y TR se cuantificaron vía cromatografía de gases. Los datos de los tratamientos y testigos se analizaron bajo un diseño completamente al azar, con dos repeticiones; comparación de medias por la prueba de Tukey ($P < 0.05$) y un análisis de regresión lineal simple para detectar la posible asociación entre calidad proteica y ciclos de selección para alta PE. Los tratamientos presentaron diferencias ($P < 0.01$) atribuibles a la diversidad genética, y a los cambios que ha sufrido la PE en dicha población debido a la selección. Para PC, el material QPM no superó los diferentes ciclos de los grupos BAP; en tanto que la generación 2003 fue igual al material QPM en el contenido de LI y aproximado al de TR. La poliembriónía presentó una relación significativa y positiva en el contenido de LI y TR pero no con PC; la ganancia por generación en los aminoácidos LI y TR fue de 1.09 y 0.1 g respectivamente. La PE en esta población resultó una vía alterna para incrementar la calidad proteica del grano de maíz.

Palabras clave: *Zea mays* L., braquítico, lisina, selección, triptófano.

Introducción

El grano de maíz es de importancia mundial ya que se utiliza de diversas maneras en la alimentación humana y animal, así como en la elaboración de productos industriales de aplicación diversa; pobladores de América, algunos de África y Asia consumen maíz como uno de los ingredientes principales de su dieta (Vasal, 1994).

Pese a lo anterior, este grano, al igual que otros cereales, presentan una característica común en su estructura proteica, comúnmente son deficientes en lisina (LI) y triptófano (TR) (Bressani, 1992). Esta es una desventaja nutricional ya que los dos son aminoácidos esenciales para humanos y animales monogástricos, quienes no los sintetizan de manera suficiente y deben obtenerlos de proteínas de origen animal (Martínez *et al.*, 1996).

La importancia del maíz como alimento ha propiciado que diversos grupos de investigación agrícola desarrollen y promuevan nuevas variedades del gen mutante *Opaco-2*, el cual origina cambios en la composición de las proteínas del maíz, incrementando substancialmente los contenidos de LI y TR en el grano. Las variedades en cuestión son las que forman el grupo QPM por sus siglas en inglés (Quality Protein Maize), los cuales se proponen como una vía para mejorar la calidad nutritiva del maíz (Bjarnason y Vasal, 1992; Magnavaca *et al.*, 1989; Pixley y Bjarnason, 1993).

Otra vía probable para incrementar la calidad proteica del grano es a través del fenómeno de poliembriónía (PE), que genera dos o más embriones por semilla, dando origen a mayores contenidos de nutrimentos en el grano; ya que los aminoácidos, forman parte del flujo nutricional que la estructura seminal suministra al embrión, propiciando que éste se desarrolle en una planta en su oportunidad; por lo tanto, si el grano desarrolla más de un embrión es de esperarse que el endospermo se obligue a sintetiza mayor cantidad de aminoácidos, los cuales se integran de algún modo a las estructuras del embrión (Pesev y Petrovic, 1976).

En este contexto, el objetivo de este estudio fue establecer la probable relación entre la poliembriónía, de una población de maíz braquítico y el contenido de lisina, triptófano y proteína cruda en el grano.

Materiales y Métodos

El trabajo incluyó cuatro generaciones de selección recurrente de medio hermanos (ciclos: 1994, 1997, 2000 y 2003) de una población braquítica de alta poliembriónía (BAP) generada en el Instituto Mexicano de Maíz Dr. Mario E. Castro Gil (IMM) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). En el periodo, el fenómeno ha presentado una ganancia aproximada anual

de 1.4 %, alcanzando 60 % de PE para el año 2004. Otros materiales utilizados en el trabajo fueron: la población 63 del CIMMYT, mejorada para alta calidad proteica y una variedad criolla, en uso por los agricultores de secano, del sureste de Saltillo, Coah., México; los dos se utilizaron como testigos, con el propósito de tener referencias contrastadas.

Para situar a BAP en su calidad proteica, se tomaron muestras aleatorias de semilla de cada ciclo de selección, del QPM y del criollo que fueron la base para obtener harina del grano completo para cada determinación química: por ciento de proteína cruda (PC) bajo el método Kjeldhal descrito por la AOAC (1980); cuantificación de los aminoácidos lisina (LI) y triptófano (TR), los cuales fueron esterificados con clorofornato de etilo produciendo ésteres etílicos y analizados por cromatografía de gases, siguiendo la metodología de Pert (1991).

Los datos fueron analizados, bajo un diseño completamente al azar con dos repeticiones. La comparación de medias fue por el método de Tukey ($P < 0.05$). Se realizó un análisis de regresión lineal para las tres variables con el fin de estimar la magnitud de cambio por generación de la variable de respuesta. Para cuantificar la relación entre LI y TR, se realizó un análisis de correlación entre estas dos variables.

Resultados y Discusión

Los resultados indican diferencias entre tratamientos ($P < 0.01$) en las tres variables (Cuadro 1); atribuido, por una parte, a la diversidad genética de los tratamientos, y por la otra, al efecto que causó la selección a favor de la PE en las diferentes generaciones de BAP, observadas en este trabajo.

Cuadro 1. Cuadrados medios de cuatro generaciones de una población de maíz enano (BAP) y testigos, QPM y Criollo, para las variables proteína cruda (PC), lisina (LI) y triptófano (TR). Análisis Químico del 2004. M

F. V.	g. l.	PC %	LI [†]	TR [†]
Trat	5	0.866**	4.536**	0.112**
Error	6	0.011	0.006	0.0006
\bar{x}		10.127	3.243	0.418
C. V.		1.044	2.421	5.770

** = Diferencias significativas al 0.01 de probabilidad, [†] = g por 100 g de proteína cruda.

Es de conocimiento general que la población QPM del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), es un maíz con endospermo modificado para lograr altos niveles de lisina (LI) y triptófano (TR), mientras

que BAP ha sido seleccionado centralmente con respecto a su capacidad poliembriónica y buen comportamiento agronómico; y el criollo regional es sólo una variedad adaptada a las condiciones agro-climáticas del lugar. En este contexto, era de esperarse que la población QPM fijara los niveles altos de referencia en calidad proteica, y que el criollo demostrara los niveles del maíz común, quedando por observar el comportamiento de las cuatro generaciones ascendentes de BAP.

La prueba de comparación de medias (Cuadro 2) presentó evidencias de que los niveles generales de proteína cruda (PC) obtenidos ocurrieron en una banda estrecha entre 9.19 y 10.77 %, similar a lo que reportan Paulis *et al.* (1993); Moro *et al.* (1995); y Espinoza *et al.* (1998), no importando si es maíz común o QPM. Se sabe que el contenido de PC no tiene ninguna influencia sobre la calidad de la misma (Pohelman, 1987). Por ello no es extraño que, en este trabajo, la PC de la población QPM fuera igual a los diferentes ciclos del grupo BAP, sin ninguna asociación con los niveles de aminoácidos.

Los niveles de LI y TR alcanzaron su máximo en el testigo QPM y sus mínimos en el criollo regional y la generación 1994 de BAP, ésta última fue la referencia de selección hacia alta PE. Sin duda, el maíz común presentó niveles bajos en estos aminoácidos esenciales; siendo relevante el hecho de que la generación 2003 de BAP haya sido estadísticamente igual al material QPM en el contenido de LI y aproximado al de TR. Esta fue una condición favorable ya que al seleccionar hacia mayor PE, se logró indirectamente una buena repuesta en los contenidos de LI y TR, cualidad que repercutió en la calidad de producto. Estos niveles en BAP fueron coincidentes con los reportados por Pesev y Petrovic (1976) para maíces con semillas gemelas; y los exhibidos por QPM son los niveles reportados en la literatura para este tipo de maíz.

Cuadro 2. Comparación de medias de 4 generaciones de población de maíz enano (BAP), y testigos QPM y Criollo de sur de Saltillo, Coah. Análisis químico 2004.

Población	Generaciones	PC %	LI [†]	TR [†]
BAP	94	10.71 ^a	1.20 ^c	0.20 ^c
	97	9.52 ^c	3.17 ^c	0.30 ^{cd}
	00	10.77 ^a	3.82 ^b	0.40 ^c
	03	10.04 ^b	4.62 ^a	0.50 ^b
Testigos	QPM	10.52 ^a	4.89 ^a	0.85 ^a
	Criollo	9.19 ^c	1.77 ^d	0.25 ^{de}

Tukey al $\alpha=0.05$, medias con letras iguales son estadísticamente iguales, [†] = g por 100 g de proteína cruda.

Las diferencias significativas apreciadas entre

generaciones merecieron un análisis de regresión lineal, para detectar alguna relación entre las generaciones y el comportamiento de las variables LI y TR. Aún cuando la población BAP presentó en alguna de sus generaciones el contenido más alto en PC, el análisis de regresión no documenta una relación significativa con los incrementos que tiene la población en cuanto PE.

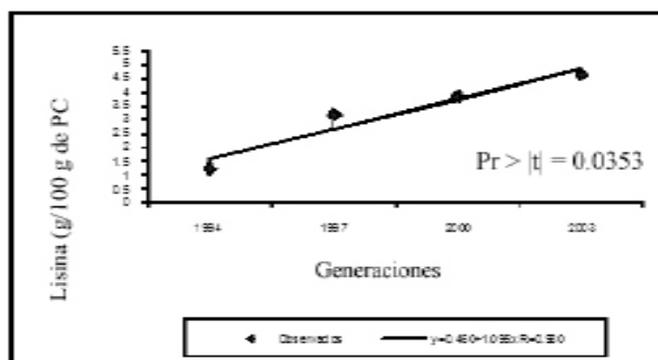


Figura 1. Respuesta de contenido de lisina a la selección para alta poliembriónia, en una población de maíz enano (BAP), durante cuatro generaciones de selección. Análisis químico, 2004.

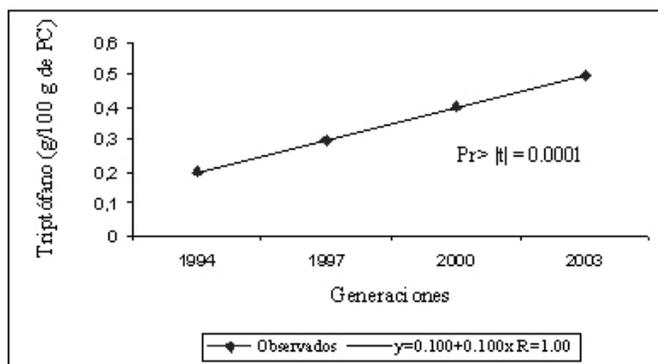


Figura 2. Respuesta del contenido de triptófano a la selección para alta poliembriónia, en una población de maíz enano (BAP), durante cuatro generaciones de selección. Análisis químico, 2004.

Las variables LI y TR sí presentaron una relación directa positiva con las diferentes generaciones (Figuras 1 y 2). Se observó una ganancia de 1.095 g por tramo generacional para LI, mientras que TR presentó una relación exacta con las generaciones, con una ganancia de 0.1 g por generación. Esto demostró la efectividad de la selección recurrente en esta población, ya que se ha logrado un cambio en su estructura genética que ha generado una respuesta a la selección mejorando simultáneamente el nivel de poliembriónia y el contenido de estos dos aminoácidos esenciales. El incremento puede deberse a la presencia de dos o más embriones por semilla ya que en el embrión se concentra el 15 % de la proteína, y

también puede deberse a un incremento en la capacidad de almacenar nutrientes de calidad en el endospermo debido a que éste tiene que suministrar nutrientes a dos o más embriones por semilla.

El incremento en LI y TR alcanzando en un periodo de nueve años (1994 a 2003) en la población BAP para alta PE en ambos casos es superior al doble; se observó también una alta correlación lisina-triptófano, cuyo coeficiente en este trabajo fue de $r^2 = 0.96$, por lo tanto, al incrementarse la lisina también aumentó el triptófano (Sullivan *et al.*, 1989).

Conclusiones

La alta frecuencia poliembriónica (60% promedio) en una población de maíz de porte enano está asociada a la mayor calidad proteica del grano, demostrando niveles de lisina iguales a los que presentan maíces especializados QPM, y muy cercanos en niveles de triptófano.

Agradecimientos

Al Laboratorio de Química de Aditivos del Centro de Investigación en Química Aplicada, en Saltillo, Coah., México; al Laboratorio de Nutrición y Alimentos de la División de Ciencia Animal de la UAAAN, en Buenavista, Saltillo, Coah., México. Al Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Coahuila (COECYT-Coahuila) y al CONACYT, México, por el apoyo financiero, proyecto COAH. 2002-CO1-4565. A la UAAAN, proyecto 0203 0605 2122. Al CIMMYT por facilitar la población QPM.

Literatura Citada

AOAC. 1990. Métodos oficiales de análisis. Association of Official Agricultural Chemists. 15th ed. Virginia, USA. pp. 384.

Bjarnason, M. and Vasal, S. K. 1992. Breeding of quality protein maize. *Plant Breed Rev.* 9: 181-216.

Bressani, R. 1992. Nutritional value of high-lysine maize in humans. *In*: E. T. Mertz ed. Quality protein maize.

American Association of Cereal Chemists. pp. 205-224.

Espinoza, V. J.; Vega S. C. y Jasso C. D. 1998. Poliembriónia en maíces de porte normal y enano. *Agronomía Mesoamericana* 9 (2): 83-88.

Magnavaca, R., Oliveira, A. C., Morais, A. R., Gama, E. E. and Santos, M. D. 1989. Family hybrid selection of quality protein maize. *Maydica* 34: 63-71.

Martínez, B. F.; Figueroa, J. D.; Larios, A. A. 1996. High Lysine extruded products of quality protein maize. *J. Sci. Food Agric.* 71:151-155

Moro, G. L.; Lopes, M. A.; Habben, J. E.; Hamaker, B. R.; Larkind, B. A. 1995. Phenotypic effects of opaque-2 modifier genes in normal maize endosperm. *Cereal Chem.* 72:94-99.

Paulis, J. W.; Peplinski, A. J.; Bietz, J. A.; Nelson, T. C.; Bergquist, R. R. 1993. Relation of kernel hardness and lysine to alcohol-soluble protein composition in quality protein hybrids. *J. Agric. Food Chem.* 41:2249-2253.

Pesev, N. R and Petrovic, L. 1976. Study of possibility in raising maize inbred lines with tow embryos. *Theoretical and Applied Genetics.* 47: 197-201

Petr, H. 1991. Rapid derivatization and gas chromatography determination of amino acids. *Journal of Chromatography.* 552:289-299.

Pixley, K.V. and Bjarnason, M. 1993. Combining ability for yield and protein quality among modified endosperm opaque-2 tropical maize inbreds. *Crop Sci.* 33:1229-1234.

Poehlman, J. M. 1987. *Breeding Field Crops.* Westport, CT, USA, AVI Publishing Company. pp. 1-5.

Sullivan, J. S.; Knabe, D. A.; Bockholt, A. J.; Gregg, E. J. 1989. Nutritional value of quality protein maize and food corn for starter and growth pigs. *J. Anim Sci.* 67:1285-1292.

Vasal, S. K. 1994. High quality protein corn. *In* A.R. Hallauer, ed. *Specialty corns*, pp. 79-121.