

Calidad nutricional del grano en poblaciones de maíz poliembriónico

Whole grain nutrient quality in polyembryonic maize populations

José Espinoza Velázquez¹, Lizbeth E. Valdés Lara³ Ma. de la Luz Reyes Vega²,
Humberto de León Castillo¹

Resumen

Aplicando procedimientos de selección recurrente, se avanzan dos poblaciones de maíz para alta frecuencia de poliembriónía (PE), y en proceso reverso, se derivan otras dos para baja PE. Los grupos alta frecuencia son NAP, porte normal, y BAP, enana; y los baja PE son NBP y BBP. De interés económico en estos maíces los contenidos de proteína y grasa cruda (PC y GC), así como de ácidos grasos (AG) insaturados, todo en relación con la PE. La PC fue determinada por el procedimiento Kjeldal; la GC vía Soxhlet; y los AG por cromatografía de gases. Los resultados de la selección más avanzada sitúan en frecuencias alrededor de 60% a los grupos NAP y BAP, y en valores menores de 6% a los grupos NBP y BBP. En cuanto a nutrientes en la semilla, se detecta una asociación positiva entre PE y contenidos de aceites. Los grupos PE presentan un promedio de 6.5 g de aceite por 100 g de semilla, 22% más que el criollo regional, aunque 37% menos que el testigo HOC; sin embargo, el porcentaje de aceites insaturados es alto y muy similar entre estos dos últimos; la relación oleico:linoleico en los PE es 1:1, mientras que testigos y maíces No-PE presentan una relación desigual, en contra del oleico. La proteína cruda en maíces PE promedia 10%, sólo siete décimas menos que el QPM, pero 8% superior al testigo criollo regional. Todo esto permite suponer que la selección a favor de PE favorece de manera indirecta incrementos en la calidad del grano, condición aprovechable en el diseño de nuevas variedades de maíz que combinen alto rendimiento y calidad.

Palabras clave: *Zea mays* L., poblaciones, selección recíproca, poliembriónía, ácidos grasos insaturados.

Abstract

Recurrent selection has been applied in two maize populations for increasing polyembryony frequency (PE), both named NAP, normal height, and BAP, dwarf; another two groups has been derived from those through a reverse selection process in order to reduce PE, accordingly NBP and BBP. It is of interest to relate seed nutrients content with the PE frequency in those populations; in this concern, crude fat and protein and unsaturated fatty acids were quantified. Results indicate PE frequencies up around to 60% and reductions to less than 6% for both direct and reverse selection. It was also found a positive relationship among high PE frequency and oil content and a 1to1 proportion for oleic and linoleic acids. PE genotypes showed an oil average of 6.5%, 2.4 units less than the HOC average, but 1.2 units more than the second witness,

¹ Profesor investigador del Instituto Mexicano del Maíz "Dr. Mario E. Castro Gil", UAAAN, Buenavista, Saltillo.

³ Estudiante tesista, maestría en ciencias Fitomejoramiento, Postgrado de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo.

² Profesor investigador, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo.

a landrace (Criollo) maize. Crude protein content in the PE groups averaged 10% meanwhile the witnesses were 10.7% and 9.2% for QPM and Criollo respectively. These results support the fact that selection toward high PE frequencies improves grain quality, and favor the possibility in using the PE character in generating maize varieties which combine both high yields and higher grain nutrients quality.

Key words: *Zea mays* L., populations, recurrent selection, polyembryony, unsaturated fatty acids.

Introducción

La poliembrionía en maíz se estudia aquí con la finalidad de obtener tanto conocimientos como aplicaciones prácticas del fenómeno; lo primero arroja información para la comprensión del carácter, y en lo segundo se exploran vías potenciales para su uso, principalmente en el diseño de nuevas variedades de maíz de aplicación especializada. Una de las líneas de trabajo en esto se refiere a la cuantificación de nutrientes en semillas de maíces poliembriónicos.

Los granos de maíz común son fuente alimenticia para humanos y animales domésticos, y contienen en su mayor parte hidratos de carbono (74%), y en menor proporción, proteínas (9%), aceite comestible (3.4%) y uno por ciento de fibra (Paliwal *et al.*, 2001). Análisis bromatológicos de los maíces comunes que llenan actualmente el mercado mundial de granos indican que los niveles de proteína cruda están en la banda de 7.5 a 8.4 por ciento, con bajo contenido de aminoácidos esenciales, especialmente de lisina y triptofano; el porcentaje de grasa está en el intervalo de 3.0 a 3.5; excepción hecha en los maíces altamente especializados, sea para calidad proteica o para alto contenido de aceite, cuyos valores son significativamente más altos que los anteriores (Dale, 1997).

Comparado con otros cereales, el grano de maíz es una fuente importante de energía pero menor como fuente de proteína, tanto en proporción como en calidad, dada las carencias en aminoácidos esenciales; el porcentaje de lisina en grano es menor a 0.29, y el triptofano no rebasa el 0.07 (Dale, 1997; Araba, 1998, citado en Feed and Grain, 1998).

Desde la mejora genética del maíz, se han desarrollado variedades especializadas tanto para calidad proteica (ricos en lisina y triptófano) como para alto contenido de aceite (de 6 a 9% de grasa cruda), las cuales están en proceso de adopción por los agricultores y usuarios; en México, los maíces de alta calidad proteica (conocidos como QPM, por su denominación en lengua inglesa: quality protein maize) se han venido promoviendo durante los últimos seis años con éxito limitado todavía; los maíces de alto contenido en aceite (conocidos como HOC: high oil corn) no ingresan al mercado nacional de semillas por su origen transgénico, así como las variantes en el manejo especializado para su producción.

La condición gemelar o poliembrionía en semillas de maíz es una característica natural que puede ser aprovechable como una vía alterna en el diseño de variedades de aplicación especial, buscando además de potencial de rendimiento, el valor nutritivo del grano, incrementando cantidad y calidad de aceites y proteína; esto, bajo la hipótesis de que dos o más embriones por semilla, permitirán incrementar la capacidad de almacenamiento de nutrientes de calidad (Castro, 1973; Rodríguez, 1981; Espinoza *et al.*, 1998; Espinoza *et al.*, 1999).

En este trabajo se aborda la determinación bromatológica de granos en poblaciones poliembriónicas, en desarrollo por el Instituto Mexicano del Maíz “Dr. Mario E. Castro Gil” (IMM), así como la especificación de contenidos y proporciones de ácidos grasos insaturados; los bromatológicos se especifican para los ciclos 1994, 1997 y 2000, y los de relación PE-ácidos grasos en las semillas, para los ciclos de selección 1994 y 2000.

Metodología Experimental

Las poblaciones de maíz bajo estudio son cuatro, dos seleccionadas para alta frecuencia de poliembriónía (PE), denominadas en el IMM como NAP (porte normal), y BAP (enana), y dos derivadas de éstas, donde se selecciona en contra de la PE (selección reversa) y denominadas NBP, normal, y BBP, braquítica; las primeras habían alcanzado para 1994 una frecuencia PE de hasta 47%, e incrementado a promedios de 60 a 70% para el año 2000. Las segundas poblaciones se derivaron de las primeras a partir de 1996, y para el año 2000 la frecuencia PE se había reducido a frecuencias menores de 6%. Las poblaciones se manejan bajo esquemas de selección recurrente, a través de familias de medio hermanos maternos, cruza fraternales con mezcla de polen. Cada grupo contiene al menos 200 familias, seleccionando en invernadero al 15% de ellas, calificadas por sus ventajas en germinación y nivel de poliembriónía; las familias seleccionadas se convierten en los progenitores de la siguiente generación.

Las determinaciones de proteína y grasa cruda (PC y GC), así como los contenidos de ácidos grasos oleico y linoleico (AG), fueron realizados a partir muestras de 200 g de semillas por grupo bajo estudio, y de donde fueron tomadas las cantidades adecuadas para moler, obtener la harina y pesar la muestra específica, propia a cada procedimiento. En el caso de PC se siguió el procedimiento Kjeldahl; la GC se determinó por el método Soxhlet, y el de AG por la vía de cromatografía de gases utilizando un equipo Perkin Elmer Autosistema XL, columna capilar EC-1000 Altech (30m x 0.32mm id x 0.25Mn), temperatura de 220°C, gas acarreador: Nitrógeno 15 ml/min, detector FID a 220°C, inyector a 250°C. La grasa obtenida por el método de Soxlet fue la materia base para el análisis de los ácidos grasos.

Los testigos para PC fueron dos materiales de referencia, uno proveniente del Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) constituido por una muestra de maíz QPM, y la otra como una muestra de semillas de una variedad criolla que utilizan los agricultores temporaleros del Jagüey de Ferniza, municipio de Saltillo. Los testigos para GC y AG fueron también dos, uno proveniente del CIMMYT conocido como Tuxpeño de alto contenido de aceite, HOC, y una segunda variedad criolla en uso por agricultores del Sureste de Saltillo.

Los análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio de Nutrición y Alimentos, División de Ciencia Animal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, México.

Resultados Y Discusión

La poliembriónía en maíz es un carácter aprovechable para generar especímenes prolíficos y de alta competencia; una semilla puede dar origen a dos, tres

y hasta siete plantas de desarrollo normal, capaces de fructificar de manera competitiva. De acuerdo a la experiencia de campo, lo más deseable es la obtención de dos plantas por semilla, duplicando con ello la producción, tanto de mazorca como de forraje.

Inicialmente los procesos de selección se propusieron incrementar la frecuencia PE, lográndose hasta ahora proporciones promedio en las poblaciones NAP y BAP de 70 por 100 bajo invernadero, y de 60 por 100 en siembras directas en campo; todo ello, a partir de frecuencias en la población base de 1.5% (Castro, 1973; Espinoza *et al.*, 1998; Espinoza y Vega, 2000). Este destacado nivel alcanzado en las poblaciones PE del IMM tuviera sólo interés académico, si no fuera por el gran potencial productivo que presentan tanto NAP como BAP. Sin embargo, la cuestión es dilucidar la posibilidad de que se pueda construir una población completamente PE por la vía de la selección u otros procedimientos, o por el contrario, llegar a demostrar que la especie posee mecanismos que le ponen un límite biológico a la PE, alcanzando frecuencias máximas del orden de 70 a 80%. Cabe mencionar que la PE es un fenómeno sumamente raro en el maíz común, criollo o mejorado, bajo siembras comerciales alrededor del mundo.

El planteamiento de que la condición gemelar o poliembriónica de las poblaciones PE del IMM debe estar asociado a un mayor y mejor contenido de nutrientes en la semilla, principalmente en cuanto a aceites y proteína embrionaria, se ha venido documentando, inicialmente por la vía de análisis bromatológicos de las semillas (Espinoza *et al.*, 1999), y recientemente por la cuantificación de ciertos nutrientes específicos, como el caso de los ácidos grasos (Valdés *et al.*, 2004) y, planeado para realizarse en fechas del año 2004, la determinación de los aminoácidos lisina y triptofano en harina de granos completos. La hipótesis en esta línea de trabajo es que dos o más embriones por semilla, deben conferirle a ésta una mejor constitución nutritiva y cierta ventaja selectiva.

Los datos descriptivos de las poblaciones en relación a germinación y poliembriónía, tanto en campo como invernadero, ciclos de selección 1994, 1997 y 2000 se presentan en el Cuadro 1. Las diferencias de germinación para los dos métodos de siembra son muy marcadas, mostrándose fallas significativas en campo; al respecto, debe resaltarse que hasta el verano de 1997, las poblaciones se manejaban por la vía de transplante con plántulas de 21 a 30 días de edad, llevando a campo muestras de las familias de medio hermanos con mayor frecuencia en PE y mejor tipo de planta; este procedimiento, repetido por varios años, pudo influir para reducir en las familias seleccionadas la capacidad de supervivencia de las semillas en siembra directa al campo. Con esta hipótesis como válida, a partir de 1998, el manejo de los grupos bajo selección incluye sólo siembra directa en campo. Como puede apreciarse en los datos, se tiene una tendencia a mejorar los niveles de germinación directa, aunque ésta es aún mejor en los grupos de baja PE; ambas condiciones reflejan buena respuesta a la selección, significando que las semillas PE pueden superar la desventaja de baja germinación acumulada en el tiempo.

La selección practicada para el manejo de la PE, sea para su incremento o reducción ha resultado acertada, sobre todo en la selección reversa, derivando a NBP BBP a partir de 1996; con ello, en sólo cinco generaciones de selección en contra, la frecuencia PE se redujo a niveles inferiores a 6%. En el mismo periodo, la frecuencia en BAP y NAP paso de promedios de 50% a promedios de 70%; en el primer caso, la respuesta a la selección tiene un tasa generacional de 10%, mientras en el segundo es

de 4%. Esta respuesta asimétrica es comúnmente observada en procesos de selección directa y reversa.

Cuadro 1 Promedios de Germinación y poliembrionía en campo e invernadero de las poblaciones bajo estudio, diferentes ciclos de selección.

Población y ciclo	PGI	PGC	PPEI	PPEC
1994				
BAP	78 ± 12	44 ± 5	46 ± 14	36 ± 5
NAP	83 ± 12	39 ± 4	47 ± 15	32 ± 4
1997				
BAP	95 ± 3	54 ± 17	59 ± 14	46 ± 6
NAP	94 ± 4	60 ± 15	61 ± 14	49 ± 7
BBP	98 ± 2	69 ± 14	38 ± 16	35 ± 9
NBP	99 ± 2	68 ± 12	32 ± 16	25 ± 5
2000				
BAP	94 ± 6	53 ± 7	65 ± 15	71 ± 10
NAP	92 ± 6	54 ± 9	69 ± 15	69 ± 12
BBP	99 ± 2	78 ± 12	7 ± 10	3 ± 2
NBP	99 ± 2	75 ± 13	1 ± 2	2 ± 3

PGI y PGC= por ciento de germinación en invernadero y campo.

PPE1 y PPEC= por ciento de poliembrionía en invernadero y campo.

El Cuadro 2 contiene los datos relativos a PC y GC y AG para los ciclos de selección 1994 y 2000; también, como una referencia útil en análisis bromatológicos, se presentan los resultados para PC y GC del ciclo 1997. Los datos del noventa y cuatro y dos mil fueron practicados en el mismo laboratorio y por el mismo investigador (tesista) durante 2003; los correspondientes al ciclo 1997, se obtuvieron durante 1999 en otro laboratorio, por otro investigador colaborador (Espinoza *et al.*, 1999).

Cuadro 2. Valores promedio de nutrientes en granos de maíces poliembriónicos y sus testigos.

Generación y genotipo	% PC	% GC	Oleico ^{1/}	Linoleico ^{1/}	Total ^{2/}
1994					
BAP	10.7 ± .1	4.7 ± .1	164	171	33.5
NAP	10.8 ± .1	4.6 ± .1	191	194	38.5
1997^{3/}					
BAP	10.6 ± 1	4.4 ± .1	nd	nd	-
NAP	11.1 ± 1	4.5 ± .5	nd	nd	-
BBP	11.7 ± 2	4.7 ± .3	nd	nd	-
NBP	11.4 ± 1	4.8 ± .4	nd	nd	-
2000					

BAP	9.7 ± .3	6.7 ± .1	244	247	49.1
NAP	9.3 ± .2	6.3 ± .4	249	250	50.0
BBP	10.1 ± .2	5.9 ± .1	163	159	32.2
NBP	10.4 ± .1	5.9 ± .1	173	190	36.3
Testigo HOC	9.7 ± .1	8.9 ± .3	265	285	55.0
Testigo QPM	10.7 ± .3	nd	nd	nd	-
Criollo Regional	9.2 ± .1..	5.3 ± .2	123	161	28.4

^{1/} En mg g⁻¹ de aceite.

^{2/} Porcentaje de aceite insaturado.

^{3/} Análisis de 1999, no incluye cromatografía de gases. Ciclos 1994 y 2000 se analizaron durante 2003.

Las diferencias entre poblaciones y componentes nutricionales de las muestras dentro de cada ciclo se calificaron estadísticamente a través de un análisis de varianza, propio de un diseño completamente al azar, tres repeticiones, y comparación de medias con la prueba de Duncan.

Relevante que los maíces seleccionados a favor de la PE, presenten niveles altos de grasa (promedio de 6.5%), superando los 4.5% observado para el ciclo 1994; y aun más importante en estos maíces es la cantidad de ácidos graso insaturados oleico y linoleico, que en promedio representan 50% del total del aceite en grano; y que guardan una relación de 1:1 entre ellos, lo cual confiere más calidad al aceite; al respecto, idealmente, los industriales prefieren una mayor proporción de oleico para la obtención de aceites comestibles. Por otra parte, es evidente que los maíces PE no tienen la cantidad de aceite de un grupo seleccionado específicamente para ello, como es el caso del testigo QPM (8.9% de grasa) de CIMMYT; sin embargo, es factible aplicar un proceso de selección que lleve a estas poblaciones a niveles mayores de aceite a las alcanzadas hasta ahora; manteniendo la buena proporción oleico:linoleico que le es propia.

Como se sabe, los valores mayores para PC en maíz común apenas alcanzan 10% (Jugenheimer, 1981; Dale, 1997; Sánchez *et al.*, 1998; Paliwal *et al.*, 2001); es frecuente que los datos que se informan sobre PC en diferentes publicaciones estén influidos por la base de cálculo que se aplique; los que se reportan en este trabajo se calcularon en Base Seca Nx6.25. De los resultados, se resalta que la selección en maíces PE no afectan negativamente los contenidos de proteína cruda en grano, y de hecho, en los NoPE de la selección reversa hay una tendencia a la alta, similar al testigo de alta proteína (QPM).

Conclusiones

La selección aplicada para incrementar la poliembrionía en las poblaciones de maíz bajo estudio influye de manera positiva en los contenidos nutrimentales de las semillas, e.g. aumentando el nivel de grasa cruda por encima del promedio conocido en el maíz común y la proporción de ácidos grasos insaturados, mejorando la relación oleico:linoleico.

La cantidad de proteína cruda en maíces PE no presenta variaciones significativas a los testigos, sean maíz común o especializado del tipo QPM; sin

embargo, será importante corroborar, en estudios a realizar dentro del año 2004, cual es el nivel de lisina y triptofano, estableciendo la hipótesis de que los maíces PE han acumulado mayores contenidos en estos aminoácidos esenciales por el hecho de presentar un mayor número de embriones por semilla.

Literatura Citada

- Castro Gil, M. 1979. Estudios sobre herencia y valor nutritivo de semillas con doble embrión. Avances de investigación. Sección Maíz. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. p 3-4. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Dale, N. 1997. Ingredient analysis table: 1997 edition. Feedstuffs Reference Issue. Vol. 69. Num. 30. p. 24-31.
- Feed and grain. 1998. La influencia del maíz alto en aceite en los alimentos para aves. P. 4-7. Vol. de abril, 1998.
- Espinoza, J., M.C. Vega, E. Navarro, G.A. Burciaga. 1998. Poliembriónía en maíces de porte normal y enano. Agronomía Mesoamericana. 9(2):83-88
- Espinoza V., J., Ma. C. Vega S., D. Jasso C. 1999. Contenidos de grasa y proteína cruda en semillas de maíces poliembriónicos. En: Espinoza V., J y J. del Bosque Celestino (eds). 1999. "Memoria del 2do. Taller Nacional de Especialidades de Maíz. p. 159-165. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Espinoza V., J., Ma. C. Vega S. 2000. Maíces de alta frecuencia poliembriónica. En: Zavala g., F., R. Ortega P., J. A. Mejía C., I. Benitez R. Y H. Guillén A. (eds.). 2000. Memorias del XVIII Congreso Nacional de Fitogenética: Notas Científicas. SOMEFI. Chapingo, México.
- Jugenheimer, W.R. 1981. Maíz: Variedades Mejoradas, métodos de cultivo y producción de semilla. Ed. Limusa, México.
- Sánchez R., G., F.A. Martínez M., L.A. López I. 1998. Oportunidades de Desarrollo del Maíz Mexicano, alternativas de competitividad. Boletín Informativo. FIRA., Banco de México. Núm. 309. Vol. XXX. Morelia, Michoacán, México. 88p.
- Paliwal, L.P., G. Granados, J.P. Marathée. 2001. El Maíz en los Trópicos: mejoramiento y producción. FAO. Roma,

Italia.

Rodríguez H., S.A. 1981. Determinación de la heredabilidad y efecto de la selección para el carácter doble embrión en maíz. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 48p.

Valdés L., L., J. Espinoza V., A.F.Aguilera, M.L. Reyes V. 2004. Fatty acids in polyembryonic maize. Abstract. The International Food Technologist, 2004 Annual Meeting. July 12-16, 2004. Las Vegas, Nevada.